

## TÍTULO 3º. MATERIALES Y DURABILIDAD

# CAPÍTULO VI

## MATERIALES

### Artículo 26º Cementos

El cemento deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las características que se exigen al mismo en el Artículo 31º.

En el ámbito de aplicación de la presente Instrucción, podrán utilizarse aquellos cementos que cumplan las siguientes condiciones:

- sean conformes con la reglamentación específica vigente,
- las limitaciones de uso establecidas en la Tabla 26.1, y
- que correspondan a la clase resistente 32,5 o superior en el caso de hormigones convencionales, o que correspondan a las clases resistentes 42,5 o superior, para hormigones de alta resistencia. .

Tabla 26.1: Tipos de cemento utilizables

Tipo de hormigón	Tipo de cemento
Hormigón en masa	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C  Cementos para usos especiales ESP VI-1
Hormigón armado	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C y CEM V/B
Hormigón pretensado	Cementos comunes de los tipos CEM I y CEM II/A-D, CEM II/A-V y CEM II/A-P*

En la tabla 26.1, las condiciones de utilización permitida para cada tipo de hormigón, se deben considerar extendidas a los cementos blancos y a los cementos con características adicionales (de resistencia a sulfatos y al agua de mar, de resistencia al agua de mar y de bajo calor de hidratación) correspondientes al mismo tipo y clase resistente que aquéllos.

Cuando el cemento se utilice como componente de un producto de inyección adherente se tendrá en cuenta lo prescrito en 35.4.

El empleo del cemento de aluminato de calcio deberá ser objeto, en cada caso, de estudio especial, exponiendo las razones que aconsejan su uso y observándose las especificaciones contenidas en el Anejo nº 4.

Se tendrá en cuenta lo expuesto en 31.1 en relación con el contenido total de ión

cloruro para el caso de cualquier tipo de cemento, así como con el contenido de finos en el hormigón, para el caso de cementos con adición de filler calizo.

A los efectos de la presente Instrucción, se consideran cementos de endurecimiento lento los de clase resistente 32,5N, de endurecimiento normal los de clases 32,5R y 42,5N y de endurecimiento rápido los de clases 42,5R, 52,5N y 52,5R.

## COMENTARIOS

La inclusión de los cementos CEM II/A-V y CEM II/A-P como utilizables para la aplicación de hormigón pretensado, es coherente con la posibilidad, contemplada en el artículo 30º, de utilización de adición al hormigón pretensado de cenizas volantes, en una cantidad no mayor del 20% del peso de cemento.

Los cementos para usos especiales están fundamentalmente indicados para grandes macizos de hormigón en masa, así como para otros usos entre los que destacan los relacionados con la construcción de firmes de carreteras. Este tipo de cementos no debe utilizarse para hormigones armados o pretensados.

El empleo de los cementos tipo V/A, III/B y IV/B en elementos de hormigón armado sometidos a la clase general de exposición II requiere la aplicación de precauciones especiales.

El párrafo del articulado relativo a cementos blancos y cementos con características adicionales significa que en hormigón pretensado se pueden utilizar únicamente, además de los cementos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-V y CEM II/A-P, los correspondientes a esos mismos tipos con alguna característica adicional, como la resistencia a sulfatos (SR), al agua de mar (MR), bajo calor de hidratación (LH), y también los equivalentes cementos blancos (BL).

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.

Los cementos normalmente utilizados en hormigones de alta resistencia son de clase resistente 42,5 y 52,5. En los casos en que el hormigonado tenga que realizarse en época calurosa, o en grandes masas, se recomienda emplear cementos del menor calor de hidratación posible compatible con las resistencias mencionadas.

El tipo de cemento debe elegirse teniendo en cuenta, entre otros factores, la aplicación del hormigón, las condiciones ambientales a las que va a estar expuesto, y las dimensiones de la pieza, tratando siempre de tener el mejor comportamiento medioambiental posible. Por ello es conveniente seguir las recomendaciones generales para la utilización de los cementos que se incluyen en la vigente Instrucción para la recepción de cementos.

## Artículo 27º Agua

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión.

En general, podrán emplearse 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 cumplir las siguientes condiciones:

- exponente de hidrógeno pH (UNE 7234:71)  $\geq 5$
- sustancias disueltas (UNE 7130:58)  $\leq 15$  gramos por litro (15.000 p.p.m)
- sulfatos, expresados en  $\text{SO}_4^{=}$  (UNE 7131:58), excepto para el cemento SR en que se eleva este límite a 5 gramos por litro (5.000 p.p.m)  $\leq 1$  gramo por litro (1.000 p.p.m)
- ión cloruro,  $\text{Cl}^-$  (UNE 7178:60):
  - o Para hormigón pretensado  $\leq 1$  gramo por litro (1.000 p.p.m)
  - o Para hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración  $\leq 3$  gramos por litro (3.000 p.p.m)
- hidratos de carbono (UNE 7132:58) 0
- sustancias orgánicas solubles en

éter (UNE 7235:71)

≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m)

realizándose la toma de muestras según la UNE 7236:71 y los análisis por los métodos de las normas indicadas.

Podrán emplearse aguas de mar o aguas salinas análogas para el amasado o curado de hormigones que no tengan armadura alguna. Salvo estudios especiales, se prohíbe expresamente el empleo de estas aguas para el amasado o curado de hormigón armado o pretensado.

Se permite el empleo de aguas recicladas procedentes del lavado de cubas en la propia central de hormigonado, siempre y cuando cumplan las especificaciones anteriormente definidas en este artículo. Además se deberá cumplir que el valor de densidad del agua reciclada no supere el valor 1,1 g/cm<sup>3</sup>.

Este valor límite de densidad está directamente relacionado con el contenido en finos que, procedentes de estas aguas recicladas, se aportan al hormigón. Su determinación viene dada por la expresión:

$$M = \left( \frac{1 - d_a}{1 - d_f} \right) \cdot d_f$$

donde :

$M$  Masa de finos presente en el agua, en g/cm<sup>3</sup>  
 $d_a$  Densidad del agua en g/cm<sup>3</sup>.  
 $d_f$  Densidad del fino, en g/cm<sup>3</sup>

En relación con el contenido de finos se tendrá en cuenta lo indicado en 31.1. Para el cálculo del contenido de finos que se aporta en el agua reciclada, se debe considerar un valor de  $d_f$  igual a 2,1 g/cm<sup>3</sup>, salvo valor experimental obtenido de acuerdo con el siguiente procedimiento: la muestra una vez desecada en estufa se pulveriza hasta pasar por el tamiz 200  $\mu\text{m}$  y se determina su densidad mediante el voluménometro de Le Chatelier.

Con respecto al contenido de ión cloruro, se tendrá en cuenta lo previsto en 31.1.

## COMENTARIOS

La utilización del agua de mar reduce la resistencia del hormigón (en un quince por ciento, aproximadamente). Por ello, su empleo, únicamente permitido en hormigón sin armaduras, debe condicionarse, no sólo a que sean o no admisibles las manchas y eflorescencias que habitualmente originan su uso, sino también a que el hormigón con ella fabricado cumpla las características resistentes exigidas. Se recomienda en estos casos la utilización de un cemento con características adicionales MR ó SR.

En las plantas de fabricación de hormigón, existen actualmente dos técnicas para reducir la generación del efluente líquido y en su caso también del residuo sólido; se trata por un lado de la reutilización de aguas residuales captadas en balsas de decantación y de otro, la reutilización de restos líquidos y sólidos mediante el reciclado completo de estos residuos.

Al objeto de contribuir a la calidad ambiental con este tipo de técnicas se recomienda la utilización de los recicladores frente a las balsas de decantación ya que así se evita la generación de residuos sólidos. Estas técnicas de reciclado y reutilización de hormigón son especialmente recomendables en instalaciones industriales con los medios mínimos necesarios que garanticen la calidad de los materiales a utilizar, tales como centrales de hormigón preparado y fábricas de prefabricación.

La utilización de estos sistemas de recuperación deben tener especial precaución en evitar contaminaciones de los lodos con aceites, grasas y otros componentes provenientes de los vehículos de transporte del hormigón, para ello se recuerda el cuadro de especificaciones del agua para amasado que define ésta.

La limitación del contenido máximo de cloruros expresados en ión cloruro es una medida preventiva contra posibles acciones corrosivas sobre las armaduras. Esta limitación afecta al hormigón armado y al pretensado, así como al hormigón en masa, pero que incluye armaduras para reducir la fisuración.

En las sustancias orgánicas solubles en éter quedan incluidos no sólo los aceites y las grasas de cualquier origen, sino también otras sustancias que puedan afectar desfavorablemente al fraguado y al endurecimiento hidráulico.

## **Artículo 28º Áridos**

### **28.1 Generalidades**

Las características de los áridos empleados para la fabricación del hormigón deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del mismo, así como las restantes exigencias que se requieran a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), según UNE-EN 12620:2003, rodados o procedentes de rocas machacadas, así como escorias siderúrgicas enfriadas por aire según UNE-EN 12620:2003. En el caso de áridos reciclados o áridos ligeros, se seguirá lo establecido en los Anejos correspondientes.

En el caso de utilizar áridos siderúrgicos (como, por ejemplo, escorias siderúrgicas granuladas de alto horno) como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos inestables.

Dada su peligrosidad, sólo se permite el empleo de áridos con una proporción muy baja de sulfuros oxidables.

### **COMENTARIOS**

Esta Instrucción exige que los áridos, incluidos en su ámbito, satisfagan un conjunto de especificaciones técnicas en cuya elaboración se ha tenido en cuenta el contenido de la Norma Armonizada UNE-EN 12620: 2003 "Áridos para Hormigón".

Los áridos no deben ser reactivos con el 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. en proporciones superiores a lo que permite esta Instrucción.

Los sulfuros oxidables (por ejemplo, pirrotina, marcasita y algunas formas de pirita), aún en pequeña cantidad, resultan muy peligrosos para el hormigón, pues reaccionan con algunos de los productos de hidratación del cemento, con gran aumento de volumen.

Entre los ensayos que se realizan con los áridos, hay algunos de utilidad general; por ejemplo, el que sirve 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 magnésico, cuyo principal objeto es conocer la resistencia frente a la helada del árido empleado en el hormigón.

Para la fabricación de hormigones de alta resistencia se utilizarán áridos con propiedades mecánicas idóneas, ya sean rodados o procedentes de rocas machacadas de altas prestaciones mecánicas. Los áridos más recomendables desde el punto de vista mineralógico son los basaltos, cuarcitas, riolitas, sienitas, ofitas y calizas de buena calidad, con densidades superiores a 2.600 kg/m<sup>3</sup>

Si se mezclan áridos de densidad muy diferente, se deberá prestar atención para que no se produzca segregación. Cuando los áridos disponibles se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por estudios previos, se recomienda la realización de identificación y caracterización, mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga a cada caso.

### **28.2 Designación de los áridos**

A los efectos de esta Instrucción, los áridos se designarán, de acuerdo con UNE 146901-1:M 2004, con el siguiente formato:

GR – d/D - F – N – L

Donde:

GR Indica el grupo que será: AF árido fino y AG, árido grueso. Se define como árido fino, el árido o fracción del mismo que pasa por un tamiz de 4 mm de luz de malla (tamiz 4 UNE EN 933-2:98). Árido grueso es el que resulta retenido por dicho tamiz.

d/D Fracción granulométrica, comprendida entre un tamaño mínimo,  $d$ , y un tamaño máximo,  $D$ , en mm.

F Forma de presentación: R, rodado; T, triturado (de machaqueo); M, mezcla.

N Naturaleza: C, calizo; S, silíceo; G, granito; O, ofita; B, basalto; D, dolomítico; Q, traquita; I, fonolita; V, varios; A, artificial; R, reciclado.

L Árido lavado. Si se deja en blanco significa “no lavado”.

En la fase de proyecto, a efectos de la especificación del hormigón, es necesario únicamente establecer para el árido su tamaño máximo en mm, de acuerdo con 39.2 (donde se denomina TM) y, en su caso, especificar el empleo de árido reciclado y su porcentaje de utilización).

## COMENTARIOS

Al designar la naturaleza de los áridos, sólo se especifican los tipos de rocas más habituales. El resto (gneis, pórfidos, anfibolitas, etc) se designan como varios (V). Se utilizan los símbolos Q, I para traquita y fonolita, en lugar de los indicados en la UNE citada, para evitar la confusión con otros símbolos utilizados en el formato de designación.

### 28.3. Tamaños máximo y mínimo de un árido

Se denomina tamaño máximo  $D$  de un árido grueso o fino, la mínima abertura de tamiz UNE EN 933-2:96 que cumple los requisitos generales recogidos en la tabla 28.3.a, en función del tamaño del árido.

Se denomina tamaño mínimo  $d$  de un árido grueso o fino, la máxima abertura de tamiz UNE EN 933-2:96 que cumple los requisitos generales recogidos en la tabla 28.3.a, en función del tipo y del tamaño del árido.

Los tamaños mínimo  $d$  y máximo  $D$  de los áridos deben especificarse por medio de un par de tamices de la serie básica, o la serie básica más la serie 1, o la serie básica más la serie 2 de la tabla 28.3.b. No se podrán combinar los tamices de la serie 1 con los de la serie 2.

Los tamaños de los áridos no deben tener un  $D/d$  menor que 1,4.

Tabla 28.3.a Requisitos generales de los tamaños máximo  $D$  y mínimo  $d$ .

	Porcentaje que pasa (en masa)
--	-------------------------------

		$2 D$	$1,4 D^{a)}$	$D^{b)}$	$d$	$d/2^{a)}$
Árido grueso	$D > 11,2$ y $D/d > 2$	100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5
	$D \leq 11,2$ o $D/d \leq 2$	100	98 a 100	85 a 99	0 a 20	0 a 5
Árido fino	$D \leq 4$ y $d \geq 0,125$	100	95 a 100	85 a 99	0 a 20	-

a) Como tamices  $1,4D$  y  $d/2$  se tomarán de la serie elegida o el siguiente tamaño del tamiz más próximo de la serie.

b) El porcentaje en masa que pase por el tamiz  $D$  podrá ser superior al 99 %, pero en tales casos el suministrador deberá documentar y declarar la granulometría representativa, incluyendo los tamices  $D$ ,  $d$ ,  $d/2$  y los tamices intermedios entre  $d$  y  $D$  de la serie básica más la serie 1, o de la serie básica más la serie 2. Se podrán excluir los tamices con una relación menor a 1,4 veces el siguiente tamiz más bajo.

## COMENTARIOS

El tamaño máximo de un árido grueso o fino,  $D$ , se corresponde con la mínima abertura del tamiz UNE-EN 933-2:96 que retiene menos que el 10% (para  $D > 11,2$  y  $D/d > 2$ ) o que el 15% (para  $D \leq 11,2$  o  $D/d \leq 2$ ) en masa, cuando además no retiene nada el tamiz de abertura el doble,  $2D$ . También se exige que el tamiz de abertura  $1,4 D$  retenga en masa menos que el 2% (para  $D > 4$ ) o el 5% (para  $D \leq 4$ ).

El tamaño mínimo de un árido grueso,  $d$ , se corresponde con la máxima abertura del tamiz que deja pasar como máximo el 15% (para  $D > 11,2$  y  $D/d > 2$ ) o el 20% (para  $D \leq 11,2$  o  $D/d \leq 2$ ) en masa, siempre que pase como máximo el 5% por el tamiz  $d/2$ .

El tamaño mínimo de un árido fino,  $d$ , se corresponde con la mayor abertura del tamiz que deja pasar como máximo el 20 % de la masa de árido.

Para fijar los tamaños de los áridos, se recomienda utilizar la serie básica, o la serie básica más la serie 2, que incluye los tamaños 10, 20, 40 de larga tradición en España.

Tabla 28.3.b Series de tamices para especificar los tamaños de los áridos

Serie Básica mm	Serie Básica + Serie 1 mm	Serie Básica + Serie 2 mm
0,063	0,063	0,063
0,125	0,125	0,125
0,250	0,250	0,250
0,500	0,500	0,500
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63
125	125	125

NOTA - Por simplificación, se podrán emplear los tamaños redondeados entre paréntesis para describir el tamaño de los áridos

### 28.3.1 Limitaciones del árido grueso para la fabricación del hormigón.

A efectos de la fabricación del hormigón, se denomina grava o árido grueso total, a la mezcla de las distintas fracciones de árido grueso que se utilicen; arena o árido fino total a la mezcla de las distintas fracciones de árido fino que se utilicen; y árido total (cuando no haya lugar a confusiones, simplemente árido), 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.

El tamaño máximo del árido grueso utilizado para la fabricación del hormigón será menor que las dimensiones siguientes:

- a) 0,8 veces la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- b) 1,25 veces la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- c) 0,25 veces la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:
  - Losa superior de los forjados, donde el tamaño máximo del árido será menor que 0,4 veces el espesor mínimo.

- 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), en cuyo caso será menor que 0,33 veces el espesor mínimo.

El árido para una determinada aplicación se podrá componer como suma de una o varias fracciones granulométricas. Cuando la relación  $D/d$  sea igual o menor que 2 podrá considerarse que el árido constituye una única fracción granulométrica. Cuando el hormigón deba pasar entre varias capas de armaduras, convendrá emplear un tamaño de árido más pequeño que el que corresponde a los límites a) ó b) si fuese determinante.

## COMENTARIOS

Para conseguir hormigones de alta resistencia conviene que el árido grueso tenga un tamaño máximo no superior a 20 mm y que el árido fino tenga un módulo de finura próximo a 3.

### 28.4 Granulometría de los áridos

La granulometría de los áridos, determinada de conformidad con la norma UNE-EN 933-1: 1998, debe cumplir los requisitos correspondientes a su tamaño de árido  $d/D$ .

## COMENTARIOS

La Instrucción prescribe el empleo de la UNE EN 933-2:96 relativa a la determinación de la granulometría de las partículas de los áridos, que establece como serie básica de tamices la formada por los siguientes: 0,063-0,125-0,250-0,500-1-2-4-8-16-31,5-63-125 mm. Para el árido fino, la Instrucción utiliza únicamente los tamices de dicha serie. Para el árido grueso, utiliza además los tamices 10-20-40 mm, que están incluidos en la serie complementaria R 20 admitida por la indicada Norma, y que tienen una larga tradición de empleo en España. En la tabla 28.3.b se recogen los tamices que constituyen la Serie Básica y la Serie Básica+Serie 2. En esta última están incluidos los tamices 10, 20, 40 mm.

Es importante que la granulometría del árido utilizado permanezca constante durante la ejecución de la obra, ya que los cambios en dicha granulometría pueden obligar a realizar ajustes en la composición del hormigón por su repercusión sobre la cantidad de cemento y de agua.

#### 28.4.1. Granulometría del árido fino total

La curva granulométrica del árido fino total deberá estar comprendida dentro del huso definido en la tabla 28.4.1. En el caso de arenas que no cumplan con las limitaciones establecidas en este huso, especialmente las recogidas para el material de tamaño inferior a 0,063mm, podrán utilizarse siempre que se cumpla lo indicado en 31.1 y exista un estudio experimental específico que justifique que las propiedades relevantes de los hormigones con ellos fabricados son, al menos, iguales que las de los hormigones hechos con los mismos componentes, pero sustituyendo la arena por una que cumpla el huso.

El huso granulométrico así definido se expone en la figura 28.4.1.

Tabla 28.4.1. Huso granulométrico del árido fino

Límites	Material retenido acumulado, en % en peso, en los tamices						
	4 mm	2 mm	1mm	0,5 mm	0,25 mm	0,125 mm	0,063 mm
Superior	0	4	16	40	70	82	(1)
Inferior	15	38	60	82	94	100	100

- (1) Este valor será el que corresponda de acuerdo con la tabla:
- 94% para:
    - Áridos redondeados.
    - Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a la clase general de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien que estén sometidas a alguna clase específica de exposición.
  - 90% para:
    - Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a la clase general de exposición IIIa, IIIb, IIIc ó IV o bien que estén sometidas a alguna clase específica de exposición.
    - Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición.
  - 84% para:
    - Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición.

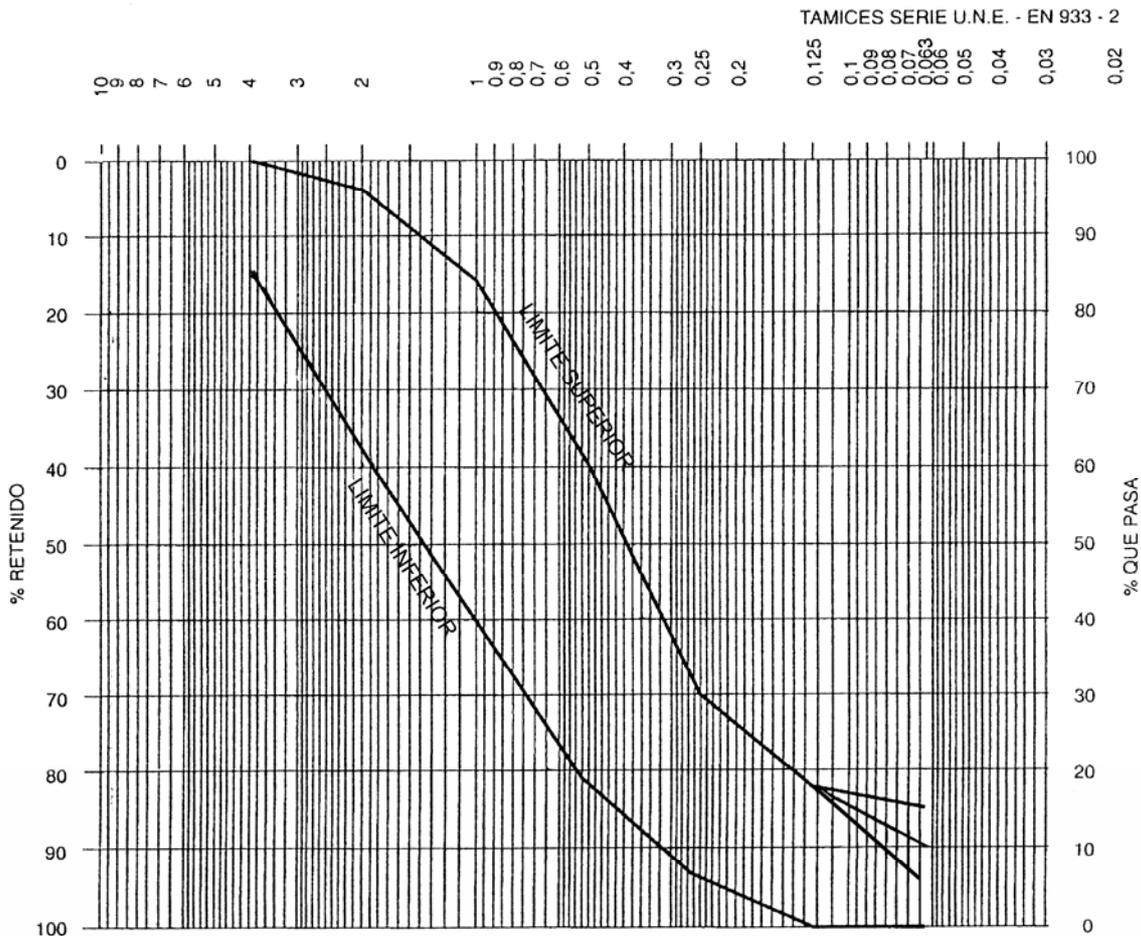


Figura 28.4.1 Huso granulométrico del árido fino

**28.4.2 Contenido en finos de los áridos**

La cantidad de finos que pasan por el tamiz 0,063 UNE EN 993-1:1998, expresada en porcentaje del peso de la muestra de árido grueso total o de árido fino total, no excederá los valores de la tabla 28.4.2.

Tabla 28.4.2 Contenido máximo de finos en los áridos

ÁRIDO	PORCENTAJE MÁXIMO QUE PASA POR EL TAMIZ 0,063 mm	TIPOS DE ÁRIDOS
Grueso	1,5%	-Cualquiera
Fino	6%	- Áridos redondeados - Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E y F (1)
	10%	- Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E y F (1) - Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa o IIb y no sometidas a ninguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E y F(1)
	16%	- Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa o IIb y no sometidas a ninguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E y F (1)

(1) Véanse las tablas 8.2.2 y 8.2.3.a.

### **28.4.3. Calidad de los finos de los áridos**

Salvo en el caso indicado en el párrafo siguiente, no se utilizarán áridos finos cuyo equivalente de arena determinado de conformidad con la norma UNE EN 933-8:00 sea inferior a:

- a) 75, para obras sometidas a la clase general de exposición I, IIa ó IIb y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición. Véanse las Tablas 8.2.2 y 8.2.3.a.

b) 80, el resto de los casos.

No obstante lo anterior, aquellas arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas o dolomías (entendiendo como tales aquellas rocas sedimentarias carbonáticas que contienen al menos un 70% de calcita, dolomita o de ambas, que no cumplan la especificación del equivalente de arena, podrán ser aceptadas como válidas cuando se cumplan las condiciones siguientes: para obras sometidas a clases generales de exposición I, IIa ó IIb, que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición y en las que el valor de azul de metileno (UNE EN 933-9:1999) sea igual o inferior a 0,60 gramos de azul por cada 100 gramos de finos; y para los restantes casos, que el valor del azul de metileno sea o igual o inferior a 0,30 gramos de azul por cada 100 gramos de finos.

Cuando para la clase de exposición de que se trate, el valor de azul de metileno sea superior al valor límite establecido en el párrafo anterior y se tenga duda sobre la existencia de arcilla en los finos, se podrá identificar y valorar cualitativamente su presencia en dichos finos mediante el ensayo de difracción de rayos X. Sólo se podrá utilizar el árido fino si las arcillas son del tipo caolinita o illita y si las propiedades mecánicas y de penetración de agua a presión de los hormigones fabricados con esta arena son, al menos, iguales que las de un hormigón fabricado con los mismos componentes, pero utilizando la arena sin finos. El estudio correspondiente deberá ir acompañado de documentación fehaciente que contendrá en todos los casos el análisis mineralógico del árido, y en particular su contenido en arcilla, y deberá ser realizado por un laboratorio que disponga de la acreditación correspondiente para los ensayos de áridos y hormigones.

## COMENTARIOS

Aún cuando el ensayo se debe realizar según la norma indicada, el resultado se expresará en gramos de azul por cada 100 g de finos, por lo que deberá determinarse el contenido de finos de la fracción de arena 0/2 mm, según UNE-EN 933-1:1998.

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).

### 28.5 Forma del árido grueso

La forma del árido grueso se expresará mediante el índice de lajas, de conformidad con la norma UNE EN 933-3: 1997.

Se entiende por índice de lajas de un árido el porcentaje en peso de áridos considerados como lajas con arreglo al método de ensayo indicado.

El índice de lajas del árido grueso, debe ser inferior a 35.

## COMENTARIOS

El empleo de áridos gruesos con formas inadecuadas dificulta extraordinariamente la obtención de buenas resistencias y 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 impone una limitación al índice de lajas.

## 28.6 Requisitos físico-mecánicos

Se cumplirán las siguientes limitaciones:

- Determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 83115:1989
- Resistencia a la fragmentación del árido grueso  $\leq 40$   
Determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE EN 1097-2:1999 (ensayo de Los Ángeles)
- Absorción de agua por los áridos  $\leq 5\%$   
Determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE EN 1097-6:2001.

Para la fabricación de hormigón en masa o armado, de resistencia característica especificada no superior a  $30 \text{ N/mm}^2$ , podrán utilizarse áridos gruesos con una resistencia a la fragmentación entre 40 y 50 en el ensayo de Los Ángeles (UNE-EN 1097-2:1999) si existe experiencia previa y hay experimentación específica.

La pérdida de peso máxima experimentada por los áridos al ser sometidos a cinco ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato magnésico (método de ensayo UNE EN 1367-2:1999 ) no será superior al 15% en el árido fino y al 18% en el árido grueso.

Este ensayo, cuyo principal objeto es conocer la resistencia del árido a la helada, sólo será obligatorio cuando el hormigón esté sometido a una clase de exposición H o F y, al mismo tiempo, la absorción de agua por los áridos sea superior al 1%.

La cantidad máxima de terrones de arcilla en % del peso total de la muestra, determinados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7133:1958, será inferior al 1% en el árido fino, y al 0,25 % en el árido grueso.

Un resumen de las limitaciones de carácter cuantitativo se recoge en la tabla 28.6.

Tabla 28.6 Requisitos físico-mecánicos

Sustancias perjudiciales	Cantidad máxima en % del peso total de la muestra	
	Árido fino	Árido grueso
Absorción de agua % Determinada con arreglo al método de ensayo indicado en UNE EN 1097-6:2001	5%	5%
Resistencia a la fragmentación del árido grueso, determinada con arreglo al método de ensayo indicado en UNE EN 1097-2:1999	--	40 (*)
Pérdida de peso % con cinco ciclos de sulfato magnésico Determinada con arreglo al método de ensayo indicado en UNE EN 1367-2:1999 para áridos gruesos y la UNE 83116-90 para áridos finos	18%	18%

(\*) 45, en el caso indicado en el Artulado.

## COMENTARIOS

La Norma UNE EN 1097-2:1998 para realizar el ensayo de Los Ángeles permite ensayar cinco fracciones granulométricas comprendidas entre los tamaños 4 y 16 mm. Cuando se utilicen otras fracciones granulométricas en la fabricación del hormigón, de tamaños superiores a 16 mm, deberán reducirse por

machaqueo.

Es necesario limitar el valor del coeficiente de Los Ángeles de los áridos gruesos utilizados en la fabricación del hormigón ya que, a medida que aumenta este coeficiente, aumenta la deformación bajo carga del hormigón y puede bajar la resistencia.

Para los áridos de hormigones de alta resistencia se recomienda que el coeficiente de desgaste de Los Ángeles no sea superior a 25.

Se recomienda, especialmente en el caso de hormigones de alta resistencia, que la friabilidad de la arena (FA), determinada de conformidad con UNE 83.115:1998EX, no sea superior a 40. En el caso de hormigones en masa o armado con resistencia característica especificada no superior a 30 N/mm<sup>2</sup>, el valor de la friabilidad de las arenas podría aumentarse hasta 50, si existe experiencia previa y estudios experimentales específicos.

Asimismo, se recomienda que los terrones de arcilla, determinados según UNE 7133:1958 no sean superiores al 1% en el caso del árido fino, ni al 0,25% en el caso del árido grueso.

## **28.7 Requisitos químicos**

En este apartado se definen los requisitos mínimos que deben cumplir los áridos para hormigones. Un resumen de las limitaciones de carácter cuantitativo se recogen en la tabla 28.7.

### **28.7.1 Cloruros**

El contenido en ión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) soluble en agua de los áridos grueso y fino para hormigón, determinado de conformidad con el artículo 7 de la Norma EN 1744-1:1999, no podrá exceder del 0,05% en masa del árido, cuando se utilice en hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración, y no podrá exceder del 0,03% en masa del árido, cuando se utilice en hormigón pretensado (tabla 28.7).

Con respecto al contenido total en los hormigones del ión cloruro,  $\text{Cl}^-$ , se tendrá en cuenta lo prescrito en 31.1.

## **COMENTARIOS**

El Articulado limita la cantidad máxima de cloruros en los áridos, al objeto de reducir el riesgo de corrosión de las armaduras, siendo más estricta la limitación en el caso del hormigón pretensado. En el caso del hormigón en masa, el Articulado no exige ninguna limitación, si bien es recomendable limitar, tanto en el árido fino como en el grueso, el contenido de cloruros expresados en  $\text{Cl}^-$  al 0,15 por 100 en peso cuando se quiera evitar la aparición de eflorescencias en la superficie del hormigón.

Si se conoce el contenido en iones cloruro solubles en agua del árido combinado y es igual o inferior a 0,01% (por ejemplo, para áridos extraídos de la mayoría de las canteras interiores), se puede emplear este valor para el cálculo del contenido en cloruros del hormigón.

### **28.7.2 Sulfatos solubles**

El contenido en sulfatos solubles en ácido, expresados en  $\text{SO}_3^-$  de los áridos grueso y fino, determinado de conformidad con el artículo 12 de la Norma UNE-EN 1744-1: 1999, no podrá exceder de 0,8% en masa del árido (tabla 28.7). En el caso de escorias de alto horno enfriadas por aire, la anterior especificación será del 1%.

### **28.7.3 Compuestos totales de azufre**

Los compuestos totales de azufre de los áridos grueso y fino, determinados de conformidad con el artículo 11 de la norma UNE-EN 1744-1: 1999, no podrá exceder del 1% en masa del peso total de la muestra (tabla 28.7). En el caso de escorias de alto horno enfriadas por aire, la anterior especificación será del 2%.

En el caso de que se detecte la presencia de sulfuros de hierro oxidables en forma de pirrotina, el contenido total de azufre será inferior al 0,1%.

## COMENTARIOS

La presencia de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácidos en porcentajes superiores a las limitaciones del Articulado 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.

La limitación del Articulado a la diferencia entre los porcentajes de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles, expresados en  $\text{SO}_3^-$ , que no debe superar el 0,25 %, es una manera indirecta de limitar los sulfuros oxidables en los áridos, a cuya peligrosidad se refiere 28.1.

Se recomienda no utilizar aquellos áridos cuya diferencia entre compuestos totales de azufre expresados en  $\text{SO}_3^-$  y sulfatos solubles, expresados en  $\text{SO}_3^-$ , sea superior al 0,25 %.

### ***28.7.4 Materia orgánica Compuestos que alteran la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón.***

Se deben ensayar los áridos que contengan sustancias orgánicas, para determinar el efecto sobre el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión, de conformidad con el apartado 15.3 de la norma UNE-EN 1744-1: 1999. El mortero preparado con estos áridos deberá cumplir que:

- a) El aumento del tiempo de fraguado de las muestras de ensayo de mortero será inferior a 120 minutos.
- b) La disminución de la resistencia a la compresión de las muestras de ensayo de mortero a los 28 días será inferior al 20%.

## COMENTARIOS

Se recomienda no emplear aquellos áridos finos que presenten una proporción de materia orgánica tal que, ensayados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE-EN 1744-1:1999, apartado 15.1, produzcan un color más oscuro que el de la sustancia patrón. Asimismo, se recomienda que el contenido de partículas orgánicas ligeras que flotan en un líquido de peso específico 2 determinadas según el apartado 14.2 de la norma UNE-EN 1744-1: 1999 para áridos finos, y la UNE 724-4:1971 para áridos gruesos no sea superior al valor de 0,5% para áridos finos y 1% para áridos gruesos (tabla 28.7).

Algunos compuestos inorgánicos que colorean la capa superior de líquido en el ensayo del hidróxido sódico no influyen negativamente sobre el fraguado y endurecimiento del hormigón.

Los azúcares no alteran el color de la capa superior de líquido en los ensayos de hidróxido sódico y de ácido fúlvico. Si se sospecha la presencia de azúcares o materiales de ese tipo, se debería analizar el árido con el ensayo en una muestra de mortero (véase el apartado 15.3 de la norma UNE-EN 1744-1: 1999). Asimismo, se deberían aplicar los requisitos del tiempo de fraguado y de la resistencia a la compresión señalados anteriormente.

### ***28.7.5 Estabilidad de volumen de las escorias de alto horno enfriadas por aire***

Las escorias de alto horno enfriadas por aire deben permanecer estables:

- a) Frente a la transformación del silicato bicálcico inestable que entre en su composición, determinada según el ensayo descrito en UNE-EN 1744-1:1999, apartado 19.1.
- b) Frente a la hidrólisis de los sulfuros de hierro y de manganeso que entren en su

composición, determinada según el ensayo descrito en UNE-EN 1744-1:1999, apartado 19.2.

Tabla 28.7 Requisitos químicos

SUSTANCIAS PERJUDICIALES		Cantidad máxima en % del peso total de la muestra	
		Árido fino	Árido grueso
Material retenido por el tamiz 0,063 UNE EN 933-2:1996 y que flota en un líquido de peso específico 2, determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE EN 1744-1:99 (apartado 14.2)		0,50	1,00
Compuestos totales de azufre expresados en $\text{SO}_3^-$ y referidos al árido seco, determinados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE EN 1744-1:1999 (artículo 11)		1,00	1,00
Sulfatos solubles en ácidos, expresados en $\text{SO}_3^-$ y referidos al árido seco, determinados según el método de ensayo indicado en la UNE EN 1744-1:1999 (artículo 12)		0,80	0,80 <sup>(*)</sup>
Cloruros expresados en $\text{Cl}^-$ y referidos al árido seco, determinados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE EN 1744-1:1999 (artículo 7)	Hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración	0,05	0,05
	Hormigón pretensado	0,03	0,03

<sup>(\*)</sup>Este valor será del 1% en el caso de escorias enfriadas al aire.

### 28.7.6 Reactividad álcali-árido

Los áridos no presentarán reactividad potencial con los alcalinos del hormigón (procedentes del cemento o de otros componentes). Para su comprobación se realizará, en primer lugar, un estudio petrográfico, del cual se obtendrá información sobre el tipo de reactividad que, en su caso, puedan presentar.

Si del estudio petrográfico del árido se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-sílice o álcali-silicato, se debe realizar el ensayo descrito en la UNE 146508:1999 EX (método acelerado en probetas de mortero).

Si del estudio petrográfico del árido se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-carbonato, se debe realizar el ensayo descrito en la UNE 146507-2:1999 EX (determinación de la reactividad álcali-carbonato).

Si a partir de los resultados de algunos de los ensayos prescritos para determinar la reactividad se deduce que el material es potencialmente reactivo, el árido no se podrá utilizar en ambientes favorables al desarrollo de la reacción álcali-árido (véase 37.3.7), salvo en el caso de obras especiales u obras en que no existan otros suministros viables, en las cuales podrá emplearse el árido calificado a priori como potencialmente reactivo sólo si son satisfactorios los resultados del ensayo de reactividad potencial a largo plazo sobre prismas de hormigón, según UNE 146509:1999 EX. Conforme a este procedimiento, se consideran aptos los áridos cuya expansión al finalizar el ensayo es menor o igual al 0,04%.

### COMENTARIOS

Ciertos tipos de rocas de naturaleza silíceas (por ejemplo, ópalo y dacitas) así como otras que contienen sustancias carbonatadas magnesianas (por ejemplo, dolomitas), pueden provocar fenómenos fuertemente expansivos en el hormigón en ciertas condiciones higrotérmicas y en presencia de los álcalis provenientes de los componentes del hormigón (reacción árido-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 magmáticas 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.

Dependiendo del tipo de componente reactivo del árido se pueden distinguir dos tipos de reacción: reacción álcali-silíceo (o álcali-silicato), cuando los áridos contienen sílice amorfa, microcristalina, poco cristalizada o con extinción ondulante, y reacción álcali-carbonato, cuando los áridos contienen dolomita.

La tabla 28.7.6 recoge las principales rocas que pueden presentar reactividad álcali-árido y, dentro de cada una, los minerales sensibles a dicha reactividad en un medio alcalino.

Tabla 28.7.6. Principales rocas y minerales constitutivos reactivos con los álcalis

Rocas	Minerales sensibles en medio alcalino	
Magmáticas	- Granitos - Granodioritas	Cuarzo con red deformada presentando una extinción ondulante Minerales feldespáticos alterados, uniones de partículas abiertas
	- Riolitas - Dacitas - Andesitas - Tracoandesitas - Basaltos	Presencia de vidrios silíceos o vidrios basálticos más o menos desvitrificados, presencia de tridimita, cristobalita y ópalo
	- Obsidiana - Tufos volcánicos - Retinitas	Vidrios ricos en sílice más o menos desvitrificados y frecuentemente fisurados
Metamórficas	- Gneis - Mica-esquistos	Cuarzo con extinción ondulatoria. Microcuarzo de segunda generación, uniones de partículas abiertas, minerales feldespáticos y micáceos alterados
	- Cuarzitas - Corneanas	Cuarzos asociados a un cemento cuarzoso y opalino. Presencia de microcuarzo de segunda generación Presencia de filosilicatos. Presencia de cuarzo con extinción ondulatoria o de cuarzo microfisurado
Sedimentarias	- Gres - Cuarzitas	Cemento silíceo mal cristalizado, uniones de partículas alargadas
	- Grauwacas - Siltitas - Esquistos cuarzosos	Minerales filíticos asociados Presencia de ópalo de cuarzo microcristalizado
	- Silix	Presencia de calcedonia, ópalo
	- Calizas - Calizas dolomíticas - Dolomitas	Presencia de sílice de tipo ópalo en micronódulos o distribuidas en red, asociada o no con sulfuros sedimentarios y filitas

Los ensayos de evaluación de la reactividad álcali-áridos basados en medidas de expansión (en probetas de mortero, según UNE 146508:1999 EX o en probetas de hormigón según UNE 146509:1999 EX), pueden poner de manifiesto comportamientos expansivos de los áridos debidos a otras causas, como la presencia de sulfuros u otros compuestos de azufre, u óxidos de calcio, o de magnesio, entre otros. Para conocer el proceso que está causando las expansiones, puede realizarse un examen de las probetas después del ensayo para identificar los productos de la reacción mediante microscopía electrónica u otras técnicas, si bien, ya sean producidas las expansiones por reactividad árido-álcali, o por otras causas, el comportamiento es nocivo en ambos casos, por lo que no podría emplearse el árido. En los casos en que se compruebe que los productos de reacción son ocasionados por reactividad álcali-árido y no sea viable utilizar otro tipo de árido, se tomarán en consideración las medidas de protección indicadas en el Artículo 37.3.7.

Si bien la realización de los ensayos de reactividad prescritos en el artículo según las UNE 146507-2:1999 EX, UNE 146508:1999 EX y UNE 146509:1999 EX, no presenta problemas especiales de ejecución, para realizar un examen de las probetas después del ensayo, según lo indicado en el párrafo anterior, se debe recurrir a laboratorios especializados en este tipo de estudios.

## Artículo 29º Aditivos

## 29.1 Generalidades

A los efectos de esta Instrucción, se entiende por aditivos aquellas sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

En los hormigones armados o pretensados no podrán utilizarse como aditivos el cloruro cálcico, ni en general, productos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que puedan ocasionar o favorecer la corrosión de las armaduras.

En los elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia, no podrán utilizarse aditivos que tengan carácter de aireantes.

Sin embargo, en la prefabricación de elementos con armaduras pretensas elaborados con máquinas de fabricación continua, podrán usarse aditivos plastificantes que tengan un efecto secundario de inclusión de aire, siempre que se compruebe que no perjudica sensiblemente la adherencia entre el hormigón y la armadura, afectando al anclaje de ésta. En cualquier caso, la cantidad total de aire ocluido no excederá del 6% en volumen, medido según la UNE EN 12.350-7:2001.

Con respecto al contenido de ión cloruro, se tendrá en cuenta lo prescrito en 31.1.

## COMENTARIOS

Las modificaciones favorables que un aditivo produce en alguna característica del hormigón, se denominan funciones. La que corresponde al efecto más importante, es la función principal: es la modificación producida por un aditivo de alguna, y solamente una, de las propiedades del hormigón (es la que identifica o da nombre al aditivo). La función secundaria de un aditivo es la modificación que, accesoriamente puede producir un aditivo de alguna o algunas propiedades del hormigón, independientemente de la que define la función principal. Por otro lado, se denomina efecto secundario de un aditivo a la modificación que, inevitablemente, puede producir un aditivo de alguna o algunas de las propiedades de un hormigón que no se requiere como función secundaria.

La utilización de aditivos en la fabricación del hormigón tiene ya una dilatada experiencia y ha permitido mejorar y ampliar el espectro de utilizaciones del hormigón como producto de construcción. El amplio número de normas existentes de los mismos permite incluir en esta Instrucción un conjunto de tipos de aditivos que, debidamente utilizados, mejoran las prestaciones de los hormigones.

El comportamiento de los aditivos puede variar con las condiciones particulares de cada obra, tipo y dosificación de cemento, naturaleza de los áridos, etc.

La prohibición de la utilización de aireantes para el caso indicado en el articulado (elementos pretensados mediante armaduras ancladas exclusivamente por adherencia) se basa en que estos productos pueden perjudicar la adherencia entre el hormigón y la armadura.

Los elementos prefabricados con armaduras pretensas elaborados con máquinas de fabricación continua están fundamentalmente destinados a la ejecución de forjados, que deben estar sometidos a ensayos periódicos para comprobar sus características resistentes frente a esfuerzos de flexión y cortante. Puede considerarse que no se ha perjudicado la adherencia entre hormigón y acero si el resultado de los ensayos mencionados es satisfactorio soportando los esfuerzos previstos sin fallo del anclaje de la armadura pretesa.

En relación con los reductores de agua (plastificantes), debe tenerse en cuenta que estos productos facilitan el hormigonado y permiten una reducción en la relación agua/cemento, con el consiguiente beneficio para su resistencia y durabilidad, pero al mismo tiempo, suelen retrasar el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón. Por consiguiente, cuando se utilicen plastificantes o fluidificantes que tengan un efecto secundario de retraso del fraguado y endurecimiento del hormigón, puede ser necesario, en general, ampliar los plazos previstos para desmoldar las piezas y, además, en el caso de hormigón pretensado, el plazo para proceder a la transferencia (transmisión del esfuerzo de pretensado al hormigón).

Los reductores de agua de alta actividad (superplastificantes) son necesarios para obtener asientos de cono superiores a 15 cm, permitiendo obtener hormigones muy fluidos sin alterar la relación agua/cemento, facilitando enormemente el hormigonado. La utilización de superplastificantes es muy recomendable o casi indispensable para hormigones con altas densidades de armado, así como para hormigones de alta resistencia y durabilidad.

La efectividad del aditivo superplastificante con el cemento debe ser objeto de estudio en laboratorio para seleccionar el binomio aditivo-cemento más conveniente. Al producirse cambios en el tiempo de principio y fin de fraguado por la incorporación de superplastificantes es necesario realizar ensayos previos en laboratorio con cada aditivo y cemento a utilizar. Es importante conocer la cantidad de agua que lleva incorporado un aditivo para deducirla al agua de amasado. Siempre que haya un cambio de partida en los aditivos superplastificantes, conviene realizar un control estricto de los mismos a fin de evitar variaciones importantes entre las distintas partidas suministradas.

Se prohíbe la utilización del cloruro cálcico como acelerante en el hormigón armado o pretensado, ya que su presencia provoca a veces y favorece siempre, fenómenos de corrosión de las armaduras. No obstante, puede emplearse en hormigón en masa utilizando el producto en las debidas proporciones (del orden de 1,5 al 2 por 100 del peso del cemento).

## 29.2 Tipos de aditivos

En el marco de esta Instrucción, se consideran cinco tipos de aditivos que se recogen en la tabla 29.2.

Tabla 29.2 Tipos de aditivos

TIPO DE ADITIVO	FUNCIÓN PRINCIPAL
Reductores de agua (Plastificantes)	Disminuir el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad o aumentar la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
Reductores de agua de alta actividad (Superplastificantes)	Disminuir significativamente el contenido de agua de un hormigón sin modificar la trabajabilidad o aumentar significativamente la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
Modificadores de fraguado (Aceleradores, retardadores)	Modificar el tiempo de fraguado de un hormigón.
Inclusores de aire	Producir en el hormigón un volumen controlado de finas burbujas de aire, uniformemente repartidas, para mejorar su comportamiento frente a las heladas.
Multifuncionales	Modificar más de una de las funciones principales definidas con anterioridad.

Los aditivos de cualquiera de los cinco tipos descritos anteriormente deberán cumplir la UNE EN 934-2:2002.

En los documentos de origen, figurará la designación del aditivo de acuerdo con lo indicado en la UNE EN 934-2:2002, así como el certificado del fabricante que garantice que el producto satisface los requisitos prescritos en la citada norma, el intervalo de eficacia (proporción a emplear) y su función principal de entre las indicadas en la tabla anterior.

La utilización de otros aditivos distintos a los contemplados en este artículo, requiere la aprobación previa de la Dirección de Obra.

La utilización de aditivos en el hormigón, una vez en la obra y antes de su colocación en la misma, requiere de la autorización de la Dirección Facultativa y el conocimiento del Suministrador del hormigón.

## COMENTARIOS

La utilización de los aditivos durante el proceso de fabricación del hormigón, es una técnica que requiere de un buen conocimiento por parte del fabricante del hormigón del comportamiento conjunto de los aditivos con las materias primas componentes del hormigón.

En sentido estricto, el contenido de agua de los aditivos que se suministran en forma líquida, debería ser tenido en cuenta para la dosificación del hormigón y el cálculo de la relación agua/cemento del mismo. Por otro lado, la fabricación del hormigón debe realizarse con un control adecuado de la cantidad de aditivo incorporado al mismo (ya que un exceso importante de aditivo puede tener consecuencias negativas para el hormigón).

A igualdad de comportamiento resistente y frente a durabilidad deben procurarse las dosificaciones y utilización de materias primas que tenga la menor incidencia medioambiental.

## Artículo 30º Adiciones

A los efectos de esta Instrucción, se entiende por adiciones aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle características especiales. La presente Instrucción recoge únicamente la utilización de las cenizas volantes y el humo de sílice como adiciones al hormigón en el momento de su fabricación.

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 alimentadas por carbones pulverizados.

El humo de sílice es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos eléctricos de arco para la producción de silicio y ferrosilicio.

Las adiciones pueden utilizarse como componentes del hormigón siempre que se justifique su idoneidad para su uso, produciendo el efecto deseado sin modificar negativamente las características del hormigón, ni representar peligro para la durabilidad del hormigón, ni para la corrosión de las armaduras.

Para utilizar cenizas volantes o humo de sílice como adición al hormigón, deberá emplearse un cemento tipo CEM I. Además, en el caso de la adición de cenizas volantes, el hormigón deberá estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

En hormigón pretensado podrá emplearse adición de cenizas volantes cuya cantidad no podrá exceder del 20% del peso de cemento, o humo de sílice cuyo porcentaje no podrá exceder del 10% del peso del cemento.

En aplicaciones concretas de hormigón de alta resistencia, fabricado con cemento tipo CEM I, se permite la adición simultánea de cenizas volantes y humo de sílice, siempre que los porcentajes de cenizas volantes, de humo de sílice y la suma de ambos porcentajes no superen, respectivamente, el 20%, 10% y 20% del peso de cemento. En este caso la ceniza volante sólo se contempla a efecto de mejorar la compacidad y reología del hormigón, sin que se contabilice como parte del conglomerante mediante su coeficiente de eficacia *K*.

En elementos no pretensados en estructuras de edificación, la cantidad máxima de cenizas volantes adicionadas no excederá del 35% del peso de cemento, mientras que la cantidad máxima de humo de sílice adicionado no excederá del 10% del peso de cemento. La cantidad mínima de cemento se especifica en 37.3.2.

Con respecto al contenido de ión cloruro, se tendrá en cuenta lo prescrito en 31.1

## COMENTARIOS

El humo de sílice (también denominado microsíllice), dada su extremada finura y riqueza en óxido de silicio, y en consecuencia su elevada actividad resistente, tiene aplicación fundamentalmente en la fabricación de hormigones de alta resistencia. Esta adición confiere al hormigón una elevada compacidad y resistencia mecánica; puede producir una reducción en el pH del hormigón, lo que debe tenerse en cuenta en el caso de ambientes que induzcan una importante carbonatación del hormigón.

El empleo de estas adiciones tiene, por un lado, ventajas medioambientales al ser residuos (o productos secundarios) de otros procesos previos y, por otro lado, un cierto riesgo de aumento de la heterogeneidad. Por ello debe tenerse cuidado especial en comprobar, por parte de la central de hormigonado, su regularidad, a través del oportuno control de recepción de los diferentes suministros, con el fin de comprobar que las posibles variaciones de su composición no afectan al hormigón fabricado con las mismas.

Al ser tanto las cenizas volantes como el humo de sílice subproductos industriales, debe tenerse cuidado especial en comprobar, por parte de la central de hormigonado, su regularidad, a través del oportuno control de recepción de los diferentes suministros, con el fin de comprobar que las posibles variaciones de su composición no afectan al hormigón fabricado con las mismas.

La utilización de cenizas volantes en el hormigón pretensado puede ser de interés al objeto de mejorar la compacidad del hormigón.

### 30.1 Prescripciones y ensayos de las cenizas volantes

Las cenizas volantes no podrán contener elementos perjudiciales en cantidades tales que puedan afectar a la durabilidad del hormigón o causar fenómenos de corrosión de las armaduras. Además deberán cumplir las siguientes especificaciones de acuerdo con la UNE EN 450-2:2005:

- Anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), según la UNE EN 196-2:1996 ≤ 3,0%
- Cloruros (Cl), según la UNE 80217:1991 ≤ 0,10%
- Óxido de calcio libre, según la UNE EN 451-1:1995 ≤ 1%
- Pérdida al fuego, según la UNE EN 196-2:1996 ≤ 5,0%
- Finura, según la UNE EN 451-2:1995
- Cantidad retenida por el tamiz 45 µm ≤ 40%
- Índice de actividad, según la UNE-EN 196-1:1996
  - a los 28 días > 75%
  - a los 90 días > 85%
- Expansión por el método de las agujas, según la UNE EN 196-3:1996 < 10 mm

La especificación relativa a la expansión sólo debe tenerse en cuenta si el contenido en óxido de calcio libre supera el 1% sin sobrepasar el 2,5%.

Los resultados de los análisis y de los ensayos previos estarán a disposición de la Dirección de Obra.

#### COMENTARIOS

Las cenizas con alto contenido de óxido de calcio pueden dar origen a problemas de expansión en el hormigón, por lo que se recomienda extremar en este caso las precauciones y controles comprobando con frecuencia la finura de las cenizas y la expansión por el método de las agujas.

Las prescripciones del articulado coinciden con las de la UNE EN 450:1995. Además, en la UNE 83414:1990 se dan recomendaciones para la adición de cenizas volantes a los hormigones fabricados con cementos tipo CEM I.

### 30.2 Prescripciones y ensayos del humo de sílice

El humo de sílice no podrá contener elementos perjudiciales en cantidades tales que

puedan afectar a la durabilidad del hormigón o causar fenómenos de corrosión de las armaduras. Además, deberá cumplir las siguientes especificaciones:

- |  |         |
|--|---------|
| - Óxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ), según la UNE EN 196-2:1996 | ≥ 85%   |
| - Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) según la UNE 80217:1991              | < 0,10% |
| - Pérdida al fuego, según la UNE EN 196-2:1996                     | < 5%    |
| - Índice de actividad, según la UNE-EN 13263-1:2006                | > 100%  |

Los resultados de los análisis y de los ensayos previos estarán a disposición de la Dirección de Obra.

## COMENTARIOS

En la UNE 83460-2:2005 se dan recomendaciones para la utilización del humo de sílice como adición en la fabricación del hormigón.

## Artículo 31º Hormigones

### 31.1 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, reológicas 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, etc.).

Los componentes del hormigón deberán cumplir las prescripciones incluidas en los Artículos 26º, 27º, 28º, 29º y 30º. Además, el ión cloruro total aportado por los componentes no excederá de los siguientes límites (véase 37.4):

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| - Obras de hormigón pretensado   | 0,2% del peso del cemento |
| - Obras de hormigón armado u obras de hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración | 0,4% del peso del cemento |

La cantidad total de finos en el hormigón, resultante de sumar el contenido de partículas del árido grueso y del árido fino que pasan por el tamiz UNE 0,063, la componente caliza, en su caso, del cemento, y los finos procedentes del eventual empleo de agua reciclada (véase Artículo 27º) deberá ser menor o igual que 175 kg/m<sup>3</sup>.

## COMENTARIOS

Los límites establecidos al contenido de ión cloruro, aunque son válidos para la mayoría de las condiciones ambientales que puedan presentarse, deben ser manejados con prudencia. Téngase presente que si bien en ciertas condiciones, tales como humedades relativas permanentemente muy bajas o muy altas, pueden resultar conservadores, en otras, como humedades relativas intermedias y, sobre todo, regímenes higrométricos no estacionarios y con un hormigón carbonatado, puede ser conveniente proceder a la reducción de esos mismos límites.

A igualdad de comportamiento resistente y frente a durabilidad deben procurarse las dosificaciones y utilización de materias primas que tenga la menor incidencia medioambiental.

## 31.2 Condiciones de calidad

Las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón se especificarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, siendo siempre necesario indicar las referentes a su resistencia a compresión, su consistencia, tamaño máximo del árido, el tipo de ambiente a que va a estar expuesto, y, cuando sea preciso, las referentes a prescripciones relativas a aditivos y adiciones, resistencia a tracción del hormigón, absorción, peso específico, compacidad, desgaste, permeabilidad, aspecto externo, etc.

Tales condiciones deberán ser satisfechas por todas las unidades de producto componentes del total, entendiéndose por unidad de producto la cantidad de hormigón fabricada de una sola vez. Normalmente se asociará el concepto de unidad de producto a la amasada, si bien, en algún caso y a efectos de control, se podrá tomar en su lugar la cantidad de hormigón fabricado en un intervalo de tiempo determinado y en las mismas condiciones esenciales. En esta Instrucción se emplea la palabra "amasada" como equivalente a unidad de producto.

A los efectos de esta Instrucción, cualquier característica de calidad medible de una amasada, vendrá expresada por el valor medio de un número de determinaciones (igual o superior a dos) de la característica de calidad en cuestión, realizadas sobre partes o porciones de la amasada.

### COMENTARIOS

Conviene tener presente que la resistencia a compresión no es, por sí sola, un índice suficiente de las demás cualidades propias del hormigón. Por ello no basta con exigir un cierto valor de esta resistencia para tener garantizada la existencia, en grado suficiente, de otras características que puedan interesar en el caso particular de que se trate.

Existen casos en los que convendrá exigir específicamente un mínimo relativo a una determinada cualidad del hormigón: resistencia al desgaste en un pavimento, resistencia al hielo-deshielo en una obra de alta montaña, impermeabilidad en un depósito de agua, etc. Sin embargo, no es posible dar en una Instrucción indicaciones específicas a este respecto. Por eso, en el Artulado se remite al Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de cada obra, el cual deberá precisar, en cada caso, de acuerdo con lo prescrito en el Anejo nº 3, el método de ensayo normalizado que debe emplearse para la comprobación de la cualidad correspondiente, así como las cifras límite admisibles en los resultados.

Todas las cualidades exigidas al hormigón deben quedar claramente especificadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, mediante los oportunos límites de aceptación, los cuales, según los casos, serán límites inferiores, límites superiores, o intervalos. Cualquier amasada que no cumpla alguna especificación se dirá que presenta un defecto.

Para que el cuadro de especificaciones contenidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares sea completo, es preciso asociar a cada condición o cualidad exigida un porcentaje de unidades de producto o amasadas defectuosas que se está dispuesto a admitir, como máximo, en el total considerado. La fijación de tal porcentaje debe establecerse tras un meditado estudio de la cuestión, ponderando todas las circunstancias de la obra, especialmente su repercusión en el costo, en la fiabilidad y en su seguridad.

En esta Instrucción se ha adoptado para la resistencia a compresión un valor característico inferior de modo que el porcentaje de amasadas defectuosas, con menor resistencia que la especificada, es del 5%. En el nivel actual de la tecnología del hormigón, fracciones defectuosas del 5% para la mayoría de las características de calidad y casos son perfectamente aceptables.

### 31.3 Características mecánicas

Las características mecánicas de los hormigones empleados en las estructuras, deberán cumplir las condiciones impuestas en el Artículo 39º.

A los efectos de esta Instrucción, la resistencia del hormigón a compresión se refiere a los resultados obtenidos en ensayos de rotura a compresión a 28 días, realizados sobre probetas cilíndricas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, fabricadas, conservadas y ensayadas conforme a lo establecido en esta Instrucción. En el caso de que el control de calidad se efectúe mediante probetas cúbicas, se seguirá el procedimiento establecido en 83.3.2.

Las fórmulas contenidas en esta Instrucción corresponden a experimentación realizada con probeta cilíndrica, y del mismo modo, los requisitos y prescripciones que figuran en la Instrucción se refieren, salvo que expresamente se indique otra cosa, a probeta cilíndrica.

En algunas obras en las 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 90 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 o a flexotracción del hormigón, mediante ensayos normalizados.

En esta Instrucción, se denominan hormigones de alta resistencia a los hormigones con resistencia característica de proyecto  $f_{ck}$  superior a 50 N/mm<sup>2</sup>.

A efectos de la presente Instrucción, se consideran hormigones de endurecimiento rápido los fabricados con cemento de clase resistente 42,5R, 52,5 ó 52,5R siempre que su relación agua/cemento sea menor o igual que 0,60, los fabricados con cemento de clase resistente 32,5R ó 42,5 siempre que su relación agua/cemento sea menor o igual que 0,50 o bien aquellos en los que se utilice acelerante de fraguado. El resto de los casos se consideran hormigones de endurecimiento normal.

#### COMENTARIOS

La definición dada para la resistencia del 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, aún distinto de aquél, es lo suficientemente representativo para el fin práctico de esta Instrucción.

En lo anterior se presupone la homogeneidad 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.

Al efecto de asegurar la citada homogeneidad, el recorrido relativo de un grupo de tres probetas (diferencia entre el mayor resultado y el menor, dividida por el valor medio de las tres), tomadas de la misma amasada, no podrá exceder el 20%. En el caso de dos probetas, el recorrido relativo no podrá exceder el 13%.

En la UNE-EN 12390-6:2001 se especifican los medios y procedimientos a emplear para determinar la resistencia a rotura por tracción indirecta  $f_{ci}$  (ensayo brasileño) de probetas cilíndricas de hormigón. La determinación de la resistencia a flexotracción  $f_{ct,fl}$  está normalizada en la UNE-EN 12390-5:2001.

La resistencia a tracción  $f_{ct}$ , se puede obtener a partir de  $f_{ci}$  mediante la siguiente expresión:

$$f_{ct} = 0,90 f_{ci}$$

La resistencia a flexotracción puede obtenerse a partir de la resistencia a tracción según lo dispuesto a continuación:

$$f_{ct,\beta} = f_{ct} \frac{1 + 1,5 \left( \frac{h}{100} \right)^{0,7}}{1,5 \left( \frac{h}{100} \right)^{0,7}}$$

donde:

h Canto del elemento en mm.

Si no se dispone más que de resultados de ensayos a 28 días de edad, se podrá, a falta de datos experimentales correspondientes al hormigón de que se trate, admitir como valores de la resistencia a *j* días de edad los dados a título indicativo por las siguientes fórmulas:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

$$f_{ct,m}(t) = \beta_{cc}(t)^\alpha f_{ct,m}$$

con

$$\beta_{cc} = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}$$

donde:

$f_{cm}$  Resistencia media a compresión a 28 días que puede calcularse como  $f_{c,m} = f_{ck} + 8$  si las condiciones de ejecución son buenas

$f_{ct,m}$  Resistencia media a tracción a los 28 días según 39.1

$\beta_{cc}$  Coeficiente que depende de la edad del hormigón

$t$  Edad del hormigón en días

$s$  Coeficiente que depende del tipo de cemento:

= 0,2 para cementos de alta resistencia y endurecimiento rápido (CEM 42,5R, CEM52,5R)

= 0.25 para para cementos normales y de endurecimiento rápido (CEM 32,5R, CEM 42,5)

= 0,38 para cementos de endurecimiento lento (CEM 32,25)

$\alpha$  Coeficiente que depende de la edad del hormigón y de su resistencia característica a los 28 días:

=1 si  $t < 28$  días

=2/3 si  $t \geq 28$  días y  $f_{ck} \leq 50$  MPa a los 28 días

=1/2 si  $t \geq 28$  días y  $f_{ck} > 50$  MPa a los 28 días

### 31.4 Valor mínimo de la resistencia

En los hormigones estructurales, la resistencia de proyecto  $f_{ck}$  (véase 39.1) no será inferior a 20 N/mm<sup>2</sup> en hormigones en masa, ni a 25 N/mm<sup>2</sup> en hormigones armados o pretensados.

Cuando el proyecto establezca, de acuerdo con 83.5.7, un control indirecto de la resistencia en estructuras de hormigón en masa o armado para obras de ingeniería de pequeña importancia, en edificios de viviendas de una o dos plantas con luces inferiores a 6,0 metros, o en elementos que trabajen a flexión de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas también con luces inferiores a 6,0 metros, deberá adoptarse un valor de la resistencia de cálculo a compresión  $f_{cd}$  no superior a 10 N/mm<sup>2</sup> (véase 39.4). En estos casos de nivel de control indirecto de la resistencia del hormigón, la cantidad mínima de cemento en la dosificación del hormigón también deberá cumplir los requisitos de la tabla 37.3.2.a.

Los hormigones no estructurales (hormigones de limpieza, hormigones de relleno, bordillos y aceras), no tienen que cumplir este valor mínimo de resistencia ni deben identificarse con el formato de tipificación del hormigón estructural (definido en 39.2) ni les es de aplicación el articulado de esta Instrucción (los hormigones no estructurales se regirán por el Anejo nº 22 de esta Instrucción).

## COMENTARIOS

La especificación, en proyecto, de hormigones de resistencia inferior a 20 N/mm<sup>2</sup>, no contemplados en esta Instrucción, estará limitada exclusivamente a unidades de obra no estructurales. Los hormigones de nivelación o limpieza de excavaciones no se consideran de naturaleza estructural y, por lo tanto, no están afectados por el valor de resistencia mínima establecido en el articulado. Se excluye explícitamente los hormigones para armar con resistencia de proyecto inferior a 25 N/mm<sup>2</sup>. En el caso particular de que el proyecto establezca un nivel de control reducido para el hormigón (nivel de control que en el contexto de esta Instrucción debe considerarse claramente residual), la resistencia de proyecto del hormigón deberá cumplir la anterior prescripción, si bien la resistencia de cálculo  $f_{cd}$  no deberá rebasar los 10 N/mm<sup>2</sup>.

### 31.5 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 coqueras. 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 83313:1990.

La consistencia del hormigón se mide por su asiento en el cono de Abrams, de acuerdo con UNE-EN 12350-2:2006, expresado en un número entero de centímetros.

En el caso de hormigones para edificación, se recomienda en general que el asiento en el cono de Abrams no sea inferior a 6 centímetros.

Las distintas consistencias y los valores límite de los asientos correspondientes en cono de Abrams, serán los siguientes:

Tipo de consistencia	Asiento en cm
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 5
Blanda	6 - 9
Fluida	10 - 15

El límite superior de asiento establecido para la consistencia fluida (15 cm) podrá sobrepasarse si en la fabricación del hormigón se emplean aditivos superfluidificantes.

La consistencia del hormigón utilizado será la especificada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, definiéndola por su tipo, o por el valor numérico  $A$  en cm de su asiento, con las tolerancias que se indican en la tabla 31.5.

Tabla 31.5 Tolerancias para la consistencia del hormigón

Consistencia definida por su tipo		
Tipo de consistencia	Tolerancia en cm	Intervalo resultante
Seca	0	0 - 2
Plástica	±1	2 - 6
Blanda	±1	5 - 10
Fluida	±2	8 - 17
Consistencia definida por su asiento		
Asiento en cm	Tolerancia en cm	Intervalo resultante

Entre 0 - 2	±1	A±1
Entre 3 - 7	±2	A±2
Entre 8 - 12	±3	A±3

En el caso de hormigones autocompactantes, se estará a lo dispuesto en el Anejo nº 21 de esta Instrucción.

## COMENTARIOS

Respecto a la determinación de la consistencia, el procedimiento que se prescribe es simple y de muy fácil realización. Sin embargo, en el caso de hormigones de consistencia seca, el ensayo de cono de Abrams es menos adecuado, pudiendo emplearse en su lugar el ensayo Vebe (UNE 83314:1990).

El Articulado recomienda, en obras de edificación, un asiento no inferior a 6 cm. Sin embargo, en el caso de hormigones vistos pueden ser convenientes hormigones con consistencia plástica, que deben ser adecuadamente puestos en obra y compactados.

En el caso de hormigones fabricados con empleo de aditivos superfluidificantes, el valor de la relación agua/cemento es prioritario respecto al de consistencia, debiendo cumplir los requisitos de durabilidad de la Instrucción (punto 37.3.2). Por ello el Articulado indica que en estos casos deja de ser válido el límite superior de asiento establecido para la consistencia fluida.

El empleo de áridos procedentes de residuos de construcción y demolición puede afectar a la docilidad del hormigón, lo que precisa de estudios previos para analizar su influencia.

## Artículo 32º Aceros para armaduras pasivas

### 32.1 Generalidades

A los efectos de esta Instrucción, los productos de acero que pueden emplearse para la elaboración de armaduras pasivas pueden ser:

- Barras rectas o rollos de acero soldable .
- Alambres de acero corrugado o grafilado soldable.
- Alambres lisos de acero soldable.

Los alambres lisos sólo pueden emplearse como elementos de conexión de armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

Los productos de acero para armaduras pasivas no presentarán defectos superficiales ni grietas.

Las secciones nominales y las masas nominales por metro serán las establecidas en la tabla 6 de la UNE EN 10080:2006. La sección equivalente no será inferior al 95,5 por 100 de la sección nominal.

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

Se entiende por sección equivalente de un producto de acero, expresada en centímetros cuadrados, el cociente de su peso en Newtons por 0,077 (7,85 si el peso se expresa en gramos) 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 debe realizarse después de limpiar cuidadosamente el producto de acero para eliminar las posibles escamas de laminación y el óxido no adherido firmemente.

A los efectos de esta Instrucción, se considerará como límite elástico del acero para armaduras pasivas,  $f_y$ , el valor de la tensión que produce una deformación remanente del 0,2 por 100.

## COMENTARIOS

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

### 32.2 Barras y rollos de acero soldable

A los efectos de esta Instrucción, sólo podrán emplearse barras o rollos de acero soldable que sean conformes con UNE EN 10080:2006.

Las barras y rollos de acero corrugado que satisfagan las condiciones de UNE 36065:2007 ó 36068:2007, según el caso, cumplen lo establecido en esta Instrucción.

Los posibles diámetros nominales de las barras corrugadas serán los definidos en la serie siguiente, de acuerdo con la tabla 6 de la UNE EN 10080:2006:

6 – 8 – 10 - 12 - 14 - 16 - 20 – 25 - 32 y 40 mm.

Salvo en el caso de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía, se procurará evitar el empleo del diámetro de 6mm cuando se aplique cualquier proceso de soldadura, resistente o no resistente, en la elaboración o montaje de la armadura pasiva.

A los efectos de esta Instrucción, en la tabla 32.2.a se definen los tipos de acero corrugado:

Tabla 32.2.a Tipos de acero

Tipo de acero	Soldable		Soldable con características especiales de ductilidad	
	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Designación	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) (1)	≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> ) (1)	≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, A5 (%)	≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{m\acute{a}x}$ (%)	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 9,0	≥ 9,0
Relación $f_s/f_y$ (2)	≥ 1,05	≥ 1,05	≥ 1,20 ≤ 1,35	≥ 1,15 ≤ 1,35
Relación $f_{y \text{ real}}/f_{y \text{ nominal}}$	--	--	≤ 1,20	≤ 1,25

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

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

Las características mecánicas mínimas garantizadas por el suministrador serán conformes con las prescripciones de la tabla 32.2.a. Además, las barras deberán tener aptitud al doblado-desdoblado, manifestada por la ausencia de grietas apreciables a simple vista al efectuar el ensayo según UNE-EN ISO 15630-1:2003, empleando los mandriles de la Tabla 32.2.b.

Tabla 32.2.b Diámetro de los mandriles

Doblado-desdoblado $\alpha = 90^\circ$ $\beta = 20^\circ$		
$D \leq 16$	$16 < d \leq 25$	$d > 25$
5 d	8 d	10 d

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

$\alpha$  Ángulo de doblado.

$\beta$  Ángulo de desdoblado.

Alternativamente al ensayo de aptitud al doblado-desdoblado, se podrá realizar el ensayo de doblado simple, según UNE-EN ISO 15630-1: 2003, para lo que deberán emplearse los mandriles especificados en la tabla 32.2.c.

Tabla 32.2.c Diámetro de los mandriles

Doblado simple $\alpha = 180^\circ$	
$d \leq 16$	$d > 16$
3 d	6 d

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

$\alpha$  Ángulo de doblado.

Los aceros soldables con características especiales de ductilidad (B400SD y B500SD) deberán cumplir los requisitos de la tabla 32.2.d en relación con el ensayo de fatiga según UNE-EN ISO 15630-1: 2003, así como los de la tabla 32.2.e, relativos al ensayo de deformación alternativa, según UNE-EN ISO 36065:2007.

Tabla 32.2.d Especificación del ensayo de fatiga

Característica	B400SD	B500SD
Número de ciclos que debe soportar la probeta sin romperse.	≥ 2 millones	
Tensión máxima, $\sigma_{m\acute{a}x} = 0,6 f_y$ nominal (N/mm <sup>2</sup> )	240	300
Amplitud, $2\sigma_a = \sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}$ (N/mm <sup>2</sup> )	150	
Frecuencia, $f$ (Hz)	$1 \leq f \leq 200$	
Longitud libre entre mordazas, (mm)	≥ 14 d ≥ 140 mm	

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

Tabla 32.2.e: Especificación del ensayo de deformación alternativa

Diámetro nominal (mm)	Longitud libre entre mordazas	Deformaciones máximas de tracción y compresión (%)	Número de ciclos completos simétricos de histéresis	Frecuencia $f$ (Hz)
$d \leq 16$	5 d	± 4	3	$1 \leq f \leq 3$
$16 < d \leq 25$	10 d	± 2,5		
$d \geq 25$	15 d	± 1,5		

donde:

d diámetro nominal de barra, en mm.

Las características de adherencia del acero podrán comprobarse mediante el método general del anejo C de la UNE EN 10080:2006 o, alternativamente, mediante la geometría de corrugas conforme a lo establecido en el método general definido en el apartado 7.4 de la UNE EN 10080:2006. En el caso de que la comprobación se efectúe mediante el ensayo de la viga, deberán cumplirse simultáneamente las siguientes condiciones:

- Diámetros inferiores a 8 mm:

$$\tau_{bm} \geq 6,88$$

$$\tau_{bu} \geq 11,22$$

- Diámetros de 8 mm a 32 mm, ambos inclusive:

$$\tau_{bm} \geq 7,84 - 0,12\phi$$

$$\tau_{bu} \geq 12,74 - 0,19\phi$$

- Diámetros superiores a 32 mm:

$$\tau_{bm} \geq 4,00$$

$$\tau_{bu} \geq 6,66$$

donde  $\tau_{bm}$  y  $\tau_{bu}$  se expresan en N/mm<sup>2</sup> y  $\phi$  en mm.

En el caso de comprobarse las características de adherencia mediante el ensayo de la viga, los aceros serán objeto de certificación específica elaborada por un laboratorio oficial o acreditado conforme a la UNE-EN ISO 17025: 2005 para el referido ensayo. En el certificado se consignarán obligatoriamente, además de la marca comercial, los límites admisibles de variación de las características geométricas de los resaltos para el caso de suministro en forma de barra recta, con indicación expresa de que en el caso de suministros en rollo la altura de corruga deberá ser superior a la indicada en el certificado más 0,1mm en el caso de diámetros superiores a 20mm ó más 0,05mm en el resto de los casos. Además, se incluirá la información restante a la que se refiere el anejo C de la UNE EN 10080:2006.

Por su parte, en el caso de comprobarse la adherencia por el método general, el área proyectada de las corrugas ( $f_R$ ) o, en su caso, de las grafilas ( $f_P$ ) deberá cumplir las condiciones de la tabla 32.2.2.f,

Tabla 32.2.2.f Área proyectada de corrugas o de grafilas

d ( mm)	≤ 6	8	10	12 - 16	20-40
$f_R$ o $f_P$ (m m), en el caso de barras	0,039	0,045	0,052	0,056	0,056
$f_R$ o $f_P$ (m m), en el caso de rollos	0,045	0,051	0,058	0,062	0,064

En las tablas anteriores,  $f_R$  y  $f_P$  se definen mediante las siguientes expresiones:

$$f_R = \frac{1}{\pi d} \sum_{i=1}^n \frac{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F_{R,i,j} \text{sen} \beta_{i,j}}{c_i} + \frac{1}{P} \sum_{k=1}^q a'k$$

$$f_P = \frac{1}{\pi d} \sum_{i=1}^n \frac{F_{P,i} \text{sen} \beta_i}{c_i}$$

en las que:

$n$  Número de filas de corrugas transversales (o, en su caso, de grafilas) en la circunferencia.

- $m$  Número de inclinaciones diferentes de corrugas transversales por fila  
 $f_R$  Área de la sección longitudinal de una corruga ( $f_P$ , en el caso de las grafilas) en su plano  
 $\beta$  Ángulo de inclinación de la corruga (o de la grafila) transversal, respecto del eje de la barra (o del alambre)  
 $c$  Separación de corrugas (o grafilas) transversales  
 $d$  Diámetro nominal de la barra (o del alambre)

La composición química, en porcentaje en masa, del acero deberá cumplir los límites establecidos en la tabla 32.2.2.h, por razones de soldabilidad y durabilidad.

Tabla 32.2.2.h Composición química (porcentajes máximos, en masa)

Análisis	C <sup>(1)</sup>	S	P	N <sup>(2)</sup>	Cu	C <sub>eq</sub> (*)
Sobre colada	0,22	0,050	0,050	0,012	0,80	0,50
Sobre producto	0,24	0,055	0,055	0,014	0,85	0,52

(1) Se admite elevar el valor límite de C en 0,03%, si C<sub>eq</sub> se reduce en 0,02%.

(2) Se admiten porcentajes mayores de N si existe una cantidad suficiente de elementos fijadores de N.

En la anterior tabla, el valor de carbono equivalente, C<sub>eq</sub>, se calculará mediante:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{6} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

donde los símbolos de los elementos químicos indican su contenido, en tanto por ciento en masa.

## COMENTARIOS

Cuando este artículo hace referencia al acero suministrado en forma de barra recta, incluye también el acero enderezado por el propio fabricante siderúrgico y suministrado como barra enderezada para su posterior transformación en la ferralla.

Los diámetros que componen la serie preferente establecida en el Articulado tienen la ventaja de que pueden diferenciarse unos de otros a simple vista. Además (con la excepción del diámetro 14 mm), la sección de cada uno de esos redondos equivale aproximadamente a la suma de las secciones de los dos redondos inmediatamente precedentes, lo que facilita las distintas combinaciones de empleo. Por otra parte, la utilización de esta misma serie está recomendada actualmente en toda Europa.

En el caso de estructuras en zonas sísmicas, se recomienda el empleo de barras corrugadas de acero soldable con características especiales de ductilidad B 400 SD o B 500 SD.

Se recomienda que el fabricante garantice un diagrama tensión-deformación del acero, hasta la deformación 10 por 1.000, basado en una amplia experimentación.

Los diámetros de los mandriles del ensayo de doblado-desdoblado de la tabla 31.2.b, se considerarán como máximos, pudiendo utilizarse por potestad propia del fabricante, del constructor o del fabricante de armaduras elaboradas, mandriles inferiores a los especificados en cada caso, siempre y cuando los resultados del ensayo sean satisfactorios. En caso de resultado negativo, habría que repetir y referir el ensayo al mandril indicado en la tabla.

La Norma UNE-EN ISO 15630-1: 2003 indica varias fórmulas simplificadas para la obtención de  $f_R$  o  $f_P$ , mediante aproximaciones trapecial, parabólica, de la regla de Simpson o empírica, debiendo reflejarse en todo caso la fórmula empleada en el informe de ensayo.

A los efectos de interpretar la nota (2) de la tabla 32.2.h, puede admitirse un contenido de nitrógeno no superior a 0,014%, cuando por cada 0,001% de nitrógeno que se incremente respecto a la especificación de la citada tabla, se reduzca en 0,005% la especificación de la misma en relación con el contenido máximo de fósforo admitido.

### 32.3 Alambres corrugados y alambres lisos

Se entiende por alambres corrugados o grafilados aquéllos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía, de acuerdo con lo establecido en UNE EN 10080:2006.

Se entiende por alambres lisos aquéllos que cumplen los requisitos establecidos para la fabricación de elementos de conexión en armaduras básicas electrosoldadas en celosía, de acuerdo con lo establecido en UNE EN 10080:2006.

Los alambres utilizados, en su caso, para la fabricación de mallas electrosoldadas o de armaduras básicas electrosoldadas en celosía que sean conformes con las normas UNE 36731:2007 ó UNE 36.099:2007 cumplen lo establecido en esta Instrucción.

Los diámetros nominales de los alambres serán los definidos en la tabla 6 de la UNE EN 10080:2006 y, por lo tanto, se ajustarán a la serie siguiente:

4 – 4,5 – 5 – 5,5 – 6 – 6,5 – 7 – 7,5 – 8 – 8,5 – 9 – 9,5 – 10 – 11 – 12 – 14 y 16 mm.

Los diámetros 4 y 4,5 mm sólo pueden utilizarse en los casos indicados en 66.4.1 y 66.4.2.

A los efectos de esta Instrucción, se define el siguiente tipo de acero para alambres, tanto corrugados como lisos:

Tabla32.3 Tipo de acero para alambres

Designación	Ensayo de tracción (1)				Ensayo de doblado-desdoblado, según UNE-EN ISO 15630-1: 2003  $\alpha = 90^\circ$ (5) $\beta = 20^\circ$ (6)  Diámetro de mandril D'
	Límite elástico $f_y$ , ( N/mm <sup>2</sup> )  (2)	Carga unitaria de rotura $f_s$ , (N/mm <sup>2</sup> )  (2)	Alargamiento de rotura sobre base de 5 diámetros  A ( % )	Relación  $f_s/f_y$	
B 500 T	500	550	8 (3)	1,03 (4)	5 d , si $d \leq 16$ 8 d , si $d = 16$  (7)

(1) Valores característicos inferiores garantizados.

(2) Para la determinación del límite elástico y la carga unitaria se utilizará como divisor de las cargas el valor nominal del área de la sección transversal.

(3) Además, deberá cumplirse:

$$A\% \geq 20 - 0,02 f_{yi}$$

donde:

A Alargamiento de rotura.  
 $f_{yi}$  Límite elástico medido en cada ensayo.

(4) Además, deberá cumplirse:

$$\frac{f_{si}}{f_{yi}} \geq 1,05 - 0,1 \left( \frac{f_{yi}}{f_{yk}} - 1 \right)$$

donde:

$f_{yi}$  Límite elástico medido en cada ensayo.  
 $f_{si}$  Carga unitaria obtenida en cada ensayo.  
 $f_{yk}$  Límite elástico garantizado.

- (5)  $\alpha$  Ángulo de doblado.  
(6)  $\beta$  Ángulo de desdoblado.  
(7) d Diámetro nominal del alambre.

Alternativamente al ensayo de aptitud al doblado-desdoblado, se podrá emplear el ensayo de doblado simple, según UNE-EN ISO 15630-1: 2003, para lo que deberá emplearse el mandril de diámetro 3d, siendo d el diámetro del alambre, en mm.

Además, todos los alambres deberán cumplir las mismas características de composición química que las definidas en el apartado 32.2 para las barras rectas o rollos de acero corrugado soldable. Los alambres corrugados o grafilados deberán cumplir también las características de adherencia establecidas en el citado apartado.

### **Artículo 33º Armaduras pasivas**

A los efectos de esta Instrucción, se entiende por armadura pasiva el resultado de montar en el correspondiente molde o encofrado las armaduras normalizadas o la ferralla armada, según el caso, convenientemente solapadas y con los recubrimientos adecuados.

Las características mecánicas, químicas y de adherencia de las armaduras pasivas serán las de las armaduras normalizadas o, en su caso, las de la ferralla armada que las componen.

Los diámetros nominales y geometrías de las armaduras serán las definidas en el correspondiente proyecto.

#### **33.1. Armaduras normalizadas**

Se entiende por armaduras normalizadas las mallas electrosoldadas o las armaduras básicas electrosoldadas en celosía, conformes con la UNE-EN 10.080:2006 y que cumplen las especificaciones de 33.2.1 y 33.2.2, respectivamente.

##### **33.1.1 Mallas electrosoldadas**

En el ámbito de esta Instrucción, se entiende por malla electrosoldada la armadura formada por la disposición de barras corrugados o alambres grafilados, longitudinales y transversales, de diámetro nominal igual o diferente, que se cruzan entre sí perpendicularmente y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica por un proceso de producción en serie en una instalación industrial ajena a la obra, que sea conforme con lo

establecido en UNE-EN 10080:2006.

Las mallas electrosoldadas serán fabricadas a partir de barras corrugadas o alambres grafilados, que no se mezclarán entre sí y deberán cumplir las exigencias establecidas para los mismos en el artículo 32º de esta Instrucción.

La designación de las mallas electrosoldadas será conforme con lo indicado en el apartado 5.2 de la UNE EN 10080:2006

A los efectos de esta Instrucción, se definen los tipos de mallas electrosoldadas incluidos en la tabla 33.2.1, en función del acero con el que están fabricadas.

Tabla 33.2.1 Tipos de mallas electrosoldadas

Tipos de mallas electrosoldadas	ME 500 SD	ME 400SD	ME 500S	ME 400 S	ME 500 T	ME 400 T
Tipo de acero	B500SD, según 32.2	B400SD, según 32.2	B500S, según 32.2	B400S, según 32.2	B500T, según 32.3	B400T, según 32.3

En función del tipo de malla electrosoldada, sus elementos deberán cumplir las especificaciones que les sean de aplicación, de acuerdo con lo especificado en UNE-EN 10.080:2006 y en los apartados del artículo 32º. Además, las mallas electrosoldadas deberán cumplir que la carga de despegue ( $F_s$ ) de las uniones soldadas, ensayadas según UNE-EN ISO 15630-2:2003, sea superior a

$$F_{s_{\min}} = 0,25 \cdot f_y \cdot A_n$$

donde  $f_y$  es el valor del límite elástico especificado y  $A_n$  es la sección transversal nominal del mayor de los elementos de la unión o de uno de los elementos pareados, según se trate de mallas electrosoldadas simples o dobles, respectivamente.

Las mallas electrosoldadas conformes con UNE 36060:2007 ó con UNE 36092:2007, según el caso, cumplen lo establecido en esta Instrucción.

## COMENTARIOS

Las mallas electrosoldadas pueden ser fabricadas en serie o según un pedido específico. En el primero de los casos, una vez fabricadas, son almacenadas hasta su venta y suministro a la obra. Las dimensiones de las mallas habitualmente empleadas en España son de 6,00 x 2,20 m ó de 3,00 x 2,20 m.

La designación conforme con UNE-EN 10080:2006 de las mallas electrosoldadas según UNE 36060:2007 ó UNE 36.092:2007 se realiza de la siguiente forma:

- a) forma del producto (malla electrosoldada o su forma abreviada ME)
- b) dimensiones nominales del producto:
  - b.1) separaciones, expresadas en milímetros y separadas por el signo x, de los elementos longitudinales y transversales,
  - b.2) distintivo S, en el caso de que posea zona de solapo
  - b.3) diámetros de las armaduras longitudinal y transversal, expresados en milímetros, precedidos por el símbolo  $\varnothing$  y separados por un guión. En las mallas dobles, el correspondiente diámetro irá seguido de la letra D,
  - b.4) las longitudes de los elementos longitudinales y transversales, respectivamente, expresadas en metros y unidas por el signo x,
  - b.5) sobrecargos, expresados en milímetros, en el caso de mallas especiales
- c) designación del tipo de acero
- d) referencia a la norma (UNE 36060:2007 ó UNE 36092:2007, según el caso)
- e) referencia a la norma europea EN 10080

f) clase técnica incluida en el mercado CE, conforme a la Directiva 89/106/CE  
 Así, por ejemplo, una malla electrosoldada de acero con características especiales de ductilidad, formada por barras corrugadas B500SD, separación entre los ejes de las barras, tanto longitudinales como transversales, igual a 30 cm; diámetros nominales de las barras longitudinales y transversales de 8 mm; longitud el panel 6 m; anchura 2,20m, con zona de solapo estándar, se designará como

ME 300x300 S 8-8 600x2200 B500SD UNE 36.060:2007 EN 10.080 – clase técnica

### 33.1.2. Armaduras básicas electrosoldadas en celosía

En el ámbito de esta Instrucción, se entiende por armadura básica electrosoldada en celosía a la estructura espacial formada por un cordón superior y uno o varios cordones inferiores, todos ellos de acero corrugado, y una serie de elementos transversales, lisos o corrugados, continuos o discontinuos y unidos a los cordones longitudinales mediante soldadura eléctrica. El proceso de producción será en serie y en una instalación industrial ajena a la obra, que sean conforme con lo establecido en UNE-EN 10080:2006.

Los cordones longitudinales serán fabricados a partir de barras corrugadas conformes con 32.2 o alambres grafilados, de acuerdo con 32.3, mientras que los elementos transversales de conexión se elaborarán a partir de alambres lisos o grafilados, conformes con 32.3

La designación de las armaduras básicas electrosoldadas en celosía será conforme con lo indicado en el apartado 5.3 de la UNE EN 10080:2006

A los efectos de esta Instrucción, se definen los tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía incluidas en la tabla 33.2.2

Tabla 33.2.2 Tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía

Tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía	AB 500 SD	AB 400SD	AB 500S	AB 400 S	AB 500 T	AB 400 T
Tipo de acero de los cordones longitudinales	B500SD, según 32.2	B400SD, según 32.2	B500S, según 32.2	B400S, según 32.2	B500T, según 32.3	B400T, según 32.3

Además, se cumplirá que la carga de despegue ( $F_w$ ) de las uniones soldadas, ensayadas según UNE-EN ISO 15630-2:2002, sea superior a

$$F_{w_{\min}} = 0,25 \cdot f_{yL} \cdot A_{nL}$$

$$F_{w_{\min}} = 0,60 \cdot f_{yD} \cdot A_{nD}$$

donde:

$f_{yL}$  Valor del límite elástico especificado para los cordones longitudinales

$A_{nL}$  Sección transversal nominal del cordón longitudinal

$f_{yD}$  Valor del límite elástico especificado para las diagonales

$A_{nD}$  Sección transversal nominal de las mismas

Las armaduras básicas electrosoldadas en celosía conformes con UNE 36739:2007 cumplen lo establecido en esta Instrucción.

### COMENTARIOS

La designación conforme a UNE-EN 10080:2006 de las armaduras básicas electrosoldadas en celosía según UNE 36739:2007 se realiza de la siguiente forma:

- a) forma del producto (armadura básica o su forma abreviada AB);
- b) referencia a la norma europea EN 10.080
- c) dimensiones nominales del producto:
  - c.1) altura y anchura de la armadura, expresadas en milímetros y separadas por el signo x,
  - c.2) paso de la celosía, precedido del signo /
  - c.3) diámetros del cordón longitudinal, de la diagonal y de los cordones inferiores, separados por el signo x
  - c.4) longitud de la armadura básica
- d) designaciones de los tipos de acero del cordón superior, de las diagonales y de los cordones inferiores, respectivamente y separados por guiones
- e) referencia a la norma UNE 36739:2007
- f) clase técnica, incluida en el marcado CE, según la Directiva 89/106/CE

Así, por ejemplo, una armadura básica electrosoldada en celosía de 12 m de longitud, 90 mm de anchura y 170 mm de altura, constituida por alambres corrugados B500T, con cordones superior e inferiores de 6 mm de diámetro y una diagonal 5 mm de diámetro y 200 mm de paso, se designará como

AB EN 10080 170x90/200 6x5x6 12000 B500T-B500T-B500T UNE 36739:2007 – clase técnica

### 33.2. Armaduras según proyecto

Se entiende por armaduras según proyecto, aquéllas disposiciones de elementos de acero, elaboradas en instalaciones de ferralla de acuerdo con las disposiciones específicas del proyecto y a partir de acero corrugado conforme con 32.2 a o, en su caso, a partir de mallas electrosoldadas conformes con 33.2.1.

En el ámbito de esta Instrucción, se define como:

- armadura elaborada, cada una de las formas que resultan de aplicar los procesos de enderezado, en su caso, así como los de corte y de doblado al acero corrugado.
- ferralla armada, el resultado de aplicar a las armaduras elaboradas los correspondientes procesos de armado, bien mediante atado por alambre o mediante soldadura no resistente.

A los efectos de esta Instrucción, se definen los tipos de armaduras de acuerdo con las especificaciones incluidas en la tabla 33.3.

Tabla 33.3 Tipos de armaduras según proyecto

Tipo de armadura	Soldable		Soldable con características especiales de ductilidad		
	Designación	AP400 S	AP500 S	AP400 SD	AP500 SD
Tipo de acero	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD	

Las especificaciones relativas a los procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras se recogen en el artículo 68º de esta Instrucción.

## COMENTARIOS

Esta Instrucción entiende como "ferralla", al conjunto de los procesos de transformación de las materias primas (barras o alambres, según el caso) para la elaboración de las armaduras pasivas y que, por lo tanto, incluyen las operaciones de corte, doblado, soldadura, enderezado, etc. En la práctica habitual de las obras, es también frecuente el empleo de este mismo término para designar a la propia armadura elaborada cuando esta se fabrica de acuerdo con un proyecto específico, ya sea en obra o en instalación ajena a la misma.

Asimismo, se entiende por "armado" la operación de montaje de la armadura pasiva proporcionándole su disposición geométrica definitiva, en su caso, a partir de las armaduras elaboradas.

Se entiende por "montaje" la operación de colocación de la armadura pasiva en el encofrado, para lo que deberá prestarse especial atención a la disposición de separadores y cumplimiento de las exigencias de recubrimientos del proyecto, así como lo establecido al efecto en esta Instrucción.

Algunos de los procesos de ferralla como el enderezado, o en algunos casos la soldadura, provocan una modificación de las características mecánicas del acero como, por ejemplo, sobre la deformación bajo carga máxima, lo que justifica que, de acuerdo con el artículo 38º, en el proyecto se adopten unas hipótesis de comportamiento característico de las armaduras que son más conservadoras que las exigidas nominalmente para el acero.

## Artículo 34º Aceros para armaduras activas

### 34.1 Generalidades

A los efectos de esta Instrucción, se definen los siguientes productos de acero para armaduras activas:

- alambre: producto de sección maciza, liso o grafilado, que normalmente se suministra en rollo. En la tabla 34.1.a se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres (Figura 34.1) según la norma UNE 36094:1997.
- barra: producto de sección maciza que se suministra solamente en forma de elementos rectilíneos.
- cordón: producto formado por un número de alambres arrollados helicoidalmente, con el mismo paso y el mismo sentido de torsión, sobre un eje ideal común (véase la UNE 36094:97). Los cordones se diferencian por el número de alambres, del mismo diámetro nominal y arrollados helicoidalmente sobre un eje ideal común y que pueden ser 2, 3 ó 7 cordones.

Los cordones pueden ser lisos o grafilados. Los cordones lisos se fabrican con alambres lisos. Los cordones grafilados se fabrican con alambres grafilados. En este último caso, el alambre central puede ser liso. Los alambres grafilados proporcionan mayor adherencia con el hormigón. En la tabla 34.1.b se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres para cordones según la norma UNE 36094:1997.

Se denomina "tendón" al conjunto de las armaduras paralelas de pretensado que, alojadas dentro de un mismo conducto, se consideran en los cálculos como una sola armadura. En el caso de armaduras pretesas, recibe el nombre de tendón, cada una de las armaduras individuales.

El producto de acero para armaduras activas deberá estar libre de defectos superficiales producidos en cualquier etapa de su fabricación que impidan su adecuada utilización. Salvo una ligera capa de óxido superficial no adherente, no son admisibles alambres o cordones oxidados.

Tabla 34.1.a Dimensiones nominales de las grafilas de los alambres

Diámetro nominal del alambre mm	Dimensiones nominales de las grafilas			
	Profundidad (a) Centésimas de mm		Longitud (l) mm	Separación (p) mm
	Tipo 1	Tipo 2		
3	2 a 6		3,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5
4	3 a 7	5 a 9		
5	4 a 8	6 a 10		
6	5 a 10	8 a 13	5,0 ± 0,5	8,0 ± 0,5
≥ 7	6 a 12	10 a 20		

Tabla 34.1.b Dimensiones nominales de las grafilas de los alambres para cordones

Profundidad (a) Centésimas de mm	Longitud (l) mm	Separación (p) mm
2 a 12	3,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5

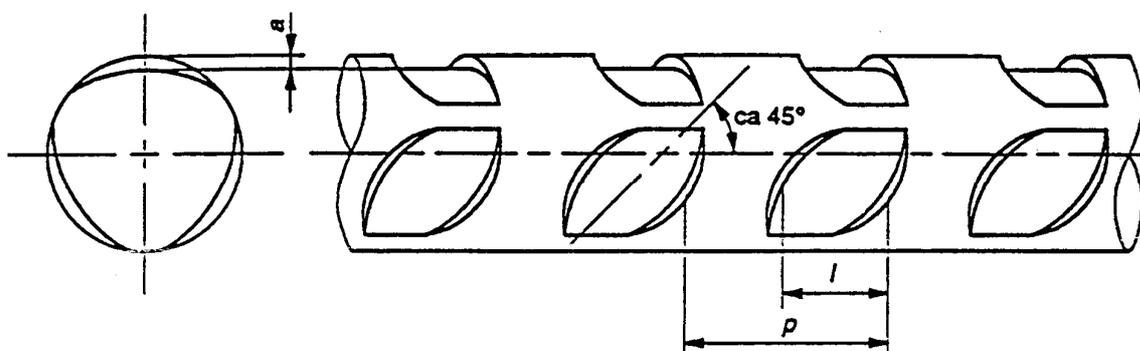


Figura 34.1 Grafilas

## COMENTARIOS

El tendón también recibe el nombre de unidad de tensión. Además de los materiales y elementos citados en el Articulado, que son los normales, existen otros (por ejemplo, plástico reforzado con fibras) que pueden utilizarse para constituir las armaduras activas, cuyo empleo deberá, en su caso, justificarse convenientemente, de acuerdo con lo previsto en el Capítulo I.

## 34.2 Características mecánicas

A los efectos de esta Instrucción, las características fundamentales que se utilizan para definir el comportamiento de los aceros para armaduras activas son las siguientes:

- a) Carga unitaria máxima a tracción ( $f_{m\acute{a}x}$ ).
- b) Límite elástico ( $f_y$ )
- c) Alargamiento bajo carga máxima ( $\varepsilon_{m\acute{a}x}$ ).
- d) Módulo de elasticidad ( $E_s$ ).
- e) Estricción ( $\eta$ ), expresada en porcentaje.
- f) Aptitud al doblado alternativo (sólo para alambres).
- g) Relajación.
- h) Resistencia a la fatiga.
- i) Susceptibilidad a la corrosión bajo tensión.
- j) Resistencia a la tracción desviada (sólo para cordones de diámetro nominal igual o superior a 13 mm).

Los fabricantes deberán garantizar, como mínimo, las características indicadas en a), b), c), d), g), h) e i).

### COMENTARIOS

Se recomienda que el contenido porcentual de cada uno de los elementos químicos constituyentes de los aceros utilizados en las armaduras activas quede comprendido entre los valores indicados en la tabla 33.2 con el fin de conseguir que resulten aceptables sus características mecánicas. En todo caso, en el momento de efectuar el pedido, en comprador y el fabricante pueden acordar la edición de elementos microaleados.

Tabla 34.2 Contenido porcentual de los elementos químicos constituyentes de los aceros utilizados en las armaduras activas

Elemento	Porcentaje mínimo	Porcentaje máximo
C	0,75	0,88
Mn	0,50	0,90
Si	0,10	0,30
P	--	0,020
S	--	0,025
N	--	0,007

Se utiliza como más propia la nomenclatura de “carga unitaria” en vez de “tensión” para tener en cuenta que los valores que se registran en el gráfico están referidos a la sección inicial (carga unitaria) y no a la real (tensión).

El límite elástico  $f_y$  se define, en los aceros para armaduras activas, como la carga unitaria correspondiente a una deformación remanente  $\varepsilon_y$ , siendo  $\varepsilon_y=0,2\%$  hasta la entrada en vigor del marcado CE del acero para armaduras activas y  $\varepsilon_y=0,1\%$  a partir de dicha fecha. (Figura 34.2).

La estricción expresada en porcentaje viene definida como:

$$\eta = \frac{A_i - A_u}{A_i} \times 100$$

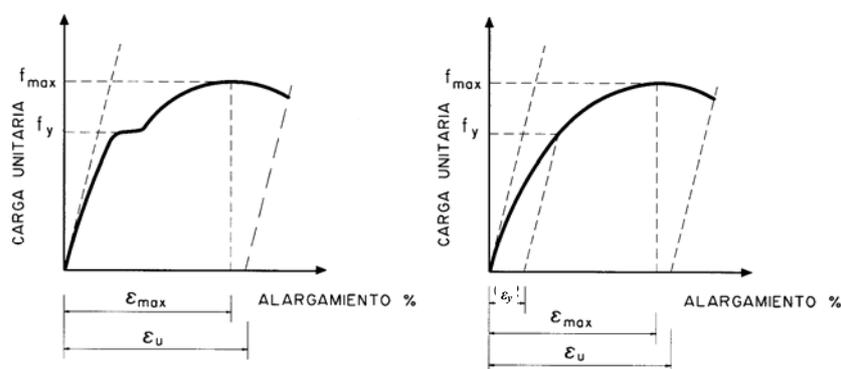
siendo  $A_i$  y  $A_u$ , respectivamente, las secciones rectas, inicial y de rotura.

Para las estructuras que deban soportar sollicitaciones dinámicas o de fatiga, cuyas armaduras vayan ancladas por adherencia, es preciso conocer las longitudes de anclaje y las características de la transmisión de esfuerzos entre la armadura y el hormigón, mediante ensayos especiales dinámicos y estáticos.

No existe un método único de ensayo que permita determinar con suficiente garantía y, en todos los casos, la inmunidad de un acero frente a la corrosión bajo tensión, habida cuenta de los diferentes medios agresivos que pueden producir este fenómeno. Se recomienda por ello que, siempre que se prevea la existencia de un determinado ambiente agresivo potencialmente productor de este fenómeno, se realicen ensayos (Normas MELC) indicativos del comportamiento del acero frente a determinados medios agresivos (sulfuros, cloruros y nitratos) o indicativos de su susceptibilidad a la fragilización por hidrógeno (UNE-EN ISO 15630-3:2003).

Cuando se trate de estructuras especiales que puedan estar sometidas a temperaturas distintas a las normales será preciso conocer cómo varían con la temperatura las características mecánicas adoptadas en el proyecto. La elevación de la temperatura provocará un aumento de la relajación. La disminución de la temperatura, una pérdida de la ductilidad.

Figura 34.2 Carga unitaria vs alargamiento para aceros con y sin escalón de cedencia



### 34.3 Alambres de pretensado

A los efectos de esta Instrucción, se entiende como alambres de pretensado aquellos que cumplen los requisitos establecidos en UNE 36094:2007 o, en su caso, en la correspondiente norma armonizada de producto. Sus características mecánicas, obtenidas a partir del ensayo a tracción realizado según la UNE-EN ISO 15630-3:2003, deberán cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$  no será inferior a los valores que figuran en la tabla 34.3.a.

Tabla 34.3.a Tipos de alambre de pretensado

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ en N/mm <sup>2</sup> no menor que
Y 1570 C	9,4 - 10,0	1.570
Y 1670 C	7,0 - 7,5 - 8,0	1.670
Y 1770 C	3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0	1.770
Y 1860 C	4,0 - 5,0	1.860

- El límite elástico  $f_y$  estará comprendido entre el 0,85 y el 0,95 de la carga

unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$ . Esta relación deberán cumplirla no sólo los valores mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada uno de los alambres ensayados.

- El alargamiento bajo carga máxima medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 por 100. Para los alambres destinados a la fabricación de tubos, dicho alargamiento será igual o superior al 5 por 100.
- La estricción a la rotura será igual o superior al 25 por 100 en alambres lisos y visible a simple vista en el caso de alambres grafilados.
- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia de  $\pm 7$  por 100.

En los alambres de diámetro igual o superior a 5 mm o de sección equivalente, la pérdida de resistencia a la tracción después de un doblado-desdoblado, realizado según la UNE-EN ISO 15630-3:2003 no será superior al 5 por 100.

El número mínimo de doblados-desdoblados que soportará el alambre en la prueba de doblado alternativo realizada según la UNE-EN ISO 15630-3:2003 no será inferior a:

Producto de acero para armadura activa	Número de doblados y desdoblados
Alambres lisos	4
Alambres grafilados	3
Alambres destinados a obras hidráulicas o sometidos a ambiente corrosivo	7

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de  $20^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ , y para una tensión inicial igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada no será superior al 2 por 100 (alambres enderezados y con tratamiento de estabilización).

El valor medio de las tensiones residuales a tracción, deberá ser inferior a  $90 \text{ N/mm}^2$ , al objeto de garantizar un comportamiento adecuado frente a la corrosión bajo tensión.

Los valores del diámetro nominal, en milímetros, de los alambres se ajustarán a la serie siguiente:

3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 7,5 - 8 - 9,4 - 10

Las características geométricas y ponderales de los alambres de pretensado, así como las tolerancias correspondientes, se ajustarán a lo especificado en la UNE 36094:1997.

## COMENTARIOS

Las características mecánicas de los alambres se consiguen, en general, mediante un tratamiento térmico de patentado, seguido de un trefilado y de un proceso de estabilizado.

Cuando, en igualdad de circunstancias, se pueda elegir entre varios diámetros, se recomienda utilizar el mayor de ellos con el fin de disminuir la importancia de los posibles defectos superficiales. En todo caso, dadas las especiales características de los alambres de pequeño diámetro, se recomienda, siempre que sea posible, que cuando las armaduras activas a emplear sean alambres aislados (es decir, no formando parte de cordones), se utilicen diámetros iguales o superiores a 4 mm.

El valor medio de las tensiones residuales a tracción se puede determinar por difracción por rayos X, difracción de neutrones o mediante su correlación con los resultados del ensayo de corrosión bajo tensión, en solución de tiocianato amónico, según UNE-EN ISO 15630-3:2003.

El fabricante puede suministrar a título informativo valores de la relajación correspondiente a una tensión inicial de 60, 70 y 80 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada o de la real. Ésta se determina sobre una muestra adyacente a la sometida al ensayo de relajación. A falta de información del fabricante, los valores antes mencionados, pueden tomarse de la tabla 34.3.b, en la cual los valores de relajación correspondientes al 60, 70 y 80

por 100 de la carga unitaria máxima real son los indicados en UNE 36094:1997.

Tabla 34.3.b Valores de la relajación

Tensión inicial en porcentaje de la carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$		Relajación
60%	de $f_{m\acute{a}x}$ garantizada	1,3
	de $f_{m\acute{a}x}$ real	1,5
70%	de $f_{m\acute{a}x}$ garantizada	2,0*
	de $f_{m\acute{a}x}$ real	2,5
80%	de $f_{m\acute{a}x}$ garantizada	4,0
	de $f_{m\acute{a}x}$ real	4,5

\* Este valor es el exigido en el Articulado.

En el caso de que la utilización del alambre tenga unas exigencias de enderezado muy severas, como ocurre en algunos tipos de traviesas de ferrocarril (diámetros entre 7 y 10 mm), se podrá acordar con el cliente el suministro de alambres de alta relajación, en cuyo caso se aplicarán los límites de relajación a 1.000 h de la tabla 34.3.c empleando una carga inicial igual al 60%, 70% u 80% de la carga de rotura real, medida en probeta contigua:

Tabla 34.3.c Valores de la relajación en alambres de alta relajación

AI 60%	4,5%
AI 70%	8,0%
AI 80%	12%

#### 34.4 Barras de pretensado

Las características mecánicas de las barras de pretensado, deducidas a partir del ensayo de tracción realizado según la UNE-EN ISO 15630-3:2003 deberán cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$  no será inferior a 980 N/mm<sup>2</sup>.
- El límite elástico  $f_y$ , estará comprendido entre el 75 y el 90 por 100 de la carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$ . Esta relación deberán cumplirla no sólo los valores mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada una de las barras ensayadas.
- El alargamiento bajo carga máxima medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 por 100.
- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia del  $\pm 7$  por 100.

Las barras soportarán sin rotura ni agrietamiento el ensayo de doblado especificado en la UNE-EN ISO 15630-3:2003.

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de  $20^\circ \pm 1^\circ$  C y para una tensión inicial

igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada, no será superior al 3 por 100. El ensayo se realizará según la UNE-EN ISO 15630-3:2003.

## COMENTARIOS

Las barras que normalmente se utilizan como armaduras de pretensado son de acero de dureza natural. En ellas, si la carga unitaria de tesado no excede del 75 por 100 del valor correspondiente a su límite elástico, la relajación puede considerarse prácticamente nula.

### 34.5 Cordones de pretensado

Cordones, a los efectos de esta Instrucción, son aquéllos que cumplen los requisitos técnicos establecidos en la UNE 36094:2007, o en su caso, en la correspondiente norma armonizada de producto. Sus características mecánicas, obtenidas a partir del ensayo a tracción realizado según la UNE-EN ISO 15630-3:2003, deberán cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$  no será inferior a los valores que figuran en la tabla 34.5.a en el caso de cordones de 2 ó 3 alambres y 33.5.b en el caso de cordones de 7 alambres.

Tabla 34.5.a Cordones de 2 ó 3 alambres

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ en N/mm <sup>2</sup> no menor que:
Y 1770 S2	5,6 - 6,0	1.770
Y 1860 S3	6,5 - 6,8 - 7,5	1.860
Y 1960 S3	5,2	1.960
Y 2060 S3	5,2	2.060

Tabla 34.5.b Cordones de 7 alambres

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$ en N/mm <sup>2</sup>
Y 1770 S7	16,0	1.770
Y 1860 S7	9,3 - 13,0 - 15,2 - 16,0	1.860

- El límite elástico  $f_y$  estará comprendido entre el 0,88 y el 0,95 de la carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$ . Esta limitación deberán cumplirla no sólo los valores mínimos garantizados, sino también cada uno de los elementos ensayados.
- El alargamiento bajo carga máxima, medido sobre una base de longitud igual o superior a 500 mm, no será inferior al 3,5 por 100.
- La estricción a la rotura será visible a simple vista.

- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante, con una tolerancia de  $\pm 7$  por 100.
- La relajación a las 1.000 horas a temperatura de  $20^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ , y para una tensión inicial igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada, determinada no será superior al 2 por 100.

El valor del coeficiente de desviación  $D$  en el ensayo de tracción desviada (UNE-EN ISO 15630-3:2003) no será superior a 28, para los cordones con diámetro nominal igual o superior a 13 mm.

Las características geométricas y ponderales, así como las correspondientes tolerancias, de los cordones se ajustarán a lo especificado en la UNE 36094-3:1997.

Los alambres utilizados en los cordones soportarán el número de doblados y desdoblados indicados en 34.3.

## COMENTARIOS

Cuando, en igualdad de circunstancias, se pueda elegir entre varios cordones de distinto diámetro de alambre, se recomienda utilizar el formado por los de mayor diámetro con el fin de disminuir la influencia de los posibles defectos superficiales.

El ensayo de tracción desviada consiste en someter una determinada longitud del cordón, desviada en su centro mediante un mandril, a una tracción creciente hasta producir la rotura de al menos uno de los alambres del cordón. Su objeto es determinar el comportamiento del cordón de pretensado bajo tensión multiaxial. A esta tensión suelen verse sometidos, en la práctica, los cordones de trazado no recto o desviados en el anclaje.

El fabricante puede suministrar a título informativo valores de la relajación correspondiente, a unas tensiones iniciales de 60, 70 y 80 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada o de la real. Ésta se determina sobre una muestra adyacente a la sometida al ensayo de relajación. A falta de información del fabricante, los valores antes mencionados, pueden tomarse de la tabla 34.5.c, en la cual, los valores de relajación correspondientes al 60, 70 y 80 por 100 de la carga unitaria máxima real son los indicados en la UNE 36094-3:1997.

Tabla 34.5.c Valores de la relajación

Tensión inicial en porcentaje de la carga unitaria máxima $f_{m\acute{a}x}$		Relajación
60%	de $f_{m\acute{a}x}$ garantizada	1,3
	de $f_{m\acute{a}x}$ real	1,5
70%	de $f_{m\acute{a}x}$ garantizada	2,0*
	de $f_{m\acute{a}x}$ real	2,5
80%	de $f_{m\acute{a}x}$ garantizada	4,0
	de $f_{m\acute{a}x}$ real	4,5

\* Este valor es el exigido en el Articulado.

## Artículo 35º Armaduras activas

Se denominan armaduras activas a las disposiciones de elementos de acero de alta resistencia mediante las cuales se introduce la fuerza del pretensado en la estructura. Pueden estar constituidos a partir de alambres, barras o cordones, que serán conformes con el Artículo 34º de esta Instrucción.

### 35.1 Sistemas de pretensado

En el caso de armaduras activas postesadas, sólo podrán utilizarse los sistemas de pretensado que cumplan los requisitos establecidos en el documento de idoneidad técnica europeo, elaborado específicamente para cada sistema por un organismo autorizado en el ámbito de la Directiva 89/106/CEE y de conformidad con la Guía ETAG 013 elaborada por la European Organisation for Technical Approvals (EOTA).

Todos los aparatos utilizados en las operaciones de tesado deberán estar adaptados a la función, y por lo tanto:

- cada tipo de anclaje requiere utilizar un equipo de tesado, en general se utilizará el recomendado por el suministrador del sistema.
- los equipos de tesado deberán encontrarse en buen estado con objeto de que su funcionamiento sea correcto, proporcionen un tesado continuo, mantengan la presión sin pérdidas y no ofrezcan peligro alguno.
- los aparatos de medida incorporados al equipo de tesado, permitirán efectuar las correspondientes lecturas con una precisión del 2%. Deberán contrastarse cuando vayan a empezar a utilizarse y, posteriormente, cuantas veces sea necesario, con frecuencia mínima anual.

Se debe garantizar la protección contra la corrosión de los componentes del sistema de pretensado, durante su fabricación, transporte y almacenamiento, durante la colocación y sobre todo durante la vida útil de la estructura.

## COMENTARIOS

Los aparatos que se utilizan para realizar el tesado de las armaduras postesadas suelen ser gatos hidráulicos. Los aparatos de medida deben ser adecuados para medir las presiones de trabajo de los gatos utilizados. En el caso de emplearse manómetros, resultan especialmente recomendables los de precisión, con dispositivos de seguridad contra el golpe de ariete.

La máxima garantía en la medida del esfuerzo de pretensado se obtiene con el empleo de dinamómetros intercalados entre el pistón y la armadura que se tesa. En la práctica se suelen utilizar dinamómetros digitales o manómetros conectados al circuito hidráulico de los gatos de tesado. Se recomienda la doble medición para asegurar el correcto calibrado de los equipos. Para el tesado de las armaduras en bancos de prefabricación se utilizan, además de los gatos hidráulicos, otros dispositivos debidamente experimentados.

## 35.2 Dispositivos de anclaje y empalme de las armaduras postesadas

### 35.2.1 Características de los anclajes

Los anclajes deben ser capaces de retener eficazmente los tendones, resistir su carga unitaria de rotura y transmitir al hormigón una carga al menos igual a la máxima que el correspondiente tendón pueda proporcionar. Para ello deberán cumplir las siguientes condiciones:

- a) El coeficiente de eficacia de un tendón anclado será al menos igual a 0,95, tanto en el caso de tendones adherentes como no adherentes. Además de la eficacia se verificarán los criterios de no reducción de capacidad de la armadura y de ductilidad conforme a la norma UNE 41184:1990.
- b) El deslizamiento entre anclaje y armadura debe finalizar cuando se alcanza la fuerza máxima de tesado (80% de la carga de rotura del tendón). Para ello:

Los sistemas de anclaje por cuñas serán capaces de retener los tendones de tal forma que, una vez finalizada la penetración de cuñas, no se produzcan deslizamientos respecto al anclaje.

Los sistemas de anclaje por adherencia serán capaces de retener los cordones de tal forma que, una vez finalizado el tesado no se produzcan fisuras o plastificaciones anormales o inestables en la zona de anclaje,

- a) Para garantizar la resistencia contra las variaciones de tensión, acciones dinámicas y los efectos de la fatiga, el sistema de anclaje deberá resistir 2 millones de ciclos con una variación de tensión de  $80 \text{ N/mm}^2$  y una tensión máxima equivalente al 65% de la carga unitaria máxima a tracción del tendón. Además, no se admitirán roturas en las zonas de anclaje, ni roturas de más del 5% de la sección de armadura en su longitud libre.
- b) Las zonas de anclaje deberán resistir 1,1 veces la carga de rotura del anclaje con el coeficiente de eficacia indicado en el punto a) del presente artículo.

El diseño de las placas y dispositivos de anclaje deberá asegurar la ausencia de puntos de desviación, excentricidad y pérdida de ortogonalidad entre tendón y placa.

Los ensayos necesarios para la comprobación de estas características serán los que figuran en la UNE 41184:1990.

Los elementos que constituyen el anclaje deberán someterse a un control efectivo y riguroso y fabricarse de modo tal, que dentro de un mismo tipo, sistema y tamaño, todas las piezas resulten intercambiables. Además deben ser capaces de absorber, sin menoscabo para su efectividad, las tolerancias dimensionales establecidas para las secciones de las armaduras.

## COMENTARIOS

Los anclajes por adherencia se calculan suponiendo que no haya deslizamiento del tendón.

Para disminuir la longitud de anclaje resultante del cálculo, los tendones se terminan en espiral o gancho, o se ondulan sus extremos con objeto de aumentar la adherencia con el hormigón.

La utilización de anclajes pasivos inaccesibles por hormigonado, en tendones largos, debe estudiarse cuidadosamente ya que, al no poder sustituir estos tendones, pueden presentarse durante la ejecución de la obra algunos inconvenientes tales como los producidos por la rotura de un alambre o rozamientos superiores a los previstos, que tienen difícil solución.

La carga de rotura de tracción de un tendón suele ser, en general, superior a la que es capaz de soportar el conjunto tendón-anclaje.

El coeficiente de eficacia de un tendón anclado es la relación entre la carga de rotura del tendón con su anclaje y el valor medio de la carga máxima que es capaz de resistir el tendón sólo en el ensayo normalizado de tracción de los aceros.

## 35.2.2 Elementos de empalme

Los elementos de empalme de las armaduras activas deberán cumplir las mismas condiciones exigidas a los anclajes en cuanto a resistencia y eficacia de retención.

## COMENTARIOS

Entre los diversos tipos de empalme utilizables, pueden citarse, como ejemplo, los constituidos por manguitos roscados (especialmente indicados en el caso de barras), manguitos de cuñas, grapas, alambres enrollados bajo tensión, etc.

Debido al modo constructivo, los empalmes pueden estar sujetos a movimientos durante las sucesivas fases de tesado. El sistema de empalme deberá permitir estos movimientos. Se detallarán los dispositivos que permitan el guiado del empalme durante el proceso de tesado, justificando su funcionamiento mediante ensayos o referencias previas.

Estructuralmente, las zonas de solape de anclajes deberán considerarse como zonas de empalme. Pueden ser una

solución adecuada cuando los tiempos de ejecución entre las distintas fases son importantes o en losas de poco espesor donde alojar un empalme puede comprometer los recubrimientos requeridos por la presente Instrucción.

### **35.3 Vainas y accesorios**

#### **35.3.1 Vainas**

En los elementos estructurales con armaduras postesas es necesario disponer conductos adecuados para alojar dichas armaduras. Para ello, lo más frecuente es utilizar vainas que quedan embebidas en el hormigón de la pieza, o se recuperan una vez endurecido éste.

Deben ser resistentes al aplastamiento y al rozamiento de los tendones, permitir una continuidad suave del trazado del conducto, garantizar una correcta estanquidad en toda su longitud, no superar los coeficientes de rozamiento de proyecto durante el tesado, cumplir con las exigencias de adherencia del proyecto y no causar agresión química al tendón.

En ningún caso deberán permitir que penetre en su interior lechada de cemento o mortero durante el hormigonado. Para ello, los empalmes, tanto entre los distintos trozos de vaina como entre ésta y los anclajes, habrán de ser perfectamente estancos.

El diámetro interior de la vaina, habida cuenta del tipo y sección de la armadura que en ella vaya a alojarse, será el adecuado para que pueda efectuarse la inyección de forma correcta.

#### **COMENTARIOS**

Para conseguir la necesaria estanquidad en los empalmes de las vainas metálicas, se recomienda recibirlos con cinta adhesiva o cualquier otro procedimiento análogo. En los puntos difíciles del trazado de las vainas o en su unión con los anclajes, podrá recurrirse al empleo de sellantes especiales que garanticen la estanquidad requerida.

En general, se consigue una correcta inyección cuando el diámetro interior de la vaina supera al del tendón que en ella se aloja en al menos 5 a 10 mm; por otra parte, conviene que la relación entre la sección de la vaina y la de la armadura sea del orden de 1,5 a 2. En el caso de vainas no circulares (por ejemplo, de sección oval), la dimensión interior de la vaina deberá, en cada una de las direcciones, superar a la del tendón alojado en al menos 5 a 10 mm.

#### **35.3.2. Tipos de vainas y criterios de selección**

Los tipos de vainas más utilizados son:

- Vainas obtenidas con flejes metálicos corrugados enrollados helicoidalmente. Se presentan en forma de tubos metálicos con resaltos o corrugaciones en su superficie para favorecer su adherencia al hormigón y a la lechada de inyección y aumentar su rigidez transversal y su flexibilidad longitudinal. Deberán presentar resistencia suficiente al aplastamiento para que no se deformen o abollen durante su manejo en obra, bajo el peso del hormigón fresco, la acción de golpes accidentales, etc. Asimismo deberán soportar el contacto con los vibradores interiores, sin riesgo de perforación. El espesor mínimo del fleje es 0,3 mm. Cumplirán lo estipulado en las normas UNE EN 523:1997 y UNE EN 524:1997.

Son las más frecuentemente utilizadas en pretensado interior para soportar presiones normales, para trazados con radios de curvatura superiores a 100 veces su diámetro interior. En elementos estructurales de pequeño espesor (losas o forjados pretensados) este tipo de vainas se pueden utilizar con sección ovalada para adaptarse mejor al espacio disponible.

- Vainas de fleje corrugado de plástico. Las características morfológicas son similares a las anteriores, con espesores mínimos de 1 mm. Las piezas y accesorios de material plástico deberán estar libres de cloruros (véase 37.3).

Se recomiendan en pretensado interior cuando se desea conseguir un aislamiento eléctrico para los tendones, bajo presiones y con radios de curvatura similares a las de fleje metálico.

- Tubos metálicos rígidos. Con un espesor mínimo de 2 mm, presentan características resistentes muy superiores a las vainas constituidas por fleje enrollado helicoidal y se utilizan tanto en pretensado interior como exterior. Debe tenerse en cuenta, en pretensado interior, la escasa adherencia del tubo liso con el hormigón y con la lechada.

Admiten, por sí solas, presiones interiores superiores a 1 bar, en función de su espesor y por lo tanto son recomendadas para conseguir estanquidad total en estructuras con alturas de inyección considerables. También son apropiadas para trazados con radios de curvatura inferiores a  $100 \Phi$  ( $\Phi$  = diámetro interior del tubo). Son doblados con medios mecánicos apropiados, pudiendo llegarse hasta radios mínimos en el entorno de  $20 \Phi$  siempre que se cumpla:

- a) La tensión en el tendón en la zona curva no excede el 70% de la de rotura.
- b) La suma del desvío angular a lo largo del tendón no excede de  $3\pi/2$  radianes, o se considera la zona de desvío (radio mínimo) como punto de anclaje pasivo, realizándose el tesado desde ambos extremos.

- Tubos de polietileno de alta densidad. Deben tener el espesor necesario para resistir una presión nominal interior de  $0,63 \text{ N/mm}^2$  en tubos de baja presión, en PE80, y de  $1 \text{ N/mm}^2$  para tubos de alta presión en PE80 ó PE100.

Se suelen utilizar para la protección de los tendones en pretensado exterior.

- Tubos de goma hinchables. Tienen la resistencia adecuada a su función y se recuperan una vez endurecido el hormigón. Para extraerlos, se desinflan y se sacan de la pieza o estructura tirando por un extremo. Pueden utilizarse incluso para elementos de gran longitud con tendones de trazado recto, poligonal o curvo.

Salvo demostración contraria, no se recomienda este tipo de dispositivo como vaina de protección, ya que desaparece la función pantalla contra la corrosión. Está recomendada en elementos prefabricados con juntas conjugadas, estando en este caso el tubo de goma insertado dentro de las propias vainas de fleje metálico, durante el hormigonado, con el fin de garantizar la continuidad del trazado del tendón en las juntas, evitando puntos de inflexión o pequeños desplazamientos.

## COMENTARIOS

Las vainas de tipo metálico son susceptibles de corrosión por lo que es conveniente protegerlas con algún tratamiento superficial como el galvanizado, en caso de almacenamiento prolongado. También es frecuente lubricar el interior para mejorar los coeficientes de rozamiento. En la elección de estos productos lubricantes se deben evitar los que facilitan la corrosión por par electroquímico o los que favorecen la corrosión bajo tensión de la armadura. El tipo de protección o tratamiento interior de la vaina, el nivel de corrosión interior admitido y la deformabilidad

durante la manipulación y durante el hormigonado son factores que, generalmente, pueden afectar a los coeficientes de rozamiento y, por lo tanto, deben ser controlados.

### 35.3.3 Accesorios

Los accesorios auxiliares de inyección más utilizados son:

- Tubo de purga o purgador: Pequeño segmento de tubo que comunica los conductos de pretensado con el exterior y que se coloca, generalmente, en los puntos altos y bajos de su trazado para facilitar la evacuación del aire y del agua del interior de dichos conductos y para seguir paso a paso el avance de la inyección. También se llama respiradero.
- Boquilla de inyección: Pieza que sirve para introducir el producto de inyección en los conductos en los que se alojan las armaduras activas. Para la implantación de las boquillas de inyección y tubos de purga se recurre al empleo de piezas especiales en T.
- Separador: Pieza generalmente metálica o de plástico que, en algunos casos, se emplea para distribuir uniformemente dentro de las vainas las distintas armaduras constituyentes del tendón.
- Trompeta de empalme: Es una pieza, de forma generalmente troncocónica, que enlaza la placa de reparto con la vaina. En algunos sistemas de pretensado la trompeta está integrada en la placa de reparto.
- Tubo matriz: Tubo, generalmente de polietileno, de diámetro exterior algo inferior al interior de la vaina, que se dispone para asegurar la suavidad del trazado.

Todos estos dispositivos deben estar correctamente diseñados y elaborados para permitir el correcto sellado de los mismos y garantizar la estanquidad bajo la presión nominal de inyección con el debido coeficiente de seguridad. A falta de especificación concreta del proveedor, estos accesorios deben resistir una presión nominal de  $2 \text{ N/mm}^2$ .

La ubicación de estos dispositivos y sus características estarán definidos en proyecto y será comprobada su idoneidad por el proveedor del sistema de pretensado.

### COMENTARIOS

Las aberturas dispuestas a lo largo del trazado de las vainas (boquillas y tubos de purga) deben permitir la evacuación del agua que haya podido quedar en éstas, en los casos en que haya sido preciso lavado previo, antes de enfilear las armaduras o proceder a la inyección.

Tanto los separadores como las trompetas de empalme de las vainas con los anclajes, pueden ser de tipos muy distintos. En general, cada sistema de pretensado tiene adoptado un modelo característico.

## **35.4 Productos de inyección**

### **35.4.1 Generalidades**

Con el fin de asegurar la protección de las armaduras activas contra la corrosión, en el caso de tendones alojados en conductos o vainas dispuestas en el interior de las piezas, deberá procederse al relleno de tales conductos o vainas, utilizando un producto de inyección adecuado.

Los productos de inyección pueden ser adherentes o no, debiendo cumplir, en cada caso, las condiciones que se indican en 35.4.2 y 35.4.3.

Los productos de inyección estarán exentos de sustancias tales como cloruros, sulfuros, nitratos, etc., que supongan un peligro para las armaduras, el propio material de inyección o el hormigón de la pieza.

#### **COMENTARIOS**

Las armaduras activas son especialmente sensibles a cualquier sustancia que provoque o favorezca la corrosión, no sólo por su mayor superficie específica con relación a las pasivas, sino también, y en mayor medida, por el estado de tensión elevada a que se encuentran sometidas una vez tesadas.

### **35.4.2 Productos de inyección adherentes**

En general, estos productos estarán constituidos por lechadas o morteros de cemento cuyos componentes deberán cumplir lo especificado en 37.2.1, mientras que en 37.2.2 se establecen los requisitos para los productos de inyección. Podrán emplearse otros materiales como productos de inyección adherentes, siempre que cumplan los requisitos de 37.2.2 y se compruebe que no afectan negativamente a la pasividad del acero.

#### **COMENTARIOS**

Se recomienda que la comprobación de que los productos de inyección adherentes no afectan negativamente a la pasividad del acero se realice mediante el ensayo contemplado en el proyecto de norma prEN 480-14:2004.

#### **35.4.2.1. Materiales componentes**

Los componentes de las lechadas y morteros de inyección deberán cumplir lo especificado en los artículos 26, 27, 28 y 29 de esta Instrucción. Además, deberán cumplir los requisitos que se mencionan a continuación, donde los componentes se expresan en masa con la excepción del agua que se puede expresar en masa o volumen. La precisión de la mezcla debe de ser de  $\pm 2\%$  para el cemento y los aditivos y  $\pm 1\%$  para el agua.

##### *Cemento:*

El cemento será Portland, del tipo CEM I. Para poder utilizar otros tipos de cementos será precisa una justificación especial.

##### *Agua:*

No debe contener más de 300 mg/l de ion cloruro ni más de 200 mg/l de ion sulfato.

##### *Áridos:*

Cuando se utilicen áridos para la preparación del material de inyección, deberán estar constituidos por granos silíceos o calcáreos, exentos de iones ácidos y de partículas laminares tales como las

de mica o pizarra.

#### **Aditivos:**

No pueden contener sustancias peligrosas para el acero de pretensado, especialmente: tiocianatos, nitritos, nitratos, formiatos y sulfuros y deben además cumplir los siguientes requisitos:

- $< 0,1\%$
- $Cl^- < 1$  g por litro de aditivo líquido
- El pH debe estar entre los límites definidos por el fabricante
- El extracto seco debe estar en un  $\pm 5\%$  del definido por el fabricante

#### **35.4.2.2 Requisitos de los productos de inyección.**

Las lechadas y morteros de inyección deben cumplir:

- el contenido en iones cloruro ( $Cl^-$ ) no será superior a 0.1% de la masa de cemento,
- el contenido en iones sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) no será superior a 2.5% de la masa de cemento,
- el contenido en ion sulfuro ( $S^{2-}$ ) no será superior a 0.01% de la masa de cemento,

Además, las lechadas y morteros de inyección deben tener las siguientes propiedades determinadas mediante UNE-EN 445:1996

- La fluidez medida mediante el método del cono de Marsh (diámetro: 100 mm) debe ser menor que 25 s en el rango de temperaturas especificado por el fabricante, tanto inmediatamente después del amasado como 30 minutos después o hasta terminar la inyección o el tiempo definido por el fabricante o prescrito por el proyectista. En el caso de lechadas tixotrópicas su fluidez se debe medir con un viscosímetro y debe estar comprendida entre  $120 \text{ g/cm}^2$  y  $200 \text{ g/cm}^2$ .
- La cantidad de agua exudada después de 3 h debe ser menor que el 2% en el ensayo del tubo de exudado en el rango de temperaturas definido por el fabricante.
- La reducción de volumen no excederá del 1%, y la expansión volumétrica eventual será inferior al 5%. Para las lechadas fabricadas con agentes expansivos, no se admite ninguna reducción de volumen.
- La relación agua/cemento deberá ser menor o igual que 0,44.
- La resistencia a compresión debe ser mayor o igual que  $30 \text{ N/mm}^2$  a los 28 días.
- El fraguado no debe empezar antes de las 3 h en el rango de temperaturas definido por el fabricante. El final del fraguado no debe exceder de las 24 h.
- La absorción capilar a los 28 días debe ser menor que  $1 \text{ g/cm}^2$ .

#### **COMENTARIOS**

Los requisitos establecidos en el Articulado para los productos de inyección se corresponden con lo establecido para lechadas en UNE EN 447:1996.

El relleno de los conductos con una inyección adherente tiene como fin proteger las armaduras activas y proporcionar la adherencia adecuada entre éstas y el hormigón de la pieza.

El uso de lechadas y morteros con cementos distintos del cemento Portland CEM I precisará una justificación basada en la realización previa de ensayos, como los definidos en el párrafo C 4.3 del documento ETAG nº 13.

El uso de morteros como sistema de protección no se recomienda salvo en casos debidamente justificados y para proteger las cabezas de anclaje tras el relleno completo del conducto. La granulometría del mortero debe ser prácticamente continua, ya que las discontinuidades favorecen la separación del árido y la lechada, durante la inyección, dando lugar a nidos de arena que dificultan el perfecto llenado de la vaina.

En cuanto a la relación agua/cemento, conviene que sea reducida, no sólo por razones de resistencia mecánica sino también por otros motivos, como la resistencia a las heladas y la retracción del material inyectado. La experiencia

demuestra que, para una mezcla pura de cemento y agua, la relación agua/cemento idónea varía entre 0,38 y 0,44. Para otros tipos de mezclas será necesario determinar, en cada caso, la relación agua/cemento apropiada. La fluidez de la lechada o mortero y su capacidad de retención de agua, condicionan la perfecta colmatación de los conductos o vainas. Un aumento de fluidez facilita la inyección pero puede provocar, posteriormente, una exudación mayor en el material inyectado y, como consecuencia, un defectuoso relleno de los conductos. La resistencia a la helada de las lechadas o morteros puede considerarse satisfactoria si el producto de inyección contiene un 3%, como mínimo, de burbujas de aire incorporadas una vez reabsorbida el agua de segregación.

### **35.4.3 Productos de inyección no adherentes**

Estos productos están constituidos por grasas, ceras, polímeros, productos bituminosos, poliuretano o, en general, cualquier material adecuado para proporcionar a las armaduras activas la necesaria protección sin que se produzca adherencia entre éstas y los conductos.

El fabricante debe garantizar la estabilidad física y química del producto seleccionado durante toda la vida útil de la estructura o durante el tiempo de servicio del producto, previsto en el proyecto, en el caso de que éste vaya a ser repuesto periódicamente durante la vida útil de la estructura.

Para poder utilizar los productos de inyección no adherentes será preciso que se hayan realizado previamente ensayos que garanticen su idoneidad. En el caso de aquellos productos de los que no se tiene experiencia previa se deben someter al ensayo de la norma pr EN 480-14:2004.

### **COMENTARIOS**

Los productos de inyección no adherentes se utilizan en estructuras con pretensado exterior, estructuras en las que se proyecte el desmontado periódico de los tendones de pretensado, para su comprobación y eventual reposición, casos de protección temporal de las armaduras activas, casos donde se quiera permitir un movimiento transversal de las armaduras dentro de la vaina, y otras circunstancias análogas.

Las grasas y las ceras son los productos más utilizados. Las ceras tienen una mojabilidad muy grande y son muy apropiadas para asegurar un recubrimiento continuo de los tendones.

Estos productos tienen una gran viscosidad a temperatura ambiente y necesitan ser calentados para realizar una correcta inyección. La temperatura de inyección debe ser superior al menos en 30 °C al punto de fusión para evitar su enfriamiento por contacto con el resto de accesorios. Al enfriarse estos productos se retraen y pueden fisurarse. Las temperaturas de inyección recomendadas son de:

- Grasas: 50 a 100 °C
- Ceras: 90 a 120 °C

Pueden emplearse productos de dos componentes, en cuyo caso la inyección se debe realizar con aparatos específicos. Se recomiendan en estos casos vainas de plástico completamente estancas.

Se recomienda que la comprobación de que los productos de inyección no adherentes no afectan negativamente a la pasividad del acero se realice mediante el ensayo contemplado en el proyecto de norma prEN 480-14:2004.

### **Artículo 36º Piezas de entrevigado en forjados**

Una pieza de entrevigado es un elemento prefabricado con función aligerante o colaborante destinada a formar parte, junto con las viguetas o nervios, la losa superior hormigonada en obra y las armaduras de obra, del conjunto resistente de un forjado.

Las piezas de entrevigado colaborantes pueden ser de cerámica o de hormigón u otro material resistente. Su resistencia a compresión no será menor que la resistencia de proyecto del hormigón vertido en obra con que se ejecute el forjado. Puede considerarse que los tabiquillos de estas piezas adheridas al hormigón forman parte de la sección

resistente del forjado.

Las piezas de entrevigado aligerantes pueden ser de cerámica, hormigón, poliestireno expandido u otros materiales suficientemente rígidos. Las piezas cumplirán con las condiciones establecidas a continuación:

- La carga de rotura a flexión para cualquier pieza de entrevigado debe ser mayor que 1,0 kN determinada según UNE 53981:1998 para las piezas de poliestireno expandido y según UNE 67037:1999, para piezas de otros materiales.
- En piezas de entrevigado cerámicas, el valor medio de la expansión por humedad, determinado según UNE 67036:1999, no será mayor que 0,55 mm/m, y no debe superarse en ninguna de las mediciones individuales el valor de 0,65 mm/m. Las piezas de entrevigado que superen el valor límite de expansión total podrán utilizarse, no obstante, siempre que el valor medio de la expansión potencial, según la UNE 67036:1999, determinado previamente a su puesta en obra, no sea mayor que 0,55 mm/m.
- El comportamiento de reacción al fuego de las piezas que estén o pudieran quedar expuestas al exterior durante la vida útil de la estructura, cumplirán con la clase de reacción al fuego que sea exigible [en el caso de edificios] conforme al artículo DB SI 1-4 del CTE, en función de la zona en la que esté situado el forjado. Dicha clase deberá estar determinada conforme a la norma UNE EN 13501-1:2002 según las condiciones finales de utilización, es decir, con los revestimientos con los que vayan a contar las piezas. Las bovedillas fabricadas con materiales inflamables deberán resguardarse de la exposición al fuego mediante capas protectoras eficaces. La idoneidad de las capas de protección deberá ser justificada empíricamente para el rango de temperaturas y deformaciones previsibles bajo la actuación del fuego de cálculo.