Capítulo 8

Estructuras de hormigón. Propiedades tecnológicas de los materiales

Artículo 28 Cementos

El cemento deberá ser capaz de proporcionar al hormigón las características que se exigen al mismo en el Artículo 33.

En el ámbito de aplicación del presente Código, 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 28, y
- pertenezcan a la clase resistente 32,5 o superior.

Está expresamente prohibido el almacenamiento en el mismo silo o la mezcla de cementos de diferentes tipos, clases de resistencia o fabricantes en la elaboración del hormigón, ya que se perdería la trazabilidad y las garantías del producto.

Tabla 28 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, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V, P)

En la tabla 28, las condiciones de utilización permitida para cada tipo de hormigón, se deben considerar extendidas a los cementos blancos (BL) y a los cementos con características adicionales de resistencia a sulfatos y al agua de mar (SRC y SR), de resistencia al agua de mar (MR, SR y SRC) y de bajo calor de hidratación (LH) correspondientes al mismo tipo y clase resistente que aquellos.

Cuando el cemento se utilice como componente de un producto de inyección adherente se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 37.4.2.

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 5.

Se tendrá en cuenta lo expuesto en el apartado 33.1 en relación con el contenido total de ion 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 del presente Código, 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.

Artículo 29 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.

El agua potable de red de grandes núcleos urbanos, que cumpla el Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, es apta para el amasado y curado del hormigón.

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 condiciones indicadas en la tabla 29, determinada conforme con los métodos de ensayo recogidos para cada característica en la norma UNE correspondiente.

Tabla 29 Especificaciones del agua de amasado

Característica del agua		Limitación	Norma
Exponente de hidrógeno, pH		≥ 5	UNE 83952
Sulfatos (en general), expresado en SO_4^{2-}		≤ 1 g/l	UNE 83956
Sulfatos (cementos SRC y SR), expresado en SO_4^{2-}		≤ 5 g/l	
Ion cloruro	a) hormigón pretensado	≤ 1 g/l	UNE 83958
	b) hormigón armado y hormigón en masa con armaduras para evitar fisuración	≤ 2 g/l	
Álcalis, expresado en Na_2O_{equiv} [(1)] (Na_2O + 0,658 K_2O)		≤ 1,5 g/l	[(2)]
Sustancias disueltas		≤ 15 g/l	UNE 83957
Hidratos de carbono		= 0 g/l	UNE 83959
Sustancias orgánicas solubles en éter		≤ 15 g/l	UNE 83960

[(1)] Si se sobrepasa este límite, se podrá utilizar el agua solo en el caso de que se acredite haber medidas para evitar posibles reacciones álcali-árido.

[(2)] La determinación de álcalis se podrá realizar mediante la técnica de fotometría de llama o espectroscopia de masa con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS).

Podrán emplearse aguas de mar o aguas salinas análogas para el amasado o curado únicamente de hormigones que no tengan armadura alguna.

Siempre que lo justifique expresamente el proyecto, mediante un estudio documental y de las decisiones adoptadas relativas a durabilidad (tipo de cemento, recubrimientos, etc.), o bien mediante un estudio experimental de durabilidad, podrá aplicarse un curado por inmersión en agua de mar en elementos de hormigón armado que vayan a estar situados permanentemente en clase de exposición XS2, evitando en todo el proceso que se produzcan ciclos de secado del hormigón.

Se permite el empleo de aguas recicladas procedentes de operaciones desarrolladas 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/cm^3 y que la densidad del agua total no supere el calor de 1,1 g/cm^3.

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

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

donde:

M Masa de finos presente en el agua, en g/cm^3.

d_a Densidad del agua en g/cm^3.

d_f Densidad del fino, en g/cm^3.

En relación con el contenido de finos aportado al hormigón, se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado 33.1. 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/cm^3, 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 ion cloruro, se tendrá en cuenta lo previsto en el apartado 33.1.

Artículo 30 Áridos

30.1 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.

Los áridos deben tener marcado CE según la norma UNE-EN 12620, y las propiedades definidas en la declaración de prestaciones (DdP) deberán cumplir lo establecido en este artículo.

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 de horno alto enfriadas por aire o áridos reciclados, todos ellos 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 apartado 30.8. En el caso de áridos ligeros, se deberá cumplir lo indicado en el Anejo 8 de este Código.

En el caso de utilizar escorias de horno alto enfriadas por aire, se seguirá lo establecido en el apartado 30.9.

Los áridos no 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 este Código.

30.2 Designación de los áridos

A los efectos de este Código, 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 33.6 (donde se denomina TM) y, en su caso, especificar el empleo de árido reciclado y su porcentaje de utilización).

30.3 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 que cumple los requisitos generales recogidos en la norma UNE-EN 12620, 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 que cumple los requisitos generales recogidos en la norma UNE-EN 12620, 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 norma UNE-EN 12620. 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.

30.3.1 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 45º 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 45º 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 grueso 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 máximo de árido menor que el que corresponde a los límites a) o b) si fuese determinante.

30.4 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.

La granulometría de los áridos gruesos se debe ajustar a la categoría $G_c90/15$ o $G_c85/20$, mientras que el árido fino será de categoría G_F85.

30.4.1 Contenido de finos

La cantidad de finos que pasan por el tamiz 0,063 (de conformidad con la norma 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 30.4.1.a. En cualquier caso, deberá comprobarse que se cumple la especificación relativa a la limitación del contenido total de finos en el hormigón recogido en el apartado 33.1.

Tabla 30.4.1.a Contenido máximo de finos en los áridos

ÁRIDO	PORCENTAJE MÁXIMO QUE PASA POR EL TAMIZ 0,063 mm	CATEGORÍA	TIPOS DE ÁRIDOS
Grueso	1,5%	$f_{1,5}$	– Cualquiera.

Fino	6%	f_6	– Áridos redondeados. – Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases de exposición XS, XD, XA, XF o XM(1).
	10%	f_{10}	– Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases de exposición XS, XD, XA, XF o XM(1). – Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases de exposición X0 o XC y no sometidas a ninguna de las clases de exposición XA, XF o XM(1).
	16%	f_{16}	– Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases de exposición X0 o XC y no sometidas a ninguna de las clases de exposición XA, XF o XM(1).

(1) Véase la tabla 27.1.a

30.4.2 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 del árido, de conformidad con el Anexo A de la norma UNE-EN 933-8 sea inferior a:

a) 70 (Categoría $SE_4$70), para obras sometidas únicamente a la clase de exposición X0 o XC.

b) 75 (Categoría $SE_4$75), en 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 únicamente a clases de exposición XO o XC,

$$MB \leq 0{,}6 . \frac{f}{100}$$

– donde MB 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 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,

$$MB \leq 0{,}3.\frac{f}{100}$$

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. Solo 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.

30.5 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 (Categoría FI_{35}).

30.6 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 (Categoría LA40).
- Absorción de agua por los áridos, determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE-EN 1097-6: ≤ 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 ≤50 (LA_{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 la clase de exposición XF y el árido grueso tenga una absorción de agua superior al 1%, éste deberá 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% (Categoría MS_{18}).

Un resumen de las limitaciones de carácter cuantitativo se recoge en la tabla 30.6.

Tabla 30.6 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.

30.7 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 recoge en la tabla 30.7.

Tabla 30.7 Requisitos químicos

SUSTANCIAS PERJUDICIALES		Cantidad máxima en % del peso total de la muestra	
		Árido fino	Árido grueso
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 horno alto enfriadas al aire.

30.7.1 Cloruros

El contenido en ion cloruro (Cl^-) soluble en agua de los áridos grueso y fino para hormigón, determinado de conformidad con el Artículo 7 de la norma 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 30.7.

Con respecto al contenido total en los hormigones del ion cloruro, Cl^-, se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 33.1.

30.7.2 Sulfatos solubles en ácido

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 30.7. En el caso de escorias de horno alto enfriadas por aire, la anterior especificación será del 1%.

30.7.3 Compuestos totales de azufre

Los compuestos totales de azufre expresados en S de los áridos grueso y fino, determinados de conformidad con el Artículo 11 de la norma UNE-EN 1744-1, no podrán exceder del 1% en masa del peso total de la muestra. En el caso de escorias de horno alto 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 expresado en S, será inferior al 0,1%.

30.7.4 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 norma 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 dicha norma. 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 norma UNE-EN 1744-1, produzcan un color más oscuro que el de la sustancia patrón.

30.7.5 Reactividad álcali-árido

Para clases de exposición diferentes a X0, XC1 o XM asociadas a un ambiente permanentemente seco, se deberá comprobar la potencial reactividad de los áridos frente a los álcalis.

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 norma UNE 146508 (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 norma UNE 146513. 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 anteriormente indicados para determinar la reactividad se deduce que el material es potencialmente reactivo, el árido podrá utilizarse:

- Si son satisfactorios los resultados del ensayo de reactividad potencial a largo plazo sobre prismas de hormigón, según UNE 146509, presentando una expansión al finalizar el ensayo menor o igual al 0,04%.
- En cualquier caso, si se cumplen los requisitos recogidos en el apartado 43.3.4.3.

30.8 Áridos reciclados

30.8.1 Generalidades

A los efectos de este Código, se define como árido reciclado al árido obtenido como producto de una operación de reciclado de residuos de hormigón, permitiéndose únicamente la utilización de árido grueso reciclado y en los términos recogidos en el presente artículo para la fabricación de hormigón reciclado (HR).

En este artículo se establecen los requisitos complementarios a los establecidos para los áridos convencionales que deben cumplir los áridos gruesos reciclados. Se mantienen por lo tanto vigentes para éstos el resto de prescripciones que no entren en contradicción con las recogidas en este apartado. Asimismo, en aquellos casos en los que se indique, se recogen especificaciones que se deben exigir a los áridos gruesos naturales para que la mezcla con los reciclados cumpla los requisitos de los apartados 30.1 a 30.7 de este Código.

Para su aplicación en hormigón estructural, este Código no contempla porcentajes de sustitución superiores al 20% en peso sobre el contenido total de árido grueso. Por encima de este valor será necesaria la realización de estudios específicos y experimentación complementaria en cada aplicación, que deberá ser aprobada por la Dirección facultativa.

El árido grueso reciclado puede emplearse tanto para hormigón en masa como hormigón armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm^2, quedando excluido su empleo en hormigón pretensado.

Quedan fuera de los objetivos de este artículo:

- Los hormigones fabricados con árido fino reciclado.
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados de naturaleza distinta del hormigón (áridos mayoritariamente cerámicos, asfálticos, etc.).
- Los hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de estructuras de hormigón con patologías que afectan a la calidad del hormigón tales como álcali-árido, ataque por sulfatos, fuego, etc.
- Hormigones fabricados con áridos reciclados procedentes de hormigones especiales tales como aluminoso, con fibras, con polímeros, etc.

En la fabricación de hormigones reciclados se podrán emplear áridos naturales rodados o procedentes de rocas machacadas.

Se considera que los áridos gruesos reciclados obtenidos a partir de hormigones estructurales sanos, o bien de hormigones de resistencia elevada, son adecuados para la fabricación de hormigón reciclado estructural, aunque deberá comprobarse que cumplen las especificaciones exigidas en los siguientes apartados.

30.8.2 Designación de los áridos

De conformidad con lo indicado en el apartado 30.2, los áridos gruesos reciclados se designarán con el formato que se recoge en dicho apartado, con la nomenclatura “R” para indicar su naturaleza.

30.8.3 Requisitos físico mecánicos

30.8.3.1 Condiciones físico-mecánicas

El árido grueso reciclado deberá presentar una absorción no superior al 7% y el árido grueso natural, con el que vaya a ser mezclado, no superior al 4,5%.

Para la resistencia al desgaste del árido grueso reciclado el valor del coeficiente de Los Ángeles no será superior al 40%.

30.8.4 Requisitos de composición del árido reciclado

Los componentes del árido grueso reciclado, determinados de acuerdo con la norma UNE-EN 12620 deberán cumplir los requisitos recogidos en la tabla 30.8.5.

Tabla 30.8.5 Requisitos de composición del árido grueso reciclado

Elemento	Categoría	Límite
Hormigón, mortero, material pétreo	$R_{cu}95$	≥95%
Partículas ligeras	FL_{2-}	≤2%
Materiales bituminosos	Ra_{1-}	≤1%
Otros materiales (arcilla, vidrio, plásticos, metales, etc.)	$XRg_{0,5-}$	≤0,5%

30.8.4.1 Reactividad álcali-árido

Los áridos gruesos reciclados no presentarán reactividad potencial con los alcalinos del hormigón. Para el caso de los áridos reciclados procedentes de un único hormigón de origen controlado, entendiendo como tales hormigones de composición y características conocidas, se deberán realizar las comprobaciones indicadas en el articulado del Código. En el caso de áridos reciclados procedentes de hormigones de distinto origen, éstos podrán utilizarse en los términos recogidos en el apartado 30.7.5 para los áridos considerados potencialmente reactivos.

30.9 Áridos de escorias de horno alto enfriadas por aire

En los áridos procedentes de escorias de horno alto enfriadas por aire, además de cumplir con lo establecido para los áridos naturales, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos inestables.

Las escorias de horno alto 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.

Artículo 31 Aditivos

31.1 Generalidades

A los efectos de este Código, 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 pretesas 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 UNE-EN 12350-7.

Con respecto al contenido de ion cloruro, se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 33.1.

31.2 Tipos de aditivos

En el marco de este Código, se consideran fundamentalmente los seis tipos de aditivos que se recogen en la tabla 31.2.

Tabla 31.2 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.

Moduladores de la viscosidad	Limitar la segregación mediante la mejora de la cohesión.

Los aditivos de cualquiera de los seis tipos descritos anteriormente deberán tener marcado CE según la norma UNE-EN 934-2.

En la declaración de prestaciones, figurará la designación del aditivo de acuerdo con lo indicado en 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 31.2 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.

Artículo 32 Adiciones

A los efectos de este Código, 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. El presente Código 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.

Las cenizas de co-combustión se podrán emplear en hormigones no estructurales y no se contempla su utilización en hormigón estructural. Otros tipos de cenizas como las de fondo y las escorias de central térmica, así como las de lecho fluidizado u otras diferentes de las cenizas volantes de central térmica de carbón convencional no están admitidos para hormigones estructurales ni para los hormigones no estructurales.

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.

La utilización de las escorias granuladas molidas de horno alto como adición al hormigón tiene una experiencia reducida en España. La dirección facultativa podrá, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 3 de este Código, autorizar dicha utilización, bajo su responsabilidad, basándose en el estudio experimental del comportamiento del hormigón fabricado con la escoria y cemento que se vayan a utilizar, que tenga en cuenta no solo sus prestaciones resistentes sino también la durabilidad en el ambiente en que vaya a estar ubicada la estructura.

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 18 de este Código, es decir, 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 solo 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 43.2.1

Con respecto al contenido de ion cloruro, se tendrá en cuenta lo prescrito en el apartado 33.1.

32.1 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.

Las cenizas volantes deben tener marcado CE (sujetas la norma UNE-EN 450-1) y la declaración de prestaciones (DdP) deberá recoger los siguientes requisitos esenciales:

- Sulfatos (SO3), según UNE-EN 196-2 ≤ 3,0%
- Cloruros (Cl-), según UNE-EN 196-2 ≤ 0,10%
- Óxido de calcio libre, según UNE-EN 451-1 ≤ 1,5%
- Óxido de calcio reactivo, según UNE-EN 451-1 ≤ 10%
- Pérdida por calcinación, según UNE-EN 196-2 (categoría A) ≤ 5,0%
- Finura, según UNE-EN 451-2.
  - Cantidad retenida por el tamiz de 45 µm (Clase N) ≤ 40%
  - Cantidad retenida por el tamiz de 45 µm (Clase S) ≤ 12%
- Demanda de agua, según UNE-EN 451-2 (Clase S) ≤ 95%
- Índice de actividad resistente, según UNE-EN 196-1
  - a los 28 días ≥ 75%
  - a los 90 días ≥ 85%
- Estabilidad de volumen, según UNE-EN 196-3 < 10mm

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

La especificación relativa a la demanda de agua solo debe tenerse en cuenta para cenizas volantes de categoría de finura S.

Los resultados de los análisis y de los ensayos previos estarán a disposición de la dirección facultativa.

32.2 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.

El humo de sílice debe tener marcado CE (conforme a la norma UNE-EN 13263-1+A1) y la declaración de prestaciones (DdP) deberá recoger los siguientes requisitos esenciales:

- Dióxido de silicio (SiO2), según UNE-EN 196-2 $\geq$ 85%
- Pérdida por calcinación, según UNE-EN 196-2 < 4,0%
- Índice de actividad resistente, según UNE-EN 13263-1+A1 $\geq$ 100%
- Silicio elemental, según ISO 9286 $\leq$ 0,4%
- Óxido de calcio libre, CaO (l) $\leq$ 1,0%
- Sulfatos, expresado en SO3 $\leq$ 2,0%
- Cloruros (Cl-), según UNE-EN 196-2 $\leq$ 0,3%
- Superficie específica, según ISO 9277 (Se, en m2/g) 15,0 $\leq$ Se $\leq$ 35,0

Los resultados de los análisis y de los ensayos previos estarán a disposición de la dirección facultativa.

Artículo 33 Hormigones

33.1 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 28, 29, 30, 31 y 32. Además, el ion cloruro total aportado por los componentes no excederá de los siguientes límites:

- 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.

En el caso de hormigones expuestos a ambientes XD o XS los valores anteriores se reducirán al 0,1% del peso de cemento para obras de hormigón pretensado y 0,2% para obras de hormigón armado.

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 200 kg/m^3. En el caso de emplearse agua reciclada, de acuerdo con el Artículo 29, dicho límite podrá incrementarse hasta 210 kg/m^3. Exclusivamente para el caso de los hormigones autocompactantes, se recomienda que esta cantidad no sea mayor a 250 kg/m^3.

33.2 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 este Código se emplea la palabra "amasada" como equivalente a unidad de producto.

A los efectos de este Código, 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.

33.3 Características mecánicas

A los efectos de este Código, 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 este Código. En el caso de que el control de calidad se efectúe mediante probetas cúbicas, se seguirá el procedimiento establecido en el apartado 57.3.2.

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

A los efectos de este Código, se entiende como:

- Resistencia característica de proyecto, f_{ck}, es el valor que se adopta en el proyecto para la resistencia a compresión, como base de los cálculos. Se denomina también resistencia característica especificada o resistencia de proyecto.
- Resistencia característica real de obra, $f_{c\ real}$, es el valor que corresponde al cuantil del 5 por 100 en la distribución de resistencia a compresión del hormigón suministrado a la obra.
- Resistencia característica estimada, $f_{c\ est}$, es el valor que estima o cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de ensayos normalizados de resistencia a compresión, sobre probetas tomadas en obra. Abreviadamente se puede denominar resistencia característica.

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 este Código, se denominan hormigones de alta resistencia a los hormigones con resistencia característica de proyecto f_{ck} superior a 50 N/mm^2.

A efectos del presente Código, se consideran hormigones de endurecimiento rápido los fabricados con cemento de clase resistente 42,5R, 52,5 o 52,5R siempre que su relación agua/cemento sea menor o igual que 0,60, los fabricados con cemento de clase resistente 32,5R o 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.

33.4 Valor mínimo de la resistencia

En los hormigones estructurales, la resistencia de proyecto f_{ck} 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 57.5.6, un control indirecto de la resistencia en estructuras de hormigón en masa o armado deberá adoptarse un valor de la resistencia de cálculo a compresión f_{cd} no superior a 15 N/mm². 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 43.2.1.a.

33.5 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 coqueras.

En general, la docilidad del hormigón se valorará determinando su consistencia por medio del ensayo de asentamiento, según UNE-EN 12350-2 excepto para los hormigones autocompactantes.

Cuando se determine la docilidad de acuerdo con el ensayo de asentamiento, las distintas clases de consistencia serán las siguientes:

Tabla 33.5.a Clases de consistencia

Tipo de consistencia	Asentamiento en mm
Seca (S)	0-20
Plástica (P)	30-40
Blanda (B)	50-90
Fluida (F)	100-150
Líquida (L)	160-210

Salvo justificación específica en aplicaciones que así lo requieran, no se empleará las consistencias seca y plástica. Además, no podrá emplearse la consistencia líquida, salvo que se consiga mediante el empleo de aditivos superplastificantes.

En obras de edificación, para pilares, forjados y vigas se utilizará un hormigón de consistencia fluida salvo justificación en contra. Esta prescripción se podría aplicar también a elementos de ingeniería civil, en especial los que pudiesen estar densamente armados, como por ejemplo tableros de puentes o estribos.

En todo caso, la consistencia del hormigón que se utilice será la especificada en el pliego de prescripciones técnicas particulares, definiendo aquélla por su tipo o por el valor numérico de su asentamiento en mm.

En el caso de hormigones autocompactantes se requiere determinar la autocompactabilidad a través de métodos de ensayo específicos que permiten evaluar las prestaciones del material en términos:

- de fluidez, mediante la determinación del escurrimiento, *SF*, según UNE-EN 12350-8.
- de viscosidad, mediante la determinación del tiempo t_{500} en ensayos de escurrimiento según UNE-EN 12350-8 o mediante la determinación del tiempo t_V en ensayos con embudo en V, según UNE-EN 12350-9.
- de capacidad de paso, determinada mediante el ensayo con caja en L, *PL*, según UNE-EN 12350-10, o mediante el ensayo con el anillo japonés, *PJ*, según UNE-EN 12350-12.
- de resistencia a la segregación, mediante la determinación del porcentaje de segregación, *SR*, según UNE-EN 12350-11.

La tabla 33.5.b muestra los rangos admisibles de los parámetros de autocompactabilidad que deben cumplirse, en cualquier caso, según los diferentes métodos de ensayo. Estos requisitos deberán cumplirse simultáneamente para todos los ensayos especificados. El autor del proyecto o, en su caso, la dirección facultativa podrá definir un grado de autocompactabilidad más concreto mediante las categorías definidas en el apartado 33.6, en función de las características de su obra.

Tabla 33.5.b Requisitos generales para la autocompactabilidad

Propiedad	Parámetro medido	Rango admisible
Escurrimiento	*SF*	550 mm – 850 mm
Viscosidad	t_V	≤ 25 s
Capacidad de paso	*PL*	≥ 0,80
	PJ	≤ 10 mm
Resistencia a la segregación	*SR*	≤ 20%

Los hormigones autocompactantes deberán mantener las características de autocompactabilidad durante un período de tiempo, denominado como “tiempo abierto”, que sea suficiente para su puesta en obra correcta en función de las exigencias operativas y ambientales del proyecto. Para la determinación del “tiempo abierto” se pueden utilizar los ensayos de caracterización indicados anteriormente, comparando el resultado de diversas repeticiones del mismo ensayo realizadas consecutivamente con la misma muestra.

33.6 Tipificación de los hormigones

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato (lo que deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto):

T - R / C / TM / A

donde:

T Indicativo que será HM en el caso de hormigón en masa, HA en el caso de hormigón armado, HP en el de pretensado.

R Resistencia característica especificada, en N/mm².

C Letra inicial del tipo de consistencia, tal y como se define en el apartado 33.5.

TM Tamaño máximo del árido en milímetros, definido en el apartado 30.3.

A Designación del ambiente, de acuerdo con 27.1.a.

La sigla *T* indicativa del tipo de hormigón será HRM o HRA para el caso de hormigones en masa o armados, respectivamente, fabricados con árido reciclado.

En cuanto a la resistencia característica especificada, se recomienda utilizar la siguiente serie:

20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100

en la cual las cifras indican la resistencia característica especificada del hormigón a compresión a 28 días, sobre probeta cilíndrica, expresada en N/mm².

La resistencia de 20 N/mm² se limita en su utilización a hormigones en masa. En el caso de hormigones reciclados, la resistencia característica no será superior a 40 N/mm².

El hormigón que se prescriba deberá ser tal que, además de la resistencia mecánica, asegure el cumplimiento de los requisitos de durabilidad (contenido mínimo de cemento y relación agua/cemento máxima) correspondientes al ambiente del elemento estructural, reseñados en la tabla 43.2.1.a.

En el caso de hormigón autocompactante, la tipificación es análoga a la de los hormigones de compactación convencional según lo indicado anteriormente sin más que utilizar como indicativo C de la consistencia las siglas AC, (como, por ejemplo, HA-35/AC/20/XS1), de acuerdo con la siguiente expresión:

T-R/AC/TM/A

Alternativamente, se podrá definir la autocompactabilidad mediante la combinación de las clases correspondientes al escurrimiento (AC-SF), viscosidad (AC-V), capacidad de paso (AC-P) y resistencia a la segregación (AC-SR), de acuerdo con la siguiente expresión:

T-R/(AC-SF+AC-V+AC-P+AC-SR)/TM/A

donde AC-SF, AC-V, AC-P y AC-SR, representan las clases correspondientes de acuerdo con las tablas 33.6.a, 33.6.b, 33.6.c y 33.6.d:

Tabla 33.6.a Clases de escurrimiento AC-SF

Clase	Escurrimiento, *SF*, ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-8 mm
SF1	550 – 650
SF2	660 – 750
SF3	760 – 850

Tabla 33.6.b Clases de viscosidad AC-V

Clase	t_{500} ensayado conforme a la norma EN 12350-8 s
VS1	< 2,0
VS2	≥ 2,0
Clase	t_V ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-9 s
VF1	< 9,0
VF2	9,0 – 25,0

NOTA: las clases VS y VF son similares, pero no se corresponden exactamente

Tabla 33.6.c Clases de capacidad de paso, AC-P

Clase	Capacidad de paso con la caja en L, *PL* ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-10
PL1	≥ 0,80 con 2 barras
PL2	≥ 0,80 con 3 barras
Clase	Capacidad de paso con el anillo japonés, *PJ* ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-12 mm
PJ1	≤ 10 con 12 barras
PJ2	≤ 10 con 16 barras

Tabla 33.6.d Clases de resistencia a la segregación, AC-SR

Clase	Porcentaje de segregación, *SR*, ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-11 mm
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

Artículo 34 Aceros para armaduras pasivas

34.1 Generalidades

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

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

No se permite el empleo de alambres lisos para la elaboración de armaduras pasivas, excepto 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 norma 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, el área de la sección circular de un cilindro ideal de igual volumen y longitud. El diámetro de dicho círculo se denomina diámetro equivalente. La determinación de la sección equivalente debe realizarse a partir de la masa real, determinada mediante pesada, sobre una longitud mínima de 500 mm y después de limpiar cuidadosamente el producto de acero para eliminar las posibles escamas de laminación y el óxido no adherido firmemente.

Se calculará mediante la fórmula:

$$S = 127{,}389 \frac{m}{l}$$

donde:

S es el área de la sección, en mm^2, con tres cifras significativas;

m es la masa de la probeta, en g;

l es la longitud de la probeta, en mm.

A los efectos de este Código, 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.

34.2 Barras y rollos de acero soldable

Solo podrán emplearse barras o rollos de acero 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 norma 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.

En la tabla 34.2.a se definen los tipos de acero soldable, según UNE 36065 y UNE 36068:

Tabla 34.2.a Tipos de acero soldable

Tipo de acero		Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
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_s (N/mm^2) (1)		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\varepsilon_{u,5}$ (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\varepsilon_{máx}$ (%)	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_s/f_y (2)		≥ 1,08	≥ 1,08	$1,20 \le f_s/f_y \le 1,35$	$1,15 \le f_s/f_y \le 1,35$ (4)
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 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 11. Considerando la incertidumbre que puede conllevar dicho procedimiento, pueden aceptarse aceros que presenten valores característicos de $\varepsilon_{máx}$ que sean inferiores en un 0,5% a los que recoge la tabla para estos casos.

(4) En el caso de la utilización de aceros soldables inoxidables dúplex o austeníticos como medida especial de durabilidad, debido a su relación constitutiva de tensión-deformación específica, la relación se calcula utilizando el valor de f_y 7% en lugar de f_s.

Las características mecánicas mínimas garantizadas por el suministrador serán conformes con las prescripciones de la tabla 34.2.a. Además, las barras deberán tener aptitud al doblado simple, 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 34.2.b.

Tabla 34.2.b Diámetro de los mandriles

Doblado simple α = 180º	
d ≤ 16	d > 16
3 d	6 d

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

α Ángulo de doblado.

Alternativamente al ensayo de aptitud al doblado simple, se podrá realizar el ensayo de doblado-desdoblado, según UNE-EN ISO 15630-1, para lo que deberán emplearse los mandriles especificados en la tabla 34.2.c.

Tabla 34.2.c Diámetro de los mandriles

Doblado-desdoblado α = 90° β = 20º		
d ≤ 16	16 < d ≤ 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.

Los aceros soldables deberán cumplir los requisitos de la tabla 34.2.d en relación con el ensayo de fatiga según UNE-EN ISO 15630-1. Además, para los aceros soldables con características especiales de ductilidad (B 400 SD y B 500 SD), de obligado uso en obras con solicitación sísmica, no se deberá producir la rotura, parcial o total, ni la aparición de grietas transversales apreciables a simple vista al efectuar el ensayo de carga cíclica (UNE 36065) conforme a los requisitos de la tabla 34.2.e.

Tabla 34.2.d Especificación del ensayo de fatiga

Característica	B 400 S B 400 SD	B 500 S B 500 SD
Número de ciclos que debe soportar la probeta sin romperse.	≥ 2 millones	
Tensión máxima, $\sigma_{máx}$= 0,6 f_y nominal (N/mm^2)	240	300

Amplitud, $2\sigma_a = \sigma_{máx} - \sigma_{mín}$ (N/mm^2)	150
Frecuencia, f (Hz)	1 ≤ f ≤ 200
Longitud libre entre mordazas, (mm)	≥ 14 d ≥ 140 mm (la mayor de ambas)

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

Tabla 34.2.e Especificación del ensayo de carga cíclica

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

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

Las características de adherencia de las barras de acero podrán comprobarse, sobre barra recta o barra enderezada procedente de rollo, mediante el método general (ensayo de la viga) del Anejo C de la norma UNE-EN 10080 o el de la norma UNE 36740 o, alternativamente, mediante la geometría de corrugas o grafilas conforme a lo establecido en la norma UNE-EN ISO 15630-1. 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 ø en mm.

En el caso de comprobarse las características de adherencia mediante el ensayo de la viga, los aceros serán objeto de un certificado de características. Los ensayos de la viga para esta certificación deben ser efectuados por un laboratorio oficial o acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 para el referido ensayo. En el certificado de ensayos, que debe ser emitido por el laboratorio que ha realizado los ensayos, se consignarán obligatoriamente, las características geométricas, determinadas por el laboratorio para todos los diámetros de cada serie a partir de los resultados de los ensayos, de los aceros para los que se certifica el cumplimiento de los requisitos de adherencia establecidos en este apartado. El certificado de adherencia debe incluir la información indicada en el Anejo 4, apartado 1.1.7.

Alternativamente, en el caso de comprobarse la adherencia mediante la geometría de corrugas o grafilas, 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 34.2.f.

Tabla 34.2.f Área proyectada de corrugas o de grafilas

d (mm)	≤ 6	8-12	>12
f_R o f_P (mm)	≥ 0,035	≥ 0,040	≥ 0,056
NOTA: No es preciso el cumplimiento de los valores de esta tabla, cuando el ensayo de la viga garantice las tensiones de adherencia.			

La composición química, en porcentaje en masa, del acero deberá cumplir los límites establecidos en la tabla 34.2.g, por razones de soldabilidad y durabilidad.

Tabla 34.2.g Composición química (porcentajes máximos, en masa)

Análisis	C (1)	S	P	N (2)	Cu	C_{eq} (1)
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.

34.3 Alambres de acero soldable

Se entiende por alambres corrugados o grafilados de acero 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 solo pueden utilizarse como armadura de reparto en la losa superior de hormigón vertido en obra en forjados unidireccionales. El diámetro mínimo de dicha armadura de reparto será 5 mm si ésta se tiene en cuenta a efectos de comprobación de los Estados Límite Últimos.

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

Tabla 34.3 Tipo de acero para alambres

Designación	Ensayo de tracción (1)				Ensayo de doblado simple según UNE-EN ISO 15630-1 $\alpha = 180°$ (5) Diámetro de mandril D'
	Límite elástico f_y,(N/mm²) (2)	Carga unitaria de rotura f_s, (N/mm²) (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)	3d (6)

(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) α Ángulo de doblado.

(6) d Diámetro nominal del alambre.

Alternativamente al ensayo de aptitud al doblado simple, se podrá realizar el ensayo de doblado-desdoblado, según UNE-EN ISO 15630-1, con un ángulo de doblado $\alpha = 90º$ y un ángulo de desdoblado $\beta = 20º$, para lo que deberá emplearse el mandril de diámetro 5d, 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 34.2 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. En la Tabla 34.2.f debe considerarse el área proyectada de corruga o grafila ≥0,040 para todos los diámetros de alambre desde 6,5 mm hasta 12 mm.

34.4 Barras, rollos y alambres de acero soldable inoxidable

Este Código contempla la utilización de aceros soldables inoxidables como medida especial de durabilidad, en forma de barras, rollos y alambres, todos ellos corrugados o grafilados. Los tipos de acero contemplados son los ferríticos, austeníticos y austenoferríticos indicados en la tabla 34.4, y su composición química deberá cumplir los límites establecidos en dicha tabla.

Tabla 34.4 Tipos de acero y composición química sobre producto (porcentajes máximos, en masa y rangos mínimo/máximo)

Tipo	*C*	*S*	*P*	*N*	*Si*	*Mn*	*Cr*	*Ni*	*Mo*	*Cu*
1.4003	0,03	0,015	0,040	0,03	1,00	1,5	10,5/12,5	0,3/1,0	-----	-----
1.4301	0,07	0,015	0,045	0,10	1,00	2,00	17,5/19,5	8,0/10,5	-----	-----
1.4482	0,03	0,030	0,035	0,05/0,20	1,00	4,0/6,0	19,5/21,5	1,5/3,5	0,10/0,6	1,0
1.4362	0,03	0,015	0,035	0,05/0,20	1,00	2,00	22,0/24,5	3,5/5,5	0,10/0,60	0,10/0,60
1.4462	0,03	0,015	0,035	0,10/0,22	1,00	2,00	21,0/23,0	4,5/6,5	2,5/3,5	-----

Los productos de acero inoxidable deberán cumplir con todos los requisitos especificados en los apartados 34.2 para barras y rollos y 34.3 para alambres, excepto en lo relativo a su composición química.

Artículo 35 Armaduras pasivas

35.1 Generalidades

Se entiende por armadura pasiva el resultado de montar, en el correspondiente molde o encofrado, el conjunto de armaduras normalizadas, ferrallas 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 este Código, se definen los tipos de armaduras de acuerdo con las especificaciones incluidas en la tabla 35.1.

Tabla 35.1 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 caracte-rísticas especiales de ductilidad	
Designación	AP 500 T	AP 400 S	AP 500 S	AP 400 SD	AP 500 SD
Alargamiento total bajo carga máxima, $\varepsilon_{máx}$ (%)(**)	-	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
Tipo de acero	-	B 400 S B 400 SD (*)	B 500 S B 500 SD (*)	B 400 SD	B 500 SD
Tipo de malla electrosoldada, en su caso, según 35.2.1	ME 500 T	ME 400 S ME 400 SD	ME 500 S ME 400 SD	ME 400 SD	ME 500 SD
Tipo de armadura básicas electrosoldada en celosía, en su caso, según 35.2.2	AB 500 T	AB 400 S AB 400 SD	AB 500 S AB 500 SD	AB 400 SD	AB 500 SD

(*) En el caso de ferralla armada AP 400 SD o AP 500 SD 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 49.3.2, se referirá a las especificaciones establecidas para dicho acero en la Tabla 34.2.a.

(**) Considerando lo expuesto en 34.2 para aceros suministrados en rollo, pueden aceptarse valores de $\varepsilon_{máx}$ 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), según UNE 36065 y UNE 36060.

35.2 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 los apartados 35.2.1 y 35.2.2, respectivamente.

35.2.1 Mallas electrosoldadas

En el ámbito de este Código, se entiende por malla electrosoldada la armadura formada por la disposición de barras o alambres de acero, 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.

Se entiende por mallas estándar las mallas electrosoldadas fabricadas conforme a las geometrías definidas en las normas UNE 36060, UNE 36061 y UNE 36092, y recogidas en las tablas 35.2.1.b, 35.2.1.c

y 35.2.1.d. Se entiende por mallas especiales las mallas electrosoldadas, distintas a las incluidas en las anteriores tablas, fabricadas conforme a los requisitos especificados por el usuario.

Las mallas electrosoldadas serán fabricadas, exclusivamente, a partir de barras o alambres de acero (ambos corrugados o grafilados), que no se mezclarán entre sí y deberán cumplir las exigencias establecidas para los mismos en el Artículo 34 de este Código.

La designación de las mallas electrosoldadas se realizará de la siguiente forma, conforme con lo indicado en el apartado 5.2 de la UNE-EN 10080:

En el caso de las MALLAS ESTANDAR:

a) Designación de la forma del producto (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) Diámetros de las armaduras longitudinal y transversal, expresados en milímetros, precedido por el símbolo ∅ y separados por un guion,

b.3) Las longitudes de los elementos longitudinales y transversales, respectivamente, expresadas en milímetros y unidas por el signo x,

b.4) Los sobrelargos indicando los salientes en ambos extremos en sentido longitudinal u_1/u_2 y transversal u_3/u_4 y, en su caso, longitud de la zona de ahorro P_A (zona de la malla en la que se modifica su estructura para no duplicar la sección resistente una vez efectuado el solapo de paneles en obra), separados por un guion y expresados en milímetros.

c) La designación del tipo de acero.

d) Referencia a la norma europea UNE-EN 10080.

En el caso de las MALLAS ESPECIALES, deben describirse utilizando las indicaciones siguientes y mediante un plano totalmente dimensionado que incluya todo lo indicado en el apartado b):

a) Designación de la forma del producto (ME ESPECIAL).

b) Dimensiones nominales del producto, solo en el caso de mallas especiales cuyos elementos longitudinales sean del mismo diámetro y longitud y cuya separación sea igual, y lo mismo ocurra con los elementos transversales (ver ejemplo).

b.1) Separaciones, expresadas en milímetros y separadas por el signo x, de los elementos longitudinales y transversales,

b.2) Diámetros de las armaduras longitudinal y transversal, expresados en milímetros, precedido por el símbolo ∅ y separados por un guion,

b.3) Las longitudes de los elementos longitudinales y transversales, respectivamente, expresadas en milímetros y unidas por el signo x,

b.4) Los sobrelargos indicando los salientes en ambos extremos en sentido longitudinal u_1/u_2 y transversal u_3/u_4 y, en su caso, longitud de la zona de ahorro P_A (zona de la malla en la que se modifica su estructura para no duplicar la sección resistente una vez efectuado el solapo de paneles en obra), separados por un guion y expresados en milímetros.

En el caso de mallas especiales con diseño complejo, no será necesario incluir estas dimensiones nominales del producto en la designación, ya que quedarán totalmente definidas en el plano dimensionado.

c) La designación del tipo de acero.

d) Referencia a la norma europea UNE-EN 10080.

e) Referencia de usuario: la referencia de usuario incluirá el proyecto u obra al que va destinado y el número o referencia del plano dimensionado de la malla firmado por el solicitante.

A los efectos de este Código, se definen los tipos de mallas electrosoldadas incluidos en la tabla 35.2.1.a, en función del acero con el que están fabricadas.

Tabla 35.2.1.a Tipos de mallas electrosoldadas

Tipos de mallas electrosoldadas	ME 500 SD	ME 400 SD	ME 500 S	ME 400 S	ME 500 T
Tipo de acero	B 500 SD, según 34.2	B 400 SD, según 34.2	B 500 S, según 34.2	B 400 S, según 34.2	B 500 T, según 34.2

La composición geométrica de las mallas estándar debe ser la siguiente:

- Para los tipos de mallas ME400SD y ME500SD la especificada en la tabla 35.2.1.b.
- Para los tipos de mallas ME400S y ME500S la especificada en la tabla 35.2.1.c.
- Para los tipos de mallas ME500T la especificada en la tabla 35.2.1.d.

Tabla 35.2.1.b Mallas estándar ME400SD Y ME500SD

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm^2/m)		Nº barras		u_1 (mm)	u_2 (mm)	u_3 (mm)	u_4 (mm)	Masa nominal del panel	
P_L	P_C	d_L	d_C	A_L	A_C	N_L	N_C					Kg/ panel	Kg/m^2
150	150	6,0	6,0	1,89	1,89	12	38	300	150	400	150	34,54	2,617
200	200	6,0	6,0	1,42	1,42	9	28	400	200	400	200	25,66	1,944
150	150	8,0	8,0	3,35	3,35	12	37	450	150	400	150	60,59	4,590
200	200	8,0	8,0	2,52	2,52	9	28	400	200	400	200	45,66	3,459
150	150	10,0	10,0	5,23	5,23	11	36	600	150	550	150	89,59	6,787
200	200	10,0	10,0	3,93	3,93	8	27	600	200	600	200	66,27	5,020
150	150	12,0	12,0	7,53	7,53	10	36	600	150	700	150	123,61	9,364
200	200	12,0	12,0	5,65	5,65	8	27	600	200	600	200	95,37	7,225
200	200	16,0	16,0	10,05	10,05	7	26	800	200	800	200	156,74	11,874

* Secciones teóricas por metro lineal correspondientes a la separación nominal entre barras (P_L; P_C).

NOTA: 1 Medidas estándar de los paneles 6000 mm x 2200 mm.

Tabla 35.2.1.c Mallas estándar ME400S Y ME500S

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm^2/m)		Nº barras		u_1 (mm)	u_2 (mm)	u_3 (mm)	u_4 (mm)	P_A (mm)	Masa nominal del panel	
P_L	P_C	d_L	d_C	A_L	A_C	N_L	N_C						Kg/ panel	Kg/m^2
150	150	6,0	6,0	1,89	1,89	12	40	75	75	125	125	300	35,52	2,691
200	200	6,0	6,0	1,42	1,42	9	30	100	100	100	100	400	26,64	2,018
150	150	8,0	8,0	3,35	3,35	11	40	75	75	200	200	300	60,83	4,608
200	200	8,0	8,0	2,52	2,52	8	30	100	100	200	200	400	45,03	3,411
150	150	10,0	10,0	5,23	5,23	11	40	75	75	200	200	300	95,02	7,198
200	200	10,0	10,0	3,93	3,93	8	30	100	100	200	200	400	70,34	5,329
150	150	12,0	12,0	7,53	7,53	9	40	75	75	350	350	300	126,10	9,553
200	200	12,0	12,0	5,65	5,65	7	30	100	100	300	300	400	95,90	7,265
200	200	16,0	16,0	10,05	10,05	7	30	100	100	300	300	400	170,64	12,927

* Secciones teóricas por metro lineal correspondientes a la separación nominal entre barras (P_L; P_C).

NOTA: 1 Medidas estándar de los paneles 6000 mm x 2200 mm.

Tabla 35.2.1.d Mallas estándar ME500T

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm^2/m)		Nº barras		u_1 (mm)	u_2 (mm)	u_3 (mm)	u_4 (mm)	P_A (mm)	Masa nominal del panel	
P_L	P_C	d_L	d_C	A_L	A_C	N_L	N_C						Kg/ panel	Kg/m^2
150	150	5,0	5,0	1,31	1,31	12	40	75	75	125	125	300	24,64	1,867
200	200	5,0	5,0	0,98	0,98	9	30	100	100	100	100	400	18,48	1,400
150	150	6,0	6,0	1,89	1,89	12	40	75	75	125	125	300	35,52	2,691
200	200	6,0	6,0	1,42	1,42	9	30	100	100	100	100	400	26,64	2,018
150	150	8,0	8,0	3,35	3,35	11	40	75	75	200	200	300	60,83	4,608
200	200	8,0	8,0	2,52	2,52	8	30	100	100	200	200	400	45,03	3,411
150	150	10,0	10,0	5,23	5,23	11	40	75	75	200	200	300	95,02	7,198
200	200	10,0	10,0	3,93	3,93	8	30	100	100	200	200	400	70,34	5,329
150	150	12,0	12,0	7,53	7,53	9	40	75	75	350	350	300	126,10	9,553
200	200	12,0	12,0	5,65	5,65	7	30	100	100	300	300	400	95,90	7,265
200	200	16,0	16,0	10,05	10,05	7	30	100	100	300	300	400	170,64	12,927
200	300	5,0	5,0	0,98	0,65	9	20	150	150	100	100	400	15,09	1,143
150	300	5,0	5,0	1,31	0,65	12	20	150	150	125	125	300	17,86	1,353
150	300	6,0	6,0	1,89	0,94	12	20	150	150	125	125	300	25,75	1,951
150	300	8,0	8,0	3,35	1,68	11	20	150	150	200	200	300	43,45	3,292

* Secciones teóricas por metro lineal correspondientes a la separación nominal entre barras (P_L; P_C).

NOTA: 1 Medidas estándar de los paneles 6000 mm x 2200 mm.

La nomenclatura empleada en las tablas es la siguiente:

- A_L Sección de acero longitudinal por metro lineal.
- A_C Sección de acero transversal por metro lineal.
- d_C Diámetro de los elementos transversales.
- d_L Diámetro de los elementos longitudinales.
- N_C Número de elementos transversales.
- N_L Número de elementos longitudinales.
- P_C Separación entre elementos transversales.
- P_L Separación entre elementos longitudinales.
- P_A Zona de ahorro, consiste en la ausencia del elemento longitudinal adyacente al de borde en ambos bordes longitudinales del panel.

u_1, u_2 Sobrelargo de los elementos longitudinales.

u_3, u_4 Sobrelargo de los elementos transversales.

La composición geométrica de las mallas especiales debe ser acordada entre fabricante y cliente. El número de elementos del panel debe ser el correspondiente a los valores nominales indicados en un plano totalmente dimensionado y deben identificarse mediante las referencias del usuario.

Las tolerancias dimensionales serán conformes con las establecidas en el apartado 7.3.5.2 de la norma UNE-EN 10080.

Las tolerancias en la separación de elementos no pueden en ningún caso provocar la disminución del número de elementos indicados en las tablas 35.2.1.a, 35.2.1.b y 35.2.1.c para las mallas estándar, o en los planos para las mallas especiales.

El valor nominal de la masa de los paneles está calculado con los valores de masa, de los elementos constituyentes, establecidos en la tabla 6 de la norma UNE-EN 10080.

El valor absoluto de la desviación de la masa, con relación al valor nominal de masa, no debe ser superior al 4,5%. Para los elementos constituyentes, el valor absoluto de la desviación de la masa por metro, con relación al valor nominal de masa por metro, no debe ser superior al 4,5%.

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 34. Además, las mallas electrosoldadas deberán cumplir que la carga de despegue (F_s) de las uniones soldadas cumpla el siguiente criterio:

$$\mathrm{Fs_{min}} \geq 0{,}25\ \mathrm{f_y A_n}$$

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 con características especiales de ductilidad (B400SD y B500SD) deberán cumplir los requisitos de la tabla 35.2.1.e en relación con el ensayo de fatiga según UNE-EN ISO 15630-2, así como los de la tabla 35.2.1.f, relativos al ensayo de carga cíclica.

El ensayo de carga cíclica consiste en someter a una probeta a tres ciclos completos de histéresis, simétricos y comprobar tras el mismo si se ha producido algún tipo de daño: rotura parcial o total, o bien la aparición de grietas transversales apreciables a simple vista.

Tabla 35.2.1.e Especificación del ensayo de fatiga

Característica	B400SD	B500SD
Número de ciclos que debe soportar la probeta sin romperse.	≥ 2 millones	
Tensión máxima, $\sigma_{máx}$= 0,6 f_y nominal (N/mm^2)	240	300
Amplitud, $2\sigma_a = \sigma_{máx}-\sigma_{mín}$ (N/mm^2)	100	

Frecuencia, f (Hz)	1 ≤ f ≤ 200
Longitud libre entre mordazas, (mm)	≥ 14 d ≥ 140 mm (la mayor de ambas)

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

Tabla 35.2.1.f Especificación del ensayo de carga cíclica

Diámetro nominal (mm)	Longitud libre entre mordazas	Deformaciones máximas de tracción y compresión (%)	Número de ciclos completos simétricos de histéresis	Frecuencia f (Hz)
d ≤ 16	5 d	± 4	3	1≤ f ≤ 3
d=20	10 d	± 2,5		
d ≥ 25	15 d	±1,5		

donde:

d Diámetro nominal de barra, en mm.

35.2.2 Armaduras básicas electrosoldadas en celosía

En el ámbito de este Código, 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 o grafilado, y una serie de elementos transversales, lisos o corrugados o grafilados, 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 conformes con el apartado 34.2 o alambres, de acuerdo con el apartado 34.3, mientras que los elementos transversales de conexión se elaborarán a partir de alambres, conformes con el apartado 34.3.

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

A los efectos de este Código, se definen los tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía incluidas en la tabla 35.2.2.

Tabla 35.2.2 Tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía

Tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía	AB 500 SD	AB 400 SD	AB 500 S	AB 400 S	AB 500 T
Tipo de acero de los cordones longitudinales	B500SD, según 34.2	B400SD, según 34.2	B500S, según 34.2	B400S, según 34.2	B500T, según 34.3

Además, se cumplirá que la carga de despegue (F_w) de las uniones soldadas, ensayadas según UNE-EN 10080 Anejo B, cumpla al menos uno de los dos criterios:

$$Fw_{\min} \geq 0,25 \cdot f_{yL} \cdot A_{nL}$$

$$Fw_{\min} \geq 0,60 \cdot f_{yD} \cdot A_{nD}$$

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.

35.3 Ferralla

En el ámbito de este Código, se define como:

- ferralla 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 conforme con el apartado 34.2 o, en su caso, a partir de mallas electrosoldadas conformes con el apartado 35.2.1.
- ferralla armada, el resultado de aplicar a las ferrallas 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 pasivas se recogen en el Artículo 49 de este Código.

Artículo 36 Aceros para armaduras activas

36.1 Generalidades

A los efectos de este Código, 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 36.1.a se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres (figura 36.1) según la norma UNE 36094.
- 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 norma UNE 36094). 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 o 7 alambres.

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 36.1.b se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres para cordones según la norma UNE 36094.

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 36.1.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 36.1.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*

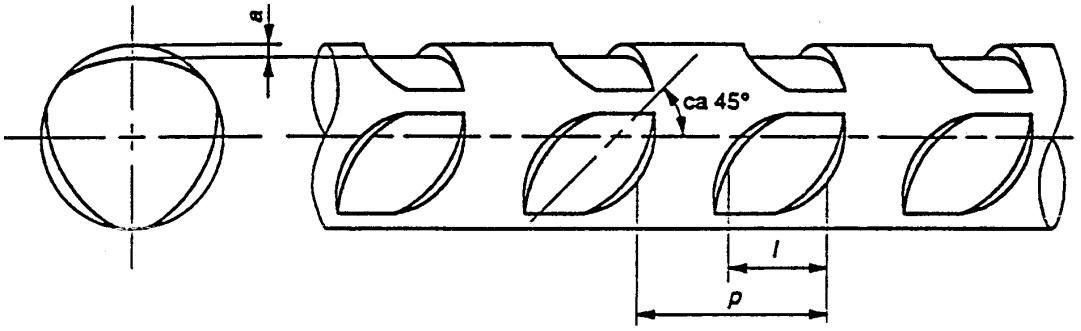


Figura 36.1 Grafilas

36.2 Características mecánicas

A los efectos de este Código, 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_p).

b) Límite elástico convencional ($f_{p0,1}$) y ($f_{p0,2}$).

c) Alargamiento bajo carga máxima (ε_u).

d) Módulo de elasticidad (E_p).

e) Estricción (η), expresada en porcentaje.

f) Aptitud al doblado alternativo (solo para alambres).

g) Relajación.

h) Resistencia a la fatiga.

i) Susceptibilidad a la corrosión bajo tensión.

j) Resistencia a la tracción desviada (solo 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).

La relajación a las 1.000 horas, según UNE-EN ISO 15630-3, a temperatura de 20ºC ± 1ºC, para una tensión inicial igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima real no será superior al 2,5 por 100 y para una tensión inicial igual al 80 por 100 de la carga unitaria máxima real no será superior al 4,5 por 100 (cordones y alambres enderezados con tratamiento de estabilización).

El ensayo adoptado para conocer la susceptibilidad del acero a la corrosión bajo tensión, es el ensayo de tiocianato amónico, según UNE-EN ISO 15630-3. En este ensayo se considera suficiente la resistencia a corrosión bajo tensión de un acero de pretensado, si la duración mínima y la media de un conjunto de al menos seis probetas satisfacen los requisitos indicados en la tabla 36.2.a.

Tabla 36.2.a Duraciones mínimas en el ensayo de tiocianato amónico

Tipo de armadura	Tiempo de rotura mínimo (horas)	Tiempo de rotura medio (horas)
Alambres	1,5	4
Cordones	1,5	4
Barras de pretensado Diámetro 16 a 25 mm	60	250
Barras de pretensado Diámetro superior a 25 mm	100	400

NOTA 1: Estos valores corresponden a una carga de ensayo del 80% de la carga media de rotura.

Como ensayo complementario, en caso de requerirlo el autor del proyecto, respecto a la corrosión bajo tensión, la medida de tensiones residuales longitudinales, realizada con arreglo a la norma UNE-EN 15305, confirma una resistencia adecuada a la corrosión bajo tensión, si la suma del valor medio y de 0,84 veces la desviación típica, de una serie de 12 o más medidas de dichas tensiones, no supera los 100 N/mm^2 de tracción.

36.3 Alambres de pretensado

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

- La carga unitaria máxima fp no será inferior a los valores que figuran en la tabla 36.3.a.

Tabla 36.3.a Tipos de alambre de pretensado

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm.	Carga unitaria máxima $f_{máx}$ en N/mm² 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 fp0,2 estará comprendido entre el 0,85 y el 0,95 de la carga unitaria máxima fp. Esta relación deberán cumplirla no solo 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 ±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 norma UNE-EN ISO 15630-3 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 norma UNE-EN ISO 15630-3 no será inferior a lo indicado en la tabla 36.3.b.

Tabla 36.3.b. Número mínimo de doblados-desdoblados en el ensayo de doblado alternativo para alambres de pretensado

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

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 norma UNE 36094.

36.4 Barras de pretensado

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

- La carga unitaria máxima fp no será inferior a 980 N/mm2.

- El límite elástico fp0,2, estará comprendido entre el 75 y el 90 por 100 de la carga unitaria máxima fp. Esta relación deberán cumplirla no solo 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 ± 7 por 100.

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

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de 20ºC ± 1ºC 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 norma UNE-EN ISO 15630-3.

36.5 Cordones de pretensado

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

- La carga unitaria máxima fp no será inferior a los valores que figuran en la tabla 36.5.a en el caso de cordones de 2 o 3 alambres y en la tabla 36.5.b en el caso de cordones de 7 alambres.

Tabla 36.5.a Cordones de 2 o 3 alambres

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima f_p en N/mm^2 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 36.5.b Cordones de 7 alambres

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima f_p en N/mm^2
Y 1770 S7	16,0	1.770
Y 1860 S7	9,3-13,0-15,2-16,0	1.860

- El límite elástico fp0,2 estará comprendido entre el 0,88 y el 0,95 de la carga unitaria máxima fp. Esta limitación deberán cumplirla no solo 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 ± 7

por 100.

El valor del coeficiente de desviación *D* en el ensayo de tracción desviada, según UNE-EN ISO 15630-3, 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 norma UNE 36094.

Los alambres utilizados en los cordones soportarán el número de doblados y desdoblados indicados en el apartado 36.3.

Artículo 37 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 36 de este Código.

37.1 Sistemas de pretensado

En el caso de armaduras activas postesadas, solo podrán utilizarse los sistemas de pretensado que cumplan los requisitos establecidos en el documento de evaluación europeo, elaborado específicamente para cada sistema por un organismo autorizado en el ámbito del Reglamento (UE) Nº 305/2011, de 9 de marzo de 2011y de conformidad con el Documento de Evaluación Europeo 160004-00-0301 elaborado por la European Organisation for Technical Assessment (EOTA), o bien demostrar un comportamiento equivalente.

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.

37.2 Dispositivos de anclaje y empalme de las armaduras postesas

37.2.1 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 al Documento de Evaluación Europeo, EAD 160004-00-301 elaborado por la European Organisation for Technical Assessment (EOTA).

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.

c) 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 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.

d) 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 norma UNE 41184.

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.

37.2.2 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.

37.3 Vainas y accesorios

37.3.1 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.

37.3.2 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 y UNE-EN 524.

  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 apartado 43.3.1).

En el caso de 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, pueden emplearse:

- 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 Φ
  (Φ = diámetro interior del tubo). Son doblados con medios mecánicos apropiados, pudiendo llegarse hasta radios mínimos en el entorno de 20 Φ 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 N/mm^2 en tubos de baja presión, en PE80, y de 1 N/mm^2 para tubos de alta presión en PE80 o PE100.

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

- Tubos de goma hinchables. Deben tener 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.

37.3.3 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 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.

37.4 Productos de inyección

37.4.1 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 los apartados 37.4.2 y 37.4.3.

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

37.4.2 Productos de inyección adherentes

En general, estos productos estarán constituidos por lechadas o morteros de cemento conformes con el apartado 37.4.2.2, cuyos componentes deberán cumplir lo especificado en el apartado 37.4.2.1. Podrán emplearse otros materiales como productos de inyección adherentes, siempre que cumplan los requisitos de 37.4.2.2. y se compruebe que no afectan negativamente a la pasividad del acero.

37.4.2.1 Materiales componentes

Los componentes de las lechadas y morteros de inyección deberán cumplir lo especificado en los Artículos 28, 29, 30 y 31 de este Código. 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 ± 2% para el cemento y los aditivos secos y adiciones y ± 1% para el agua y los aditivos líquidos.

- 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.

- Arena:

  Cuando se utilice arena fina 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, nitratos, formiatos y sulfuros y deben además cumplir los siguientes requisitos:

  - contenido $< 0{,}1\%$.
  - $Cl^- < 1$ g/l 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.

37.4.2.2 Requisitos de los productos de inyección.

Las lechadas y morteros de inyección deben cumplir:

- el contenido en cloruro (Cl-) según UNE-EN 447 no será superior a 0,1% de la masa de cemento,
- el contenido sulfato (expresado como SO3) según UNE-EN 196-2 no será superior a 4,5 % de la masa de cemento,
- el contenido en sulfuro (S2-) según UNE-EN 196-2 no será superior a 0,01% de la masa de cemento.

Además, las lechadas y morteros de inyección deben tener las siguientes propiedades.

- La fluidez puede ser medida mediante el método del cono o el de escurrimiento de la lechada,

según lo descrito en la norma UNE-EN 445.

En el caso en que sea medida mediante el método del cono, la fluidez debe ser menor que 25 s, tanto inmediatamente después del amasado como 30 minutos después de la mezcla.

La fluidez medida mediante el método de escurrimiento de la lechada (método idóneo para las lechadas tixotrópicas), debe ser mayor o igual que 140 mm, tanto inmediatamente después del amasado como 30 minutos después de la mezcla.

Además, los valores de fluidez obtenidos con uno u otro procedimiento de medida hasta 30 min después de la mezcla no deberán variar más de un 20% respecto al valor inicial obtenido inmediatamente después del amasado.

- La cantidad de agua exudada después de 3 h en reposo aplicando el método de la mecha inducida descrito en la norma UNE-EN 445 no debe ser superior al 0,3 % del volumen inicial de la lechada.
- La reducción de volumen determinada con el método descrito en la norma UNE-EN 445 no excederá del 1% o, en su caso, la expansión volumétrica será inferior al 5%.
- El tiempo inicial de fraguado no debe ser inferior a 3 y el tiempo final del fraguado no debe exceder de 24 h, determinados según UNE-EN 196-3.
- El fabricante deberá declarar la densidad en estado líquido de la lechada, determinada con el método descrito en la norma UNE-EN 445.
- En el ensayo granulométrico mediante tamizado de la lechada, según UNE-EN 445, no deberán aparecer grumos en el tamiz.
- Los requisitos citados (fluidez, cantidad de agua exudada, variación de volumen, tiempos de fraguado, densidad y ensayo granulométrico mediante tamizado) deberán cumplirse tanto para la temperatura mínima como para la máxima del rango de temperaturas de utilización especificado por el fabricante.
- La relación agua/cemento deberá ser menor o igual que 0,44.
- La resistencia a compresión determinada según UNE-EN 445 (en probetas prismáticas de 4x4x16 cm) debe ser mayor o igual que 27 N/mm² a los 7 días o que 30 N/mm² a los 28 días.

37.4.3 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 estas 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 estos aparezcan como parte del documento de idoneidad técnico europeo del sistema de pretensado, y por tanto, conformes con el Documento de Evaluación Europeo, EAD 160027-00-301.

Artículo 38 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 utilizadas conjuntamente con viguetas prefabricadas de hormigón deberán tener marcado CE (conforme a la serie de normas UNE-EN 15037).

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 no colaborantes pueden ser de cerámica, hormigón, poliestireno expandido u otros materiales suficientemente rígidos. Las piezas cumplirán con las condiciones establecidas a continuación:

- Resistencia a carga puntual/concentrada mínima según UNE-EN 15037-2 para piezas de hormigón, UNE-EN 15037-3 para piezas de arcilla cocida, UNE EN 15037-4 para piezas de poliestireno expandido utilizadas con viguetas prefabricadas y según UNE 53974 para aplicación con nervios hormigonados in situ, y UNE-EN 15037-5 para bovedillas ligeras, será superior a 1,5 kN. En cualquier caso, la resistencia al punzonamiento podrá ser superior a 1,0 kN, siempre que se realice un entablado continuo de los encofrados de forjados con vigueta prefabricada.
- En piezas de entrevigado cerámicas, la expansión media por humedad, ensayada según la norma UNE-EN 772-19 en 6 piezas, debe ser inferior a 0,6 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 SI1 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.

Artículo 39 Sistemas de protección para la mejora de la durabilidad

39.1 Definiciones

En el ámbito de los Artículos 39 a 41 de este Código, se entiende por producto el compuesto formulado para la reparación, protección o refuerzo de estructuras de hormigón.

Sistema es el conjunto de dos o más productos que se utilizan simultáneamente, o consecutivamente, para llevar a cabo la protección, reparación o refuerzo del hormigón.

Principio es el objetivo concreto buscado de entre las distintas opciones posibles que garantizarían la protección, reparación o refuerzo de la estructura. El principio o principios a alcanzar en cada caso se

elegirá a partir de la evaluación de las causas reales o potenciales del deterioro y de acuerdo con la estrategia de gestión adoptada para la estructura.

Método es el medio con el cual se pretende alcanzar un determinado principio, que generalmente se arbitra por medio de Procedimientos de Actuación.

39.2 Generalidades

Se entiende por sistemas de protección para la mejora de la durabilidad aquellos conjuntos de dos o más productos y técnicas que, una vez que han sido adecuadamente aplicados, conllevan una mejora de la durabilidad del hormigón. Estos sistemas pueden emplearse tanto en hormigón nuevo como en trabajos de mantenimiento y reparación.

El pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto definirá los sistemas de protección a utilizar, en su caso, tanto para el hormigón como para las armaduras, de acuerdo con la estrategia de durabilidad planteada para la estructura, así como los métodos para su aplicación.

Tanto en el pliego de prescripciones técnicas particulares como en el anejo de mantenimiento de la estructura se reflejará la vida útil prevista para el sistema de protección que, normalmente, será inferior de la prevista para la estructura. Además, se definirá la frecuencia y los criterios con los que en su caso, se deba reponer el grado de protección establecido en el proyecto.

39.3 Métodos de protección

En función de la estrategia de durabilidad adoptada en el proyecto, el autor del mismo definirá los principios de actuación y métodos a emplear, de acuerdo con las alternativas recogidas en la tabla 39.3.

Tabla 39.3 Principios y métodos para los sistemas de protección

Principios aplicables, de los referidos en UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P1. Protección contra la penetración. Reducción o prevención de la entrada de agentes adversos, como el agua, otros líquidos, vapor, gas, agentes químicos y biológicos.	Impregnación hidrófoba. Impregnación. Revestimiento (Incluyendo métodos de impermeabilización). Vendaje superficial de las fisuras.
P2. Control de humedad. Ajuste y mantenimiento del contenido de humedad en el hormigón dentro de un intervalo de valores especificado.	Impregnación hidrófoba. Impregnación Revestimiento superficial.
P5. Incremento de la resistencia física Incremento de la resistencia al ataque físico o mecánico.	Capas o revestimientos. Impregnación.
P6. Resistencia a los productos químicos. Incremento de la resistencia de la superficie del hormigón al deterioro por ataque químico.	Capas o revestimientos. Impregnación. Aplacados antiácidos.
P8. Incremento de la resistividad Incremento de la resistividad eléctrica del hormigón por limitación del contenido de humedad.	Limitación del contenido de humedad. Impregnación hidrófoba. Impregnación. Revestimiento.

P9. Control catódico. Creación de las condiciones para que las áreas potencialmente catódicas de la armadura hagan imposible alcanzar una reacción anódica.	Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos. Pintado de la armadura con revestimientos barrera. Aplicación de inhibidores al hormigón. Limitación del contenido en oxígeno (a nivel del cátodo) por saturación o por revestimiento superficial.
P10. Protección Catódica.	Ánodos de Sacrificio. Corriente impresa.
P11. Control de las zonas anódicas. Creación de condiciones para que las áreas potencialmente anódicas de la armadura hagan imposible una reacción de corrosión.	Revestimiento activo de la armadura. Revestimiento de protección de la armadura. Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos. Pintado de la armadura con revestimientos barrera. Aplicación de inhibidores de corrosión en o sobre el hormigón.

39.4 Sistemas de protección

Los sistemas de protección del hormigón pueden pertenecer a cualquiera de los tipos definidos en la norma UNE-EN 1504-2: impregnación hidrófoba, impregnación o revestimiento.

Los sistemas de protección contra la corrosión de las armaduras pueden pertenecer a cualquiera de los tipos definidos en la norma UNE-EN 1504-7: revestimientos activos o revestimientos barrera.

Además, pueden emplearse sistemas de protección específica para las armaduras activas o tirantes, que deberán ser propios del sistema de pretensado que se emplee durante la construcción. Cuando se utilicen métodos de protección catódica, mediante ánodos de sacrificio o por corriente impresa, estos deberán ser objeto de un estudio de dimensionamiento específico según el caso, que se incorporará al proyecto.

Podrán emplearse armaduras galvanizadas en caliente que cumplan los requisitos indicados en el apartado 43.3.1.6. Deberá evitarse su contacto con armaduras de acero convencional conforme a lo establecido en el apartado 43.4.3.

39.5 Productos de protección

39.5.1 Productos de protección del hormigón

En función de los principios y métodos identificados para el sistema de protección en el proyecto, los productos aplicados en el mismo deberán especificarse de acuerdo con las características definidas en la tabla 1 de la norma UNE-EN 1504-2.

Las impregnaciones hidrófobas deberán tener marcado CE conforme a la norma UNE-EN 1504-2; y en su Declaración de Prestaciones se deberán cumplir todos los requisitos esenciales indicados para este

tipo de productos en el anexo ZA de la citada norma. Las Clases indicadas en la norma para estos requisitos se elegirán de acuerdo a los siguientes criterios:

Tabla 39.5.1.a Criterios de selección de clase para impregnaciones hidrófobas

Tipo de ambiente (ver tabla 27.1.a)	Clase según profundidad de penetración medida de acuerdo a UNE-EN 1766	Clase según coeficiente de desecación de acuerdo a UNE-EN 13579
X0, XC1	Clase I: < 10 mm o Clase II: ≥ 10 mm	Clase I: < 10 mm o Clase II: ≥ 10 mm
XS1, XS2 y XS3 XD1, XD2 y XD3 XF1, XF2, XF3 y XF4 XC2, XC3 y XC4	Clase II: > 10 mm	Clase II: ≥ 10 mm

Este tipo de productos no es eficaz en condiciones de ataque químico (ambientes XA) ni de erosión (ambiente XM).

Las impregnaciones y revestimientos deberán tener marcado CE conforme a la norma UNE-EN 1504-2; y en función de su uso previsto, en su Declaración de Prestaciones se deberán cumplir todos los requisitos esenciales indicados para este tipo de productos en el anexo ZA de la citada norma. Las clases indicadas en la norma para estos requisitos se elegirán de acuerdo a los siguientes criterios:

a) Para el caso de impregnaciones o revestimientos se establecen los siguientes requisitos generales:

Tabla 39.5.1.b Criterios de selección de clase para impregnaciones y revestimientos

Característica	Método de ensayo	Requisitos en caso de revestimiento	Requisitos en caso de impregnación
Absorción capilar y permeabilidad al agua.	UNE-EN 1062-3	$w < 0,1$ (kg /m^2) $h^{0,5}$	$w < 0,1$ (kg /m^2)·$h^{0,5}$
Adhesión por tracción directa.	UNE-EN 1542	≥1,5 N/mm^2 (sistemas flexibles) ≥2,0 N/mm^2 (sistemas rígidos)	≥1,5 N/mm^2
Grado de penetración, en probetas cúbicas elaboradas según UNE-EN 1766, e impregnadas con el procedimiento del fabricante.	Según UNE-EN 14630, pero sustituyendo la fenolftaleína por agua. La profundidad de la zona seca, con una precisión de 0,5 mm, se considerará la profundidad efectiva de impregnación.	-	>10 mm (nota, UNE-EN 1504-2 exige ≥5mm)

A efectos de los requisitos de la tabla para la adhesión por tracción directa, se considera sistema de revestimiento flexible aquel que tiene una dureza Shore D<60 según UNE-EN ISO 868; y rígido el que supera ese valor.

b) En cuanto a la resistencia al impacto de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 6272-1, se elegirán las clases de acuerdo a las condiciones particulares del proyecto.

c) En el caso de que pueda existir cualquier tráfico de vehículos o personas sobre la superficie del hormigón, la resistencia al deslizamiento según UNE-EN 13036-4 será la que exija la reglamentación específica.

d) En cuanto a la permeabilidad al vapor de agua para impregnaciones (según UNE-EN ISO 7783), se elegirán las clases de acuerdo a qué parte de la estructura tiene mayor humedad relativa, según los siguientes requisitos:

Tabla 39.5.1.c Criterios de selección de clase para impregnaciones

Tipo de estructuras	Clase de impregnación
Estructuras en las que el interior del hormigón tendrá mayor humedad relativa que el exterior	Clase I: s_D < 5 m (permeable al vapor de agua)
Estructuras en las que el interior del hormigón tendrá una humedad relativa similar al exterior	Clase II: 5 m ≤ s_D ≤ 50 m
Estructuras en las que el interior del hormigón tendrá menor humedad relativa que el exterior	Clase III: s_D > 50 m (impermeable al vapor de agua)

Donde S_D es el espesor de la capa equivalente a la difusión del vapor de agua medida en el ensayo definido en la norma UNE-EN ISO 7783.

Dependiendo de su funcionalidad y uso, pueden precisarse requisitos adicionales. El autor del proyecto debe decidir si son relevantes en su obra en particular e incluirlos dentro de las especificaciones del proyecto.

En el caso de superficies sometidas a abrasión (pavimentos industriales, canales, etc.) las impregnaciones y revestimientos deberán cumplir los requisitos indicados en la tabla siguiente:

Tabla 39.5.1.d Requisitos para impregnaciones y revestimientos en superficies sometidas a abrasión

Característica	Método de ensayo	Requisitos en caso de revestimiento	Requisitos en caso de impregnación
Resistencia a la abrasión	UNE-EN ISO 5470-1	Pérdida de peso inferior a 3000 mg, con muela abrasiva tipo H22, de 1.000 ciclos de rotación y 1.000 g de carga.	Al menos 30% de aumento de la resistencia a la abrasión comparada con muestra no impregnada.
Resistencia al impacto	UNE-EN ISO 6272-1	Clase III > 20 Nm	Clase III > 20 Nm

39.5.2 Productos de protección de las armaduras

En función de los principios y métodos identificados para el sistema de protección en el proyecto, los productos aplicados en el mismo deberán especificarse de acuerdo con las características definidas en la tabla 1 de la norma UNE-EN 1504-7.

Estos productos deberán tener marcado CE conforme a la norma UNE-EN 1504-7; y en su Declaración de Prestaciones se deberán cumplir todos los requisitos esenciales indicados para este tipo de productos en el anexo ZA de la citada norma.

Además deberán ser compatibles, tanto química como mecánicamente, con los morteros de reparación que se coloquen posteriormente sobre ellos.

Artículo 40 Sistemas de reparación de estructuras de hormigón

40.1 Generalidades

Se entiende por sistemas de reparación de estructuras aquellos conjuntos de dos o más productos que, una vez que han sido convenientemente aplicados, permiten reparar los defectos de una parte o del total de la estructura existente; o habilitar una nueva vida útil de la misma, reponiendo la protección y las características mecánicas originales del elemento.

El pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto de reparación definirá los sistemas de reparación a utilizar y las especificaciones exigibles a cada uno de los productos que se deban emplear, así como los métodos para su aplicación.

40.2 Métodos de reparación

La selección del método de reparación deberá tener en cuenta la necesidad de garantizar la compatibilidad de las propiedades físicas, químicas, electroquímicas y dimensionales entre el producto de reparación y el substrato de hormigón.

En función de la estrategia de reparación adoptada en el proyecto, el autor del mismo definirá los principios de actuación y métodos de reparación de conformidad con lo indicado en la tabla 40.2, buscando la compatibilidad con las condiciones del soporte existente, con las condiciones ambientales del entorno y con la funcionalidad de la estructura.

Tabla 40.2 Principios y métodos para los sistemas de reparación

Principios aplicables, de los referidos en UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P1. Protección contra la penetración. Reducción o prevención de la entrada de agentes adversos como el agua, otros líquidos, vapor, gas, agentes químicos y biológicos.	Relleno de las fisuras. Sellado por inyección de resinas acuarreactivas. Sellado con masillas. Mineralizadores de base acuosa por cristalización capilar.
P3. Restauración del hormigón.	Aplicación manual de mortero.

Reparación de defectos, inyección de fisuras, reposición de partes dañadas, o habilitación de un nuevo periodo de vida útil (rehabilitación) reponiendo la protección y la resistencia mecánica originales del elemento.	Relleno con hormigón o mortero. Proyección de hormigón o mortero. Sustitución de elementos. Adición de mortero u hormigón. Inyección en las fisuras, huecos e intersticios. Relleno de las fisuras, huecos e intersticios.
P5. Incremento de la resistencia física. Incremento de la resistencia al ataque físico o mecánico.	Adición de mortero u hormigón.
P6. Resistencia a los productos químicos Incremento de la resistencia de la superficie del hormigón al deterioro por ataque químico.	Adición de mortero u hormigón.
P7. Preservación o restauración de la pasividad. Creación de condiciones para que las áreas potencialmente anódicas de la armadura hagan imposible una reacción de corrosión.	Aumento del recubrimiento con mortero u hormigón adicional. Sustitución del hormigón contaminado o carbonatado.

40.3 Sistemas de reparación

El autor del proyecto de reparación podrá emplear, en función de la problemática existente, una de las siguientes alternativas:

- La sustitución de elementos de la estructura.
- El empleo de productos como los utilizados para la construcción de nuevas estructuras, en cuyo caso será de aplicación lo indicado en los Artículos 28 a 38 de este Código, salvo indicación contraria en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto de reparación.
- El empleo de productos específicos para la reparación, de conformidad con lo indicado en la familia de normas UNE-EN 1504:
  - Relleno, sellado o inyección de fisuras, según UNE-EN 1504-5.
  - Adición de mortero u hormigón para el recrecido o reconstrucción de secciones, según UNE-EN 1504-3.

40.4 Productos de reparación

En el caso de empleo de productos específicos para la reparación, dichos productos deberán especificarse en el proyecto de acuerdo con las características definidas para cada caso en la tabla 1 de la norma UNE-EN 1504-3 (morteros de reparación) o de la norma UNE-EN 1504-5 (productos de inyección), en función de los principios y métodos identificados para el sistema de reparación.

40.4.1 Morteros de reparación

Los morteros que se utilicen para la reparación del hormigón deberán tener marcado CE conforme a la norma UNE-EN 1504-3, y en su Declaración de Prestaciones se deberán cumplir todos los requisitos esenciales indicados para este tipo de productos en el anexo ZA de la citada norma.

Se podrán utilizar morteros con cualquier tipo de ligante (de base cemento, orgánica o mixta), siempre y cuando cumplan los criterios y prestaciones indicados anteriormente.

Dentro de las clases incluidas en la tabla anteriormente indicada, solo podrán utilizarse morteros que cumplan las Clases R3 y R4 para reparación de hormigón estructural.

El criterio de elección entre las dos clases será la resistencia media del hormigón de la estructura a reparar, las condiciones de exposición y el tipo de solicitación, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 40.4.1.a. Clase de mortero de reparación según UNE-EN 1504-3 en función de la resistencia media del hormigón, las condiciones de exposición y el tipo de solicitación

Resistencia media del hormigón, condiciones de exposición y tipo de solicitación	Clase de mortero
Estructuras con hormigón de resistencia media inferior a 20 N/mm^2 en ambientes X0 y XC1 sometidas a acciones eminentemente estáticas.	R3
Estructuras con hormigón de resistencia media igual o superior a 20 N/mm^2 en ambientes X0 y XC1.	R3 o R4, debiendo superar la resistencia media del hormigón a reparar
Estructuras en ambientes distintos a X0 y XC1, o sometidas a acciones dinámicas.	R4

En el caso de que pueda existir cualquier tráfico de vehículos o personas sobre la superficie del hormigón, la resistencia al deslizamiento según UNE-EN 13036-4 será la que exija la reglamentación específica.

40.4.2 Productos de inyección

Los productos de inyección de fisuras para la reparación estructural del hormigón deben ser del tipo F (aptos para unirse al hormigón y transmitir esfuerzo a través de él) o tipo D (dúctiles, aptos para soportar un movimiento posterior). Estos productos deberán tener marcado CE conforme a la norma UNE-EN 1504-5; y en función del tipo que sean, en su Declaración de Prestaciones se deberán cumplir todos los requisitos esenciales indicados para ese tipo de productos en el anexo ZA de la citada norma.

Los productos tipo F deberán cumplir los requisitos de la tabla 3a de la norma UNE-EN 1504-5, y los tipo D los de la tabla 3b de dicha norma.

La elección del producto de inyección ha de hacerse en función de su inyectabilidad (para ello la norma UNE-EN 1504-5 establece los siguientes rangos: 0,1 mm – 0,2 mm – 0,3 mm – 0,5 mm - 0,8 mm) y de las condiciones en que son utilizables (temperatura, humedad, etc.). Esta información deberá venir indicada en el marcado CE del producto.

Se podrán utilizar productos con conglomerante polimérico (tipo P) o hidráulico (tipo H), según UNE-EN 1504-5.

Artículo 41 Sistemas de refuerzo de estructuras de hormigón

41.1 Generalidades

Se considera que se refuerza una estructura cuando se actúa sobre ella para aumentar su capacidad portante porque ésta es insuficiente para las acciones que se le exigen.

Se entiende por sistemas de refuerzo de estructuras aquellos conjuntos de dos o más productos que, una vez que han sido convenientemente aplicados, permiten reforzar un grupo de elementos o el total de la estructura ya construida, mejorando las prestaciones mecánicas originales.

El pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto de refuerzo definirá los sistemas de refuerzo a utilizar y las especificaciones exigibles a cada uno de los productos que se deban emplear, así como los métodos para su aplicación.

En general, para el refuerzo de las estructuras de hormigón, se podrán utilizar las siguientes alternativas:

a) Recrecido, con hormigón o morteros, de secciones de la totalidad o de, al menos, una parte de los elementos estructurales existentes,

b) refuerzo con elementos de acero estructural adheridos o no al hormigón, y

c) refuerzo con materiales distintos del hormigón y del acero estructural. En este caso, se incluyen los materiales compuestos a los que se refiere el apartado 41.4.1,

d) otras técnicas tales como disposición de estructuras auxiliares, modificación del esquema resistente a la estructura original, etc.

41.2 Métodos de refuerzo

La selección del método de refuerzo deberá tener en cuenta la necesidad de garantizar la compatibilidad de las propiedades físicas, químicas, electroquímicas y dimensionales entre el refuerzo y el substrato de hormigón.

En función de la estrategia de refuerzo adoptada en el proyecto, el autor del mismo definirá los principios de actuación y métodos de refuerzo de conformidad con lo indicado en la tabla 41.2. Estos principios serán compatibles con las condiciones del soporte existente, con las condiciones ambientales del entorno y con la funcionalidad de la estructura.

Tabla 41.2 Principios y métodos para los sistemas de refuerzo

Principios aplicables, de los referidos en UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P4. Refuerzo estructural. Incremento de la capacidad portante de un elemento de la estructura de hormigón.	Adición o sustitución de barras de armadura embebidas o externas. Adición de armadura anclada en agujeros preformados o taladrados. Adhesión de elementos de acero estructural de refuerzo. Pretensado (postesado). Refuerzo con elementos de acero estructural no adheridos. Adhesión de polímeros reforzados con fibras (de fibra de carbono, fibra de vidrio, etc.). Recrecido de sección de base cemento.

41.3 Sistemas de refuerzo

El autor del proyecto de refuerzo podrá emplear las siguientes alternativas:

- El empleo de productos como los utilizados para la construcción de nuevas estructuras, en cuyo caso será de aplicación lo indicado en los Artículos 28 a 39 de este Código, salvo indicación contraria en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto de refuerzo.
- El empleo de productos específicos para el refuerzo, de conformidad con lo indicado en la familia de normas UNE-EN 1504.
- El empleo de materiales poliméricos reforzados con fibras (FRP).

La utilización de materiales no incluidos en los puntos anteriores deberá justificarse mediante la documentación técnica oportuna.

41.4 Productos de refuerzo

En el caso de que así lo indique el proyecto de refuerzo en función del método elegido, el empleo de morteros, adhesivos, y productos para anclaje de armaduras de acero deberán especificarse de acuerdo con las características definidas en la tabla 1 de las normas UNE-EN 1504-3, UNE-EN 1504-4, o UNE-EN 1504-6 respectivamente.

Los morteros de refuerzo deberán cumplir las especificaciones del apartado 40.4.1.

41.4.1 Polímeros reforzados con fibras

Los polímeros reforzados con fibras son materiales compuestos formados por una mezcla de una matriz polimérica y un refuerzo formado por fibras, con una proporción que asegure unas propiedades mecánicas adecuada del material resultante.

Existen varios tipos y su clasificación depende tanto del tipo y origen de la fibra como del proceso de fabricación. Desde el punto de vista de la naturaleza de las fibras de refuerzo este Código contempla:

- Fibras de vidrio (GFRP).
- Fibras de carbono (CFRP).
- Fibras de aramida (AFRP).

Entre los productos de polímeros reforzados con fibras para el refuerzo de estructuras cabe distinguir entre:

- Tejido, que es una capa textil formada por fibras continuas entrelazadas. En aplicaciones estructurales usualmente hay una familia principal de fibras longitudinales, entrelazadas transversalmente con otra familia secundaria de fibras.
- Laminado pultruido, que es una banda endurecida laminada longitudinalmente con las fibras orientadas en ese mismo sentido.

El volumen de la fracción de fibras en los materiales compuestos habitualmente está comprendido entre:

- el 50% y el 70% en el caso de laminados preformados, y
- entre el 25% y el 35 % para el caso de uso de tejidos.

41.4.1.1 Matrices

La matriz tiene como función proteger las fibras de la abrasión o la corrosión ambiental, unir las fibras, y distribuir las cargas a las propias fibras. La matriz influye en varias propiedades mecánicas, tales como el módulo de deformación y la resistencia en la dirección normal a las fibras, la capacidad resistente a cortante y la capacidad resistente a compresión.

El autor del proyecto, en función de las características específicas del mismo deberá tener en cuenta: su resistencia, sus propiedades adhesivas, resistencia a la fatiga, resistencia química, su retracción y su módulo de deformación.

41.4.1.2 Fibras

Las fibras presentan unas condiciones de resistencia y rigidez diferentes en función de la relación entre la longitud del elemento y su diámetro. Las fibras para los materiales empleados en el refuerzo estructural habitualmente tienen unos diámetros comprendidos entre 5 y 20 μm, pudiendo disponerse como elementos de refuerzos uni o bidireccionales.

El fabricante garantizará el comportamiento de su producto, en función de las características de las fibras que utilice para su producción.

41.4.2 Adhesivos

Se entiende por adhesivo el material de unión entre el paramento de hormigón en el que se aplica el refuerzo y el elemento de refuerzo.

Los productos que se utilicen bien como adhesivos para el pegado estructural de elementos de refuerzo (como chapas metálicas o materiales compuestos), bien como adhesivos entre morteros u hormigones, deberán tener marcado CE conforme a la norma UNE-EN 1504-4; y en función de su uso previsto, en su Declaración de Prestaciones se deberán cumplir todos los requisitos esenciales indicados para ese tipo de productos en el anexo ZA de la citada norma.

Los adhesivos han de disponer de marcado CE.

Los adhesivos deberán cumplir los siguientes requisitos:

- capacidad de unión al elemento estructural,
- capacidad de sellado del substrato,
- no provocar pérdida de la matriz,
- capacidad tixotrópica que permita alcanzar una planeidad continua entre el soporte y el refuerzo.

Las fichas técnicas de materiales compuestos deberán establecer las propiedades del adhesivo a utilizar en función de las características de la estructura a reforzar.

Artículo 42 Morteros para juntas húmedas entre elementos prefabricados de hormigón, con función estructural

42.1 Tipos de mortero

Los tipos de mortero para juntas húmedas estructurales entre elementos prefabricados de hormigón pueden ser:

- De base cemento: Mortero monocomponente a base de cemento, con posibles adiciones (humo de sílice, resinas sintéticas, partículas metálicas, etc.).

  Son los de uso más frecuente. Se obtienen por amasado de mortero seco (con o sin árido fino, suministrado normalmente en sacos) con una cierta cantidad de agua, cuantificada por el fabricante del mortero.
- De base mixta: Mortero de 1 o 2 componentes, a base de cemento y resinas. En el caso de mortero monocomponente debe amasarse el producto con agua para su utilización. En el caso de mortero bicomponente deben mezclarse ambos componentes sin adición de agua.
- De base orgánica: Mortero de dos o tres componentes a base de resinas epoxi, fundamentalmente. Aparte de su utilización en anclajes de todo tipo y su posible aplicación como capa fina entre elementos conjugados, se suelen utilizar en juntas húmedas de extensión reducida o en puntos localizados de la junta con una misión específica.

Con todos los tipos, para su elaboración y aplicación, se deben seguir las instrucciones del fabricante del mortero.

42.2 Propiedades del mortero

Dependiendo de la función estructural que deba desarrollar la junta, el mortero de relleno deberá poseer unas propiedades determinadas:

- Resistencia a compresión.
- Resistencia a flexotracción.
- Ausencia de retracción.
- Homogeneidad y ausencia de grumos. La operación de amasado se prolongará hasta conseguir dicha homogeneidad. Dependiendo de la composición del mortero, la duración del amasado suele estar entre 2 y 5 minutos.

- Presencia limitada de burbujas. En juntas horizontales, o de pequeña inclinación, es importante que, tras su colocación rellenando la junta, el mortero no desprenda burbujas de aire (aire ocluido o aire incorporado en el amasado) que se acumulen en la superficie superior de la junta, entre el mortero y el elemento prefabricado superior. La superficie ocupada por estas burbujas impide el contacto mortero-prefabricado, pudiendo llegar a anular la transmisión del esfuerzo de compresión y rasante a través del mortero de la junta. Dependiendo de la importancia de estos esfuerzos se puede admitir un cierto porcentaje de la superficie ocupada por las burbujas.
- Fluidez, en su caso, que garantice el llenado completo de la junta. Debe tenerse en cuenta la geometría de la junta, su espesor, temperatura, relación agua/mortero seco, proceso de llenado, etc.