

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)

Propiedades tecnológicas de los materiales

	<i>Página</i>
1. Cementos (Artículo 26º).....	1
2. Agua (Artículo 27º).....	2
3. Áridos (Artículo 28º).....	4
3.1. Generalidades	4
3.2. Designación de los áridos	5
3.3. Tamaño máximo y mínimo de un árido	5
3.3.1. Limitaciones del árido grueso para la fabricación del hormigón	7
3.4. Granulometría de los áridos	7
3.4.1. Condiciones granulométricas del árido fino total	7
3.4.2. Calidad de los finos de los áridos	8
3.5. Forma del árido grueso	9
3.6. Requisitos físico-mecánicos	9
3.7. Requisitos químicos	10
3.7.1. Cloruros	11
3.7.2. Sulfatos solubles	11
3.7.3. Compuestos totales de azufre	11
3.7.4. Materia orgánica: Compuestos que alteran la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón	11
3.7.5. Estabilidad de volumen de las escorias de alto horno enfriadas por aire..	12
3.7.6. Reactividad álcali-árido	12
4. Aditivos (Artículo 29º).....	12
4.1. Generalidades	12
4.2. Tipos de aditivos.....	14
5. Adiciones (Artículo 30º).....	14
5.1. Prescripciones y ensayos de las cenizas volantes	16
5.2. Prescripciones y ensayos del humo de sílice.....	16
6. Hormigones (Artículo 31º).....	17
6.1. Composición	17
6.2. Condiciones de calidad	17
6.3. Características mecánicas	18
6.4. Valor mínimo de la resistencia	19
6.5. Docilidad del hormigón	20
7. Aceros para armaduras pasivas (Artículo 32º)	21
7.1. Generalidades	21
7.2. Barras y rollos de acero corrugado soldable.....	22
7.3. Alambres corrugados y alambres lisos	26
8. Armaduras pasivas (Artículo 33º).....	27
8.1. Armaduras normalizadas.....	28
8.1.1. Mallas electrosoldadas.....	28
8.1.2. Armaduras básicas electrosoldadas en celosía.....	29
8.2. Ferralla armada	30
9. Piezas de entrevigado en forjados (Artículo 36º)	30

Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)

Propiedades tecnológicas de los materiales

En el ámbito de aplicación de esta Instrucción, podrán utilizarse productos de construcción que estén fabricados o comercializados legalmente en los Estados miembros de la Unión Europea y en los Estados firmantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, y siempre que dichos productos, cumpliendo la normativa de cualquier Estado miembro de la Unión Europea, aseguren en cuanto a la seguridad y el uso al que están destinados un nivel equivalente al que exige esta Instrucción.

Dicho nivel de equivalencia se acreditará conforme a lo establecido en el artículo 4.2 o, en su caso, en el artículo 16 de la Directiva 89/106/CEE del Consejo, de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción.

Lo dispuesto en los párrafos anteriores será también de aplicación a los productos de construcción fabricados o comercializados legalmente en un Estado que tenga un Acuerdo de asociación aduanera con la Unión Europea, cuando ese Acuerdo reconozca a esos productos el mismo tratamiento que a los fabricados o comercializados en un Estado miembro de la Unión Europea. En estos casos el nivel de equivalencia se constatará mediante la aplicación, a estos efectos, de los procedimientos establecidos en la mencionada Directiva.

1. Cementos (Artículo 26º)

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

Tabla 26 Tipos de cemento utilizables

Tipo de hormigón	Tipo de cemento
Hormigón en masa	Cementos comunes excepto los tipos CEM III/A-Q, CEM II/B-Q, CEM III/A-W, CEM II/B-W, CEM III/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 III/A-Q, CEM II/B-Q, CEM III/A-W, CEM II/B-W, CEM III/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C y CEM V/B
Hormigón pretensado	Cementos comunes de los tipos CEM I y CEM III/A-D, CEM III/A-V, CEM III/A-P y CEM III/A-M(V,P)

En el ámbito de aplicación de la EHE-08, podrán utilizarse aquellos cementos que cumplan las siguientes condiciones:

- ser conformes con la reglamentación específica vigente,
- cumplan las limitaciones de uso establecidas en la tabla 26, y

- pertenezcan a la clase resistente 32,5 o superior.

En la tabla 26, 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 el apartado 35.4.2 de la Instrucción.

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 3 de la Norma.

Se tendrá en cuenta lo expuesto en el apartado 6.1 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 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.

2. Agua (Artículo 27º)

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) ≥ 5
- sustancias disueltas (UNE 7130) ≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m)
- sulfatos, expresados en SO_4^- (UNE 7131),
excepto para el cemento SR en que se eleva este límite a 5 gramos por litro (5.000 p.p.m) ≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)
- ión cloruro, Cl^- (UNE 7178)
 - a) para hormigón pretensado ≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)
 - b) para hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración ≤ 3 gramos por litro (3.000 p.p.m)

– hidratos de carbono (UNE 7132)	0
– sustancias orgánicas solubles en éter (UNE 7235)	≤ 15 gramos por litro (15.000 p.p.m)

realizándose la toma de muestras según la UNE 7236 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 1,3 g/cm³ y que la densidad del agua total no supere el valor de 1,1 g/cm³.

La densidad del agua reciclada está directamente relacionada con el contenido en finos que aportan al hormigón, de acuerdo con la siguiente 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/cm³.

d_a Densidad del agua en g/cm³.

d_f Densidad del fino, en g/cm³.

En relación con el contenido de finos aportado al hormigón, se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado 6.1. Para el cálculo del contenido de finos que se aporta en el agua reciclada, se puede considerar un valor de d_f igual a 2,1 g/cm³, salvo valor experimental obtenido mediante determinación en el volumenómetro de Le Chatelier, a partir de una muestra desecada en estufa y posteriormente pulverizada hasta pasar por el tamiz 200 μm .

Con respecto al contenido de ión cloruro, se tendrá en cuenta lo previsto en el apartado 6.1.

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 o SR.

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 cuando éste incluye armaduras para reducir la fisuración.

3. Áridos (Artículo 28º)

3.1. Generalidades

Las características de los áridos deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como cualquier otra exigencia que se requieran a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas), según UNE-EN 12620, rodados o procedentes de rocas machacadas, así como escorias siderúrgicas enfriadas por aire según UNE-EN 12620 y, en general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y se justifique debidamente.

En el caso de áridos reciclados, se seguirá lo establecido en el Anejo nº 15 de la EHE-08. En el caso de áridos ligeros, se deberá cumplir lo indicado en el Anejo nº 16 de la Instrucción, y en particular, lo establecido en UNE-EN 13055-1.

En el caso de utilizar áridos siderúrgicos (como, por ejemplo, escorias siderúrgicas granuladas de alto horno), 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.

La EHE-08 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 europea armonizada 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 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 la Instrucción.

Los sulfuros oxidables (por ejemplo, pirrotina, marcasita y algunas formas de pirita), aún en pequeña cantidad, resultan muy peligrosas 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 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 2600 kg/m^3 .

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.

3.2. Designación de los áridos

A los efectos de esta Instrucción, los áridos se designarán, de acuerdo con el siguiente formato:

d/D – IL

donde:

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

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

Preferentemente, se indicará también la naturaleza del árido (C, calizo; S, silíceo; G, granito; O, ofita; B, basalto; D, dolomítico; Q, traquita; I, fonolita; V, varios; A, artificial; R, reciclado), en cuyo caso, la designación sería

d/D – IL - N.

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 el apartado 39.2 de la EHE-08 (donde se denomina TM) y, en su caso, especificar el empleo de árido reciclado y su porcentaje de utilización.

3.3. Tamaño 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 que cumple los requisitos generales recogidos en la tabla 28.3.a, en función 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	$D > 11,2$ ó $D/d > 2$	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 $d = 0$	100	95 a 100	85 a 99	-	-

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.

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

3.3.1. 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 se podrá componer como suma de una o varias fracciones granulométricas. 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.

3.4. **Granulometría de los áridos**

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

3.4.1. Condiciones granulométricas del árido fino total

La cantidad de finos que pasan por el tamiz 0,063 UNE-EN 933-1, expresada en porcentaje del peso de la muestra de árido grueso total o de árido fino total, no excederá los valores de la tabla 28.4.1.a. En caso contrario, deberá comprobarse que se cumple la especificación relativa a la limitación del contenido total de finos en el hormigón recogido en el apartado 6.1.

Tabla 28.4.1.a 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, H 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, H 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, H y F (1)

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

3.4.2. 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 (SE₄), determinado sobre la fracción 0/4, de conformidad con el Anexo A de la norma UNE-EN 933-8 sea inferior a:

- 70, 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.
- 75, 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,

$$AM \leq 0,6 \cdot \frac{f}{100}$$

donde AM es el valor de azul de metileno, según UNE-EN 933-9, expresado en gramos de azul por cada kilogramo de fracción granulométrica 0/2 mm y f es el contenido de finos de la fracción 0/2, expresado en g/kg y determinado de acuerdo con UNE-EN 933-1.

- para los restantes casos,

$$AM \leq 0,3 \cdot \frac{f}{100}$$

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.

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 la Instrucción (equivalente de arena y azul de metileno).

3.5. Forma del árido grueso

La forma del árido grueso se expresará mediante su índice de lajas, entendido como el porcentaje en peso de áridos considerados como lajas según UNE-EN 933-3, y su valor debe ser inferior a 35.

El empleo de áridos gruesos con formas inadecuadas dificulta extraordinariamente la obtención de buenas resistencias y exige una dosis excesiva de cemento. Para evitar la presencia de áridos laminares y aciculares en una proporción excesiva, se impone una limitación al índice de lajas.

3.6. Requisitos físico-mecánicos

Se cumplirán las siguientes limitaciones:

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

Para la fabricación de hormigón en masa o armado, de resistencia característica especificada no superior a 30 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) si existe

experiencia previa en su empleo y hay estudios experimentales específicos que avalen su utilización sin perjuicio de las prestaciones del hormigón.

Cuando el hormigón esté sometido a una clase de exposición H o F y los áridos tengan una absorción de agua superior al 1%, estos deberán presentar una pérdida de peso al ser sometidos a cinco ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato magnésico (método de ensayo UNE-EN 1367-2) que no será superior al 18% en el caso del árido grueso.

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

Tabla 28.6 Requisitos físico-mecánicos

Propiedades del árido	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	5%	5%
Resistencia a la fragmentación del árido grueso, determinada con arreglo al método de ensayo indicado en UNE EN 1097-2	--	40 (*)
Pérdida de peso % con cinco ciclos de sulfato magnésico Determinada con arreglo al método de ensayo indicado en UNE EN 1367-2	-	18%

(*) 50, en el caso indicado en el Articulado.

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.

3.7. Requisitos químicos

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 y que flota en un líquido de peso específico 2, determinado con arreglo al método de ensayo indicado en el apartado 14.2 de UNE EN 1744-1		0,50	1,00
Compuestos totales de azufre expresados en S y referidos al árido seco, determinados con arreglo al método de ensayo indicado en el apartado 11 de UNE EN 1744-1		1,00	1,00 ^(*)
Sulfatos solubles en ácidos, expresados en SO ₃ y referidos al árido seco, determinados según el método de ensayo indicado en el apartado 12 de UNE EN 1744-1		0,80	0,80 ^(**)
Cloruros expresados en Cl ⁻ y referidos al árido seco, determinados con arreglo al método de ensayo indicado en el apartado 7 de UNE EN 1744-1	Hormigón armado u hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración	0,05	0,05
	Hormigón pretensado	0,03	0,03

(*) Este valor será del 2% en el caso de escorias de alto horno enfriadas al aire.

(**) Este valor será del 1% en el caso de escorias de alto horno enfriadas al aire.

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.

3.7.1. Cloruros

El contenido en ión cloruro (Cl^-) soluble en agua de los áridos grueso y fino para hormigón, determinado de conformidad con el artículo 7 de la UNE-EN 1744-1, 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, de acuerdo con lo indicado en la tabla 28.7.

Con respecto al contenido total en los hormigones del ión cloruro, Cl^- , se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 6.1.

3.7.2. Sulfatos solubles

El contenido en sulfatos solubles en ácido, expresados en SO_3 de los áridos grueso y fino, determinado de conformidad con el artículo 12 de la Norma UNE-EN 1744-1, no podrá exceder de 0,8% en masa del árido, tal y como indica la tabla 28.7. En el caso de escorias de alto horno enfriadas por aire, la anterior especificación será del 1%.

3.7.3. 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, no podrá exceder del 1% en masa del peso total de la muestra. 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 de azufre aportado por estos, expresado en S, será inferior al 0,1%.

3.7.4. Materia orgánica. Compuestos que alteran la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón

En el caso de detectarse la presencia de sustancias orgánicas, de acuerdo con el apartado 15.1 de la UNE-EN 1744-1, se determinará su 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. 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%.

No se emplearán aquellos áridos finos que presenten una proporción de materia orgánica tal que, ensayados con arreglo al método de ensayo indicado en el apartado 15.1 de la UNE-EN 1744-1, produzcan un color más oscuro que el de la sustancia patrón. Asimismo, 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 no será

superior al valor de 0,5% para áridos finos y 1% para áridos gruesos. En el caso de áridos gruesos, antes de proceder a su ensayo, se procederá a reducir su tamaño mediante machaqueo hasta tamaños inferiores a 4 mm.

3.7.5. Estabilidad 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 el apartado 19.1 de UNE-EN 1744-1.
- b) Frente a la hidrólisis de los sulfuros de hierro y de manganeso que entren en su composición, determinada según el ensayo descrito en el apartado 19.2 de UNE-EN 1744-1.

3.7.6. Reactividad álcali-árido

Los áridos no presentarán reactividad potencial con los compuestos alcalinos del hormigón, ya sean 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 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 EX. En el caso de mezcla, natural o artificial, de áridos calizos y silíceos, este ensayo se realizará sobre la fracción calizo-dolomítica del árido.

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 condiciones favorables al desarrollo de la reacción álcali-árido, de acuerdo con el apartado 37.3.8 de la EHE-08. En otros casos, se podrá emplear 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 EX, presentando una expansión al finalizar el ensayo menor o igual al 0,04%.

4. Aditivos (Artículo 29º)

4.1. Generalidades

A los efectos de la 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 12350-7.

Con respecto al contenido de ión cloruro, se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 6.1.

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 utilidades del hormigón como producto de construcción, lo que permite incluir en la EHE-08 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 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 mencionado es satisfactorio soportando los esfuerzos previstos sin fallo del anclaje de la armadura.

Los reductores de agua de alta actividad (superplastificantes) son necesarios para satisfacer asentamientos 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 de laboratorio para seleccionar el binomio aditivo-cemento más conveniente. Al producirse cambios en el 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.

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, de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Unas proporciones habituales pueden ser entre el 1,5 y 2 por ciento del peso de cemento.

4.2. Tipos de aditivos

En el marco de la Instrucción, se consideran fundamentalmente los 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.

En los documentos de origen, figurará la designación del aditivo de acuerdo con lo indicado en la UNE-EN 934-2, 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.

Salvo indicación previa en contra de la Dirección Facultativa, el Suministrador podrá emplear cualquiera de los aditivos incluidos en la tabla 29.2 La utilización de otros aditivos distintos a los contemplados en este artículo, requiere la aprobación previa de la Dirección Facultativa.

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.

5. Adiciones (Artículo 30º)

A los efectos de la 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 EHE-08 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 presentar un nivel de garantía conforme a lo indicado en el artículo 81º de la Instrucción, por ejemplo, mediante la 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 el porcentaje de humo de sílice no sea superior al 10% y que el porcentaje total de adiciones (cenizas volantes y humo de sílice) no sea superior al 20%, en ambos casos respecto al 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 el apartado 37.3.2 de la EHE-08.

Con respecto al contenido de ión cloruro, se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 6.1.

5.1. 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 450-1:

- | | |
|---|---|
| – Anhídrido sulfúrico (SO ₃), según la UNE-EN 196-2 | ≤ 3,0% |
| – Cloruros (Cl ⁻), según UNE-EN 196-2 | ≤ 0,10% |
| – Óxido de calcio libre, según la UNE-EN 451-1 | ≤ 1% |
| – Pérdida al fuego, según la UNE-EN 196-2 | ≤ 5,0% (categoría A de la norma UNE-EN 450-1) |
| – Finura, según la UNE-EN 451-2 | |
| – Cantidad retenida por el tamiz 45 μm | ≤ 40% |
| – Índice de actividad, según la UNE-EN 196-1 | |
| a los 28 días | ≥ 75% |
| a los 90 días | ≥ 85% |
| – Expansión por el método de las agujas, según la UNE-EN 196-3 | < 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 Facultativa.

5.2. 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 (SiO₂), según la UNE-EN 196-2 ≥ 85%
- Cloruros (Cl⁻) según la UNE 80217 < 0,10%
- Pérdida al fuego, según la UNE-EN 196-2 < 5%
- Índice de actividad, según la UNE-EN 13263-1 > 100%

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

6. Hormigones (Artículo 31º)

6.1. 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 de la EHE-08. Además, el ión cloruro total aportado por los componentes no excederá de los siguientes límites (véase el apartado 37.4 de la Instrucción):

– 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 y la componente caliza, en su caso, del cemento, deberá ser inferior a 175 kg/m³. En el caso de emplearse agua reciclada, de acuerdo con el Artículo 27º de la Instrucción, dicho límite podrá incrementarse hasta 185 kg/m³.

6.2. 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 la Instrucción se emplea la palabra "amasada" como equivalente a unidad de producto.

A los efectos de la 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.

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.

En la EHE-08 se ha adoptado para la resistencia a compresión un valor característico inferior de modo que el porcentaje de amasadas subnominales, con menor resistencia de la especificada, es del 5%. En el nivel actual de la tecnología del hormigón, fracciones subnominales del 5% para la mayoría de las características de calidad y casos son perfectamente aceptables.

6.3. Características mecánicas

Las características mecánicas de los hormigones empleados en las estructuras, deberán cumplir las condiciones establecidas en el Artículo 39º de la EHE-08.

A los efectos de la 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 el apartado 86.3.2 de la Norma.

Las fórmulas contenidas en la EHE-08 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 sollicitaciones 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 la Instrucción, se denominan hormigones de alta resistencia a los hormigones con resistencia característica de proyecto f_{ck} superior a 50 N/mm².

A efectos de la 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.

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 conocimiento físico de resistencia del material que, aún distinto de aquél, es lo suficientemente representativo para el fin práctico de la Instrucción.

En la UNE-EN 12390-6 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.

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

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

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

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

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:

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

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

donde

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

$f_{ct,m}$ Resistencia media a tracción a los 28 días $f_{ct,m} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$

β_{cc} Coeficiente que depende de la edad del hormigón $\beta_{cc} = \exp \left\{ s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\}$

t Edad del hormigón en días

Coeficiente que depende del tipo de cemento

=0,2 para cementos de alta resistencia y endurecimiento rápido (CEM 42,5R, CEM 52,5R)

s =0,25 para cementos normales y de endurecimiento rápido (CEM 32,5R, CEM 42,5)

=0,38 para cementos de endurecimiento lento (CEM 32,5)

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

α = 1 si $t < 28$ días

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

6.4. Valor mínimo de la resistencia

En los hormigones estructurales, la resistencia de proyecto f_{ck} (véase el apartado 39.1 de la Instrucción) no será inferior a 20 N/mm² en hormigones en masa, ni a 25 N/mm² en hormigones armados o pretensados.

Cuando el proyecto establezca, de acuerdo con el apartado 86.5.6 de la Instrucción, 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/mm² (véase el punto 39.4 de la EHE-08). 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 el apartado 39.2 de la Norma) ni les es de aplicación el articulado, ya que se rigen por lo indicado en el Anejo nº 18 de la Instrucción.

La especificación, en proyecto, de hormigones de resistencia inferior a 20 N/mm², no contemplados en la EHE-08, 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 la Instrucción. Se excluyen explícitamente los hormigones para armar con resistencia de proyecto inferior a 25 N/mm². En el caso particular de que el proyecto establezca un nivel de control reducido (nivel de control que en el contexto de la EHE-08 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/mm².

6.5. 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 con los recubrimientos exigibles y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueas.

La docilidad del hormigón se valorará determinando su consistencia por medio del ensayo de asentamiento, según UNE-EN 12350-2.

Las distintas consistencias y los valores límite del asentamiento del cono, serán los siguientes:

Tipo de consistencia	Asentamiento en cm
Seca (S)	0-2
Plástica (P)	3-5
Blanda (B)	6-9
Fluida (F)	10-15
Líquida (L)	16-20

Salvo en aplicaciones específicas que así lo requieran, se evitará el empleo de las consistencias seca y plástica. No podrá emplearse la consistencia líquida, salvo que se consiga mediante el empleo de aditivos superplastificantes.

En todo caso, la consistencia del hormigón que se utilice será la especificada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, definiendo aquella por su tipo o por el valor numérico de su asentamiento en cm.

En el caso de hormigones autocompactantes, se estará a lo dispuesto en el Anejo 17 de la Instrucción.

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, de acuerdo con UNE-EN 12350-3.

La Instrucción prescribe, salvo para aplicaciones específicas, un asentamiento no inferior a 6 cm. Sin embargo, en el caso de hormigones vistos pueden ser convenientes hormigones con consistencias fluidas obtenidas mediante el empleo de aditivos superplastificantes que favorezcan además su puesta en obra y su compactación. En el caso de hormigones para bombeo, las consistencias con asentamientos inferiores a 10 cm pueden dificultar notablemente dicha operación, por lo que se recomienda el empleo de consistencias fluidas, especialmente en el caso de hormigones fabricados con áridos de machaqueo.

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

7. Aceros para armaduras pasivas (Artículo 32º)

7.1. 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 corrugado 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. 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.

El proceso de fabricación del acero será una elección del fabricante.

7.2. Barras y rollos de acero corrugado soldable

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

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:

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 6 mm cuando se aplique cualquier proceso de soldadura, resistente o no resistente, en la elaboración o montaje de la armadura pasiva.

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

Tabla 32.2.a Tipos de acero corrugado

Tipo de acero		Acero soldable		Acero 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 ²) ⁽¹⁾		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, f_u (N/mm ²) ⁽¹⁾		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\epsilon_{u,s}$ (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, ϵ_{max} (%)	acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	acero suministrado en rollo ⁽³⁾	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación f_u/f_y ⁽²⁾		≥ 1,05	≥ 1,05	$1,20 \leq f_u/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_u/f_y \leq 1,35$
Relación f_y real/ f_y 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.

(3) En el caso de aceros corrugados procedentes de suministros en rollo, los resultados pueden verse afectados por el método de preparación de la muestra para su ensayo, que deberá hacerse conforme a lo indicado en el Anejo 23. Considerando la incertidumbre que puede conllevar dicho procedimiento, pueden aceptarse aceros que presenten valores característicos de ϵ_{max} que sean inferiores en un 0,5% a los que recoge la tabla para estos casos.

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, 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.

α Ángulo de doblado.

β 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, 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.
- α 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, así como los de la tabla 32.2.e, relativos al ensayo de deformación alternativa, según UNE 36065 EX.

Tabla 32.2.d Especificación del ensayo de fatiga

Característica	B400S D	B500S D
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 ²)	240	300
Amplitud, $2\sigma_a = \sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}$ (N/mm ²)	150	
Frecuencia, f (Hz)	$1 \leq f \leq 200$	
Longitud libre entre mordazas, (mm)	$\geq 14 d$ ≥ 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	$\pm 2,5$		
$d > 25$	15 d	$\pm 1,5$		

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 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. 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 τ_{bm} y τ_{bu} se expresan en N/mm² y ϕ en mm.

Hasta la entrada en vigor del marcado CE, 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/IEC 17025 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 0,1 mm en el caso de diámetros superiores a 20 mm ó más 0,05 mm 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.

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) determinadas según UNE-EN ISO 15630-1, 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 (mm), en el caso de barras	$\geq 0,039$	$\geq 0,045$	$\geq 0,052$	$\geq 0,056$	$\geq 0,056$
f_R o f_P (mm), en el caso de rollos	$\geq 0,045$	$\geq 0,051$	$\geq 0,058$	$\geq 0,062$	$\geq 0,064$

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 ⁽¹⁾	S	P	N ⁽²⁾	Cu	C _{eq} (*)
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_{eq} 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_{eq}, se calculará mediante:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

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

7.3. 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.

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.

Los diámetros nominales de los alambres serán los definidos en la tabla 6 de la UNE-EN 10080 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 el apartado 59.2.2 de la EHE-08.

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

Tabla 32.3 Tipo de acero para alambres

Designación	Ensayo de tracción ⁽¹⁾				Ensayo de doblado-desdoblado, según UNE-EN ISO 15630-1 α = 90° ⁽⁵⁾ β = 20° ⁽⁶⁾ Diámetro de mandril D'
	Límite elástico f _y (N/mm ²) ⁽²⁾	Carga unitaria de rotura f _s (N/mm ²) ⁽²⁾	Alargamiento de rotura sobre base de 5 diámetros A (%)	Relación f _e /f _y	
B 500 T	500	550	8 ⁽³⁾	1,03 ⁽⁴⁾	5 d ⁽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:

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

donde:

A Alargamiento de rotura.

f_{yi} Límite elástico medido en cada ensayo.

(4) Además, deberá cumplirse:

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

donde:

f_{yi} Límite elástico medido en cada ensayo.

f_{si} Carga unitaria obtenida en cada ensayo.

f_{yk} Límite elástico garantizado.

(5) α Ángulo de doblado.

(6) β 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, 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 7.2 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.

8. Armaduras pasivas (Artículo 33º)

Se entiende por armadura pasiva el resultado de montar, en el correspondiente molde o encofrado, el conjunto de armaduras normalizadas, armaduras elaboradas o ferrallas armadas que, convenientemente solapadas y con los recubrimientos adecuados, tienen una función estructural.

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.

A los efectos de esta Instrucción, se definen los tipos de armaduras de acuerdo con las especificaciones incluidas en la tabla 33.

Tabla 33 Tipos de aceros y armaduras normalizadas a emplear para las armaduras pasivas

Tipo de armadura	Armadura con acero de baja ductilidad		Armadura con acero soldable de ductilidad normal		Armadura con acero soldable y características especiales de ductilidad		
	Designación	AP400 T	AP500 T	AP400 S	AP500 S	AP400 SD	AP500 SD
Alargamiento total bajo carga máxima, ϵ_{max} (%) (**)	-	-	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 7,5$	
Tipo de acero	-	-	B 400 S B 400SD (*)	B 500 S B 500SD (*)	B 400 SD	B 500 SD	
Tipo de malla electrosoldada, en su caso, según 33.1.1	ME 400 T	ME 500 T	ME400S ME 400SD	ME500S ME 400 SD	ME400SD	ME500SD	
Tipo de armadura básicas electrosoldada en celosía, en su caso, según 33.1.2	AB 400T	AB 500 T	AB400S AB 400 SD	AB500S AB 500 SD	AB400SD	AB500SD	

(*) En el caso de ferralla armada AP400S ó AP500S elaborada a partir de acero soldable con características especiales de ductilidad, el margen de transformación del acero producido en la instalación de ferralla, conforme al apartado 69.3.2, se referirá a las especificaciones establecidas para dicho acero en la Tabla 32.2.a.

(**) Las especificaciones de ϵ_{max} de la tabla se corresponden con las clases de armadura B y C definidas en la EN 1992-1-1. Considerando lo expuesto en 32.2 para aceros suministrados en rollo, pueden aceptarse valores de ϵ_{max} que sean inferiores en un 0,5%.

En el caso de estructuras sometidas a acciones sísmicas, de acuerdo con lo establecido en la reglamentación sismorresistente en vigor, se deberán emplear armaduras pasivas fabricadas a partir de acero corrugado soldable con características especiales de ductilidad (SD).

8.1. Armaduras normalizadas

Se entiende por armaduras normalizadas las mallas electrosoldadas o las armaduras básicas electrosoldadas en celosía, conformes con la UNE-EN 10080 y que cumplen las especificaciones de 33.2.1 y 33.2.2, respectivamente.

8.1.1. Mallas electrosoldadas

En el ámbito de la Instrucción, se entiende por malla electrosoldada la armadura formada por la disposición de barras corrugadas o alambres corrugados, 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, realizada en un proceso de producción en serie en instalación industrial ajena a la obra, que sea conforme con lo establecido en UNE-EN 10080.

Las mallas electrosoldadas serán fabricadas a partir de barras corrugadas o alambres corrugados, que no se mezclarán entre sí y deberán cumplir las exigencias establecidas para los mismos en el Artículo 32º de la EHE-08.

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

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 10080 y en los correspondientes apartados del Artículo 32º de la EHE-08. Además, las mallas electrosoldadas deberán cumplir que la carga de despegue (F_s) de las uniones soldadas,

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

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.

8.1.2. Armaduras básicas electrosoldadas en celosía

En el ámbito de la 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, producida en serie en instalación industrial ajena a la obra, que sean conforme con lo establecido en UNE-EN 10080.

Los cordones longitudinales serán fabricados a partir de barras corrugadas conformes con 7.2 o alambres corrugados, de acuerdo con 7.3, mientras que los elementos transversales de conexión se elaborarán a partir de alambres lisos o corrugados, conformes con 7.3.

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

A los efectos de la 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, 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 diagonales.

8.2. Ferralla armada

En el ámbito de la Instrucción, se define como:

- armadura elaborada, cada una de las formas o disposiciones de elementos que resultan de aplicar, en su caso, los procesos de enderezado, de corte y de doblado a partir de acero corrugado conforme con el apartado 7.2 o, en su caso, a partir de mallas electrosoldadas conformes con 8.1.1.
- 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.

Las especificaciones relativas a los procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras se recogen en el Artículo 69º de la Instrucción.

9. Piezas de entrevigado en forjado (Artículo 36)

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 para las piezas de poliestireno expandido y según UNE 67037, para piezas de otros materiales.
- En piezas de entrevigado cerámicas, el valor medio de la expansión por humedad, determinado según UNE 67036, 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, 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, deberá ser conforme con el apartado 4 de la sección SI.1 del Documento Básico DB SI “Seguridad en caso de incendio” del Código Técnico de la Edificación, 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 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.