

# **CÓDIGO ESTRUCTURAL**

## **Título 2. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN**

# **Capítulo 7**

## **Criterios generales para las estructuras de hormigón**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 26</b>	<b>ÁMBITO DE APLICACIÓN ESPECÍFICO RELATIVO A LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN..</b>	<b>4</b>
<b>ARTÍCULO 27</b>	<b>CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....</b>	<b>4</b>
27.1	CLASES DE EXPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN .....	4
27.2	EXIGENCIAS ESPECÍFICAS DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.....	9

## **Artículo 26 Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras de hormigón**

Este Título es aplicable a todas las estructuras y elementos de hormigón estructural, de edificación o de obra pública, de conformidad con lo indicado en el ámbito de aplicación general definido en el Artículo 2 y con las excepciones siguientes:

- elementos estructurales mixtos compuestos por hormigón y cualquier otro material distinto del acero estructural con función resistente;
- las estructuras en las que la acción del pretensado se introduce mediante armaduras activas fuera del canto del elemento;
- las estructuras realizadas con hormigones especiales no considerados explícitamente en este Código, tales como los pesados, hormigones sin finos, los refractarios y los compuestos con serrines u otras sustancias análogas;
- las estructuras que hayan de estar expuestas normalmente a temperaturas superiores a 70°C;
- las cimentaciones profundas;
- las tuberías de hormigón empleadas para la distribución de cualquier tipo de fluido;
- depósitos a presión, plataformas offshore o balsas de almacenamiento de líquidos) y
- las presas.

Los elementos de hormigón estructural pueden ser construidos con hormigón en masa, armado o pretensado.

Cuando a la vista de las características de la obra definidas por la propiedad, la estructura pueda considerarse como una obra especial o singular (como por ejemplo, edificios altos), este Código será de aplicación con las adaptaciones y disposiciones adicionales que, bajo su responsabilidad, establezca el autor del proyecto para satisfacer las exigencias definidas en éste, con el mismo nivel de garantía.

## **Artículo 27 Criterios específicos para las estructuras de hormigón**

### **27.1 Clases de exposición de los elementos de hormigón**

A los efectos de este Código, se definen como clases de exposición relativas al hormigón estructural las recogidas en la tabla 27.1.a

Tabla 27.1.a Clases de exposición relativas al hormigón estructural

Designación de la clase	Descripción del entorno	Ejemplos informativos donde pueden existir las clases de exposición
<b>1. Sin riesgo de ataque por corrosión</b>		
X0	Para hormigón en masa: todas las exposiciones salvo donde haya ataque hielo/deshielo, abrasión o ataque químico. Para hormigón con armaduras en un ambiente muy seco.	Elementos de hormigón en masa Elementos de hormigón en interiores de edificios con una humedad muy baja. (HR<45%)
<b>2. Corrosión inducida por carbonatación</b>		
XC1	Seco o permanentemente húmedo.	Elementos de hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (tales como edificios), con humedad del aire baja. (HR<65%) Elementos de hormigón armado o pretensado permanentemente sumergido en agua no agresiva.
XC2	Húmedo, raramente seco.	Elementos de hormigón armado o pretensado permanentemente en contacto con agua o enterradas en suelos no agresivos (por ejemplo, cimentaciones).
XC3	Humedad moderada.	Elementos de hormigón armado o pretensado dentro de recintos cerrados (tales como edificios), con humedad media o alta. (HR>65%) Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, protegidos de la lluvia.
XC4	Sequedad y humedad cíclicas.	Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestos al contacto con el agua, de forma no permanente (por ejemplo, la procedente de la lluvia)
<b>3. Corrosión inducida por cloruros de origen no marino</b>		
XD1	Humedad moderada.	Elementos de hormigón armado o pretensado en el exterior, expuestas a aerosoles con iones cloruro con origen no marino.
XD2	Húmedo, raramente seco.	Piscinas. Elementos de hormigón armado o pretensado expuestos a aguas industriales que contienen cloruros
XD3	Ciclos humedad y secado.	Elementos de puentes expuestos a salpicaduras de aguas con cloruros, situados a menos de 10 metros de distancia horizontal o a menos de 5 metros de distancia vertical de una zona de rodadura donde se usen sales de deshielo. Elementos enterrados a menos de 1 metro del borde de una zona de rodadura donde se usen sales de deshielo. Losas en aparcamientos

Tabla 27.1.a (continuación). Clases de exposición relativas al hormigón estructural		
Designación de la clase	Descripción del entorno	Ejemplos informativos donde pueden existir las clases de exposición
<b>4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino</b>		
XS1	Expuestos a aerosoles marinos, pero no en contacto directo con el agua del mar.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado sometidos a los aerosoles marinos, ubicados en la costa o cerca de la costa.
XS2	Permanente y sumergida en agua de mar.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado permanentemente sumergidos en agua marina.
XS3	Zonas de carrera de mareas afectadas por el oleaje o salpicaduras.	Elementos estructurales de hormigón armado o pretensado situados en zona de carrera de mareas, afectadas por el oleaje o salpicaduras.
<b>5. Ataque hielo/deshielo</b>		
XF1	Saturación moderada, sin sales fundentes.	Elementos con superficies verticales expuestas a lluvia y helada (tales como fachadas y pilares). <sup>1</sup> Elementos con superficies horizontales no saturados, pero expuesto a lluvia y helada. <sup>1</sup>
XF2	Saturación moderada, con sales fundentes.	Mismo tipo de elementos que en la clase XF1, pero expuestos a sales fundentes, bien directamente o bien a sus salpicaduras y/o escorrentía (por ejemplo dinteles, pilas, cargaderos, etc.) <sup>1</sup>
XF3	Saturación alta, sin sales fundentes.	Elementos con superficies horizontales donde se pueda acumular el agua y estén expuestas a la helada. <sup>1</sup>
XF4	Saturación alta con sales fundentes o agua del mar.	Elementos con superficies horizontales donde se pueda acumular el agua y estén expuestas a la helada y sales fundentes, bien directamente o bien a sus salpicaduras. <sup>1</sup>
<b>6. Ataque químico</b>		
XA1	Ambiente de una débil agresividad química conforme a la tabla 27.1.b.	Terrenos naturales y aguas subterráneas.
XA2	Ambiente de una moderada agresividad química conforme a la tabla 27.1.b.	Terrenos naturales y aguas subterráneas.
XA3	Ambiente de una alta agresividad química conforme a la tabla 27.1.b.	Terrenos naturales y aguas subterráneas.

Tabla 27.1.a (continuación). Clases de exposición relativas al hormigón estructural		
Designación de la clase	Descripción del entorno	Ejemplos informativos donde pueden existir las clases de exposición
<b>7. Erosión</b>		
XM1	Elementos sometidos a erosión/abrasión moderada	Losas sometidas al tráfico de vehículos
XM2	Elementos sometidos a erosión/abrasión intensa	Losas en zonas industriales sometidas al tráfico de carretillas de horquillas con neumáticos.
XM3	Elementos sometidos a erosión/abrasión extrema	Losas en zonas industriales sometidas al tráfico de carretillas de horquillas con ruedas de acero o cadenas.

<sup>1</sup> El Autor del proyecto considerará que un elemento está expuesto a la helada cuando está ubicado en zonas con una humedad ambiental en invierno superior al 75% de humedad relativa y tenga una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C. Asimismo, considerará que es probable el uso de sales fundentes cuando el elemento esté ubicado en zonas con más de 5 nevadas anuales o con un valor medio de la temperatura media en invierno inferior a 0°C.

En general, la clase XS1 se aplicará en estructuras marinas aéreas ubicadas a menos de 5 km de la costa. No obstante, el autor del proyecto podrá, bajo su responsabilidad, adoptar una clase diferente siempre que disponga de datos experimentales de estructuras próximas ya existentes y ubicadas en condiciones similares a las de la estructura proyectada, que así lo aconsejen.

Tabla 27.1.b Clasificación de la agresividad química

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		XA1	XA2	XA3
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	VALOR DEL pH, según UNE 83952	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> AGRESIVO (mg CO <sub>2</sub> / l), según UNE-EN 13577	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / l), según UNE 83954	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg <sup>2+</sup> / l), según UNE 83955	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / l), según UNE 83956	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg / l), según UNE 83957	75 - 150	50 - 75	< 50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg), según UNE-EN 16502	> 200	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / kg de suelo seco), según UNE 83963	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

(\*) Estas condiciones no se dan en la práctica

La toma de muestras para la determinación del contenido de CO<sub>2</sub> agresivo requiere una preparación especial de los envases de recogida, según se recoge en la norma UNE-EN 13577. Para la determinación de ion amonio, la muestra se conservará refrigerada desde que finalice el muestreo hasta el inicio del ensayo.

Además, de las condiciones agresivas indicadas en las tablas 27.1.a y 27.1.b, se considerarán formas particulares de acción agresiva las siguientes:

- ataque químico específico derivado del uso del elemento estructural, en cuyo caso el proyecto establecerá las características del agente agresivo y la estrategia particular de durabilidad,
- ataque químico por reactividad álcali-árido, cuando concurren las circunstancias indicadas en 43.3.4.3, donde también se indica cómo actuar.

## 27.2 Exigencias específicas de las estructuras de hormigón

Además de las exigencias generales indicadas en el Artículo 5 las aberturas características de fisura no serán superiores a las aberturas máximas de fisura,  $w_{max}$  que figuran en la tabla 27.2

Tabla 27.2 Abertura máxima de la fisura

Clase de exposición	$w_{max}$ (mm)	
	Hormigón armado (para la combinación cuasi-permanente de acciones)	Hormigón pretensado (para la combinación frecuente de acciones)
X0 <sup>(2)</sup> , XC1 <sup>(2)</sup>	0,4	0,2
XC2, XC3, XF1,XF3,XC4	0,3	0,2 <sup>(1)</sup>
XS1, XS2, XD1, XD2, XD3, XF2, XF4, XA1 <sup>(3)</sup>	0,2	Descompresión
XS3, XA2 <sup>(3)</sup> , XA3 <sup>(3)</sup>	0,1	

(1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasi-permanente de acciones.

(2) Para las clases de exposición X0 y XC1, la abertura de fisura no influye normalmente en la durabilidad. Los valores recogidos en la tabla para estos casos se establecen para garantizar un aspecto aceptable.

(3) La limitación relativa a las clases XA1, XA2 y XA3 sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura.

# **Capítulo 8**

## **Estructuras de hormigón. Propiedades tecnológicas de los materiales**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 28</b>	<b>CEMENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>ARTÍCULO 29</b>	<b>AGUA</b> .....	<b>6</b>
<b>ARTÍCULO 30</b>	<b>ÁRIDOS</b> .....	<b>7</b>
30.1	GENERALIDADES .....	7
30.2	DESIGNACIÓN DE LOS ÁRIDOS .....	8
30.3	TAMAÑOS MÁXIMO Y MÍNIMO DE UN ÁRIDO.....	8
30.3.1	<i>Limitaciones del árido grueso para la fabricación del hormigón</i> .....	9
30.4	GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS .....	10
30.4.1	<i>Condiciones granulométricas del árido fino total</i> .....	10
30.4.2	<i>Calidad de los finos de los áridos</i> .....	11
30.5	FORMA DEL ÁRIDO GRUESO .....	12
30.6	REQUISITOS FÍSICO-MECÁNICOS .....	12
30.7	REQUISITOS QUÍMICOS .....	13
30.7.1	<i>Cloruros</i> .....	14
30.7.2	<i>Sulfatos solubles en ácido</i> .....	14
30.7.3	<i>Compuestos totales de azufre</i> .....	14
30.7.4	<i>Materia orgánica. Compuestos que alteran la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón</i> .....	15
30.7.5	<i>Reactividad álcali-árido</i> .....	15
30.8	ÁRIDOS RECICLADOS .....	15
30.8.1	<i>Generalidades</i> .....	15
30.8.2	<i>Designación de los áridos</i> .....	16
30.8.3	<i>Requisitos físico mecánicos</i> .....	16
30.8.3.1	<i>Condiciones físico-mecánicas</i> .....	16
30.8.4	<i>Requisitos de composición del árido reciclado</i> .....	17
30.8.4.1	<i>Reactividad álcali-árido</i> .....	17
30.9	ÁRIDOS SIDERÚRGICOS .....	17
<b>ARTÍCULO 31</b>	<b>ADITIVOS</b> .....	<b>17</b>
31.1	GENERALIDADES .....	17
31.2	TIPOS DE ADITIVOS .....	18
<b>ARTÍCULO 32</b>	<b>ADICIONES</b> .....	<b>19</b>
32.1	PRESCRIPCIONES Y ENSAYOS DE LAS CENIZAS VOLANTES.....	20
32.2	PRESCRIPCIONES Y ENSAYOS DEL HUMO DE SÍLICE.....	21
<b>ARTÍCULO 33</b>	<b>HORMIGONES</b> .....	<b>22</b>
33.1	COMPOSICIÓN .....	22
33.2	CONDICIONES DE CALIDAD.....	22
33.3	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	23
33.4	VALOR MÍNIMO DE LA RESISTENCIA .....	23
33.5	DOCILIDAD DEL HORMIGÓN .....	24
33.6	TIPIFICACIÓN DE LOS HORMIGONES .....	25
<b>ARTÍCULO 34</b>	<b>ACEROS PARA ARMADURAS PASIVAS</b> .....	<b>28</b>
34.1	GENERALIDADES .....	28
34.2	BARRAS Y ROLLOS DE ACERO SOLDABLE .....	29
34.3	ALAMBRES DE ACERO .....	33

34.4	BARRAS, ROLLOS Y ALAMBRES DE ACERO SOLDABLE INOXIDABLE.....	35
<b>ARTÍCULO 35</b>	<b>ARMADURAS PASIVAS.....</b>	<b>35</b>
35.1	GENERALIDADES .....	35
35.2	ARMADURAS NORMALIZADAS .....	36
35.2.1	<i>Mallas electrosoldadas.....</i>	36
35.2.2	<i>Armaduras básicas electrosoldadas en celosía .....</i>	42
35.3	FERRALLA ARMADA.....	43
<b>ARTÍCULO 36</b>	<b>ACEROS PARA ARMADURAS ACTIVAS .....</b>	<b>43</b>
36.1	GENERALIDADES .....	43
36.2	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	45
36.3	ALAMBRES DE PRETENSADO.....	46
36.4	BARRAS DE PRETENSADO .....	47
36.5	CORDONES DE PRETENSADO .....	48
<b>ARTÍCULO 37</b>	<b>ARMADURAS ACTIVAS .....</b>	<b>49</b>
37.1	SISTEMAS DE PRETENSADO .....	49
37.2	DISPOSITIVOS DE ANCLAJE Y EMPALME DE LAS ARMADURAS POSTESAS .....	50
37.2.1	<i>Características de los anclajes .....</i>	50
37.2.2	<i>Elementos de empalme .....</i>	50
37.3	VAINAS Y ACCESORIOS.....	51
37.3.1	<i>Vainas.....</i>	51
37.3.2	<i>Tipos de vainas y criterios de selección .....</i>	51
37.3.3	<i>Accesorios.....</i>	52
37.4	PRODUCTOS DE INYECCIÓN.....	53
37.4.1	<i>Generalidades.....</i>	53
37.4.2	<i>Productos de inyección adherentes .....</i>	53
37.4.2.1	<i>Materiales componentes.....</i>	54
37.4.2.2	<i>Requisitos de los productos de inyección.....</i>	54
37.4.3	<i>Productos de inyección no adherentes .....</i>	55
<b>ARTÍCULO 38</b>	<b>PIEZAS DE ENTREVIGADO EN FORJADOS .....</b>	<b>56</b>
<b>ARTÍCULO 39</b>	<b>SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA LA MEJORA DE LA DURABILIDAD .....</b>	<b>57</b>
39.1	DEFINICIONES.....	57
39.2	GENERALIDADES .....	57
39.3	MÉTODOS DE PROTECCIÓN.....	57
39.4	SISTEMAS DE PROTECCIÓN.....	58
39.5	PRODUCTOS DE PROTECCIÓN .....	59
39.5.1	<i>Productos de protección del hormigón.....</i>	59
39.5.2	<i>Productos de protección de las armaduras .....</i>	61
<b>ARTÍCULO 40</b>	<b>SISTEMAS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....</b>	<b>62</b>
40.1	GENERALIDADES .....	62
40.2	MÉTODOS DE REPARACIÓN.....	62
40.3	SISTEMAS DE REPARACIÓN .....	63
40.4	PRODUCTOS DE REPARACIÓN .....	64
40.4.1	<i>Morteros de reparación.....</i>	64
40.4.2	<i>Productos de inyección .....</i>	65
<b>ARTÍCULO 41</b>	<b>SISTEMAS DE REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....</b>	<b>65</b>

## CÓDIGO ESTRUCTURAL

### Capítulo 8. Estructuras de hormigón. Propiedades tecnológicas de los materiales

---

41.1	GENERALIDADES .....	65
41.2	MÉTODOS DE REFUERZO .....	66
41.3	SISTEMAS DE REFUERZO .....	66
41.4	PRODUCTOS DE REFUERZO .....	66
41.4.1	<i>Polímeros reforzados con fibras</i> .....	67
41.4.1.1	Matrices.....	67
41.4.1.2	Fibras .....	67
41.4.2	<i>Adhesivos</i> .....	68
<b>ARTÍCULO 42</b>	<b>MORTEROS PARA JUNTAS HÚMEDAS ENTRE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN, CON FUNCIÓN ESTRUCTURAL.....</b>	<b>68</b>
42.1	TIPOS DE MORTERO .....	68
42.2	PROPIEDADES DEL MORTERO .....	69

## 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	$\geq 5$	UNE 83952
Sulfatos (en general), expresado en $\text{SO}_4^{2-}$	$\leq 1 \text{ g/l}$	UNE 83956
Sulfatos (cementos SRC y SR), expresado en $\text{SO}_4^{2-}$	$\leq 5 \text{ g/l}$	
Ion cloruro	$\leq 1 \text{ g/l}$	UNE 83958
a) hormigón pretensado b) hormigón armado y hormigón en masa con armaduras para evitar fisuración	$\leq 2 \text{ g/l}$	
Álcalis, expresado en $\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv}}^{(1)}$ ( $\text{Na}_2\text{O} +$	$\leq 1,5 \text{ g/l}$	

0,658 K <sub>2</sub> O)		
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 sólo en el caso de que se acredite haber medidas para evitar posibles reacciones álcali-árido

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

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

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

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

donde:

$M$  Masa de finos presente en el agua, en g/cm<sup>3</sup>.

$d_a$  Densidad del agua en g/cm<sup>3</sup>.

$d_f$  Densidad del fino, en g/cm<sup>3</sup>.

En relación con el contenido de finos 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<sup>3</sup>, 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  $\mu m$ .

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 siderúrgicas 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 áridos siderúrgicos, 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 33.3 (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 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 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  $45^\circ$  con la dirección de hormigonado.
- b) 1,25 veces la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que  $45^\circ$  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<sub>c</sub>90/15 o G<sub>c</sub>85/20, mientras que el árido fino será de categoría G<sub>F</sub>85.

#### **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 caso contrario, deberá comprobarse que se cumple la especificación relativa a la limitación del contenido total de finos en el hormigón recogido en el apartado 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. <sup>(1)</sup>
	10%	$f_{10}$	– Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases de exposición XS, XD, XA, XF o XM. <sup>(1)</sup> – Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición X0 o XC y no sometidas a ninguna de las clases de exposición XA, XF o XM. <sup>(1)</sup>
	16%	$f_{16}$	– Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición X0 o XC y no sometidas a ninguna de las clases específicas de exposición XA, XF o XM. <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> 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 (SE<sub>4</sub>), 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<sub>4</sub>70), para obras sometidas a la clase general de exposición X0 o XC y que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición.

b) 75 (Categoría SE<sub>475</sub>), 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 a clases generales de exposición XO o XC, que no estén sometidas a ninguna clase específica de exposición,

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

- 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,

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

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

### 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<sub>35</sub>).

### 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):  $\leq 40$  (Categoría LA<sub>40</sub>).
- Absorción de agua por los áridos, determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE-EN 1097-6:  $\leq 5\%$ .

Para la fabricación de hormigón en masa o armado, de resistencia característica especificada no superior a 30 N/mm<sup>2</sup>, podrán utilizarse áridos gruesos con una resistencia a la fragmentación  $\leq 50$  (LA<sub>50</sub>), 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<sub>18</sub>).

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 <sup>(*)</sup>
Sulfatos solubles en ácidos, expresados en SO <sub>3</sub> y referidos al árido seco, determinados según el método de ensayo indicado en el apartado 12 de UNE-EN 1744-1		0,80 (AS <sub>0,8</sub> )	0,80 (AS <sub>0,8</sub> ) <sup>(**)</sup>
Cloruros expresados en Cl <sup>-</sup> 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.

(\*\*) Este valor será del 1% (AS<sub>1,0</sub>) en el caso de escorias de horno alto enfriadas al aire.

### 30.7.1 Cloruros

El contenido en ion cloruro (Cl<sup>-</sup>) 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<sup>-</sup>, 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<sub>3</sub> 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 UNE-EN 1744-1, se determinará su efecto sobre el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión, de conformidad con el apartado 15.3 de la norma UNE-EN 1744-1. El mortero preparado con estos áridos deberá cumplir que:

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

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

#### **30.7.5 Reactividad álcali-árido**

Para ambientes diferentes al X0, XC1 o XC2, 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-silíce o álcali-silicato, se debe realizar el ensayo descrito en la UNE 146508 EX (método acelerado en probetas de mortero).

Si del estudio petrográfico del árido se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-carbonato, se debe realizar el ensayo descrito en la UNE 146507-2 EX. En el caso de mezcla, natural o artificial, de áridos calizos y silíceos, este ensayo se realizará sobre la fracción calizo-dolomítica del árido.

Si a partir de los resultados de algunos de los ensayos 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 EX, 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 hormigón reciclado (HR) el hormigón fabricado con árido procedente del machaqueo de residuos de hormigón,

permitiéndose únicamente la utilización de árido grueso reciclado y en los términos recogidos en el presente artículo.

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.

El árido grueso reciclado puede emplearse tanto para hormigón en masa como hormigón armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm<sup>2</sup>, 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 <sub>cu</sub> 95	≥95%
Partículas ligeras	FL <sub>2</sub> -	≤2%
Materiales bituminosos	Ra <sub>1</sub> -	≤1%
Otros materiales (arcilla, vidrio, plásticos, metales, etc.).	XRg <sub>0,5</sub> -	≤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, entendiéndose 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 30.7.6 para los áridos considerados potencialmente reactivos.

**30.9 Áridos siderúrgicos**

En los áridos siderúrgicos (como, por ejemplo, escorias siderúrgicas cristalizadas de horno alto), 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:

- c) 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.
- d) 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 cinco 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.

Otros tipos de cenizas como las de co-combustión, 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.

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 sólo 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, por ejemplo, mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

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

En aplicaciones concretas de hormigón de alta resistencia, fabricado con cemento tipo CEM I, se permite la adición simultánea de cenizas volantes y humo de sílice, siempre que el porcentaje de humo de sílice no sea superior al 10% y que el porcentaje total de adiciones (cenizas volantes y humo de sílice) no sea superior al 20%, en ambos casos respecto al peso de cemento. En este caso la ceniza volante sólo se contempla a efecto de mejorar la compacidad y reología del hormigón, sin que se contabilice como parte del conglomerante mediante su coeficiente de eficacia *K*. En elementos no pretensados en estructuras de edificación, la cantidad máxima de cenizas volantes adicionadas no excederá del 35% del peso de cemento, mientras que la cantidad máxima de humo de sílice adicionado no excederá del 10% del peso de cemento. La cantidad mínima de cemento se especifica en el apartado 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 ( $\text{SO}_3$ ), según UNE-EN 196-2  $\leq 3,0\%$
  - Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), según UNE-EN 196-2  $\leq 0,10\%$
  - Óxido de calcio libre, según UNE-EN 451-1  $\leq 1,5\%$
  - Óxido de calcio reactivo, según UNE-EN 451-1  $\leq 10\%$
  - Pérdida por calcinación, según UNE-EN 196-2 (categoría A)  $\leq 5,0\%$
  - Finura, según UNE-EN 451-2.
    - Cantidad retenida por el tamiz de  $45 \mu\text{m}$  (Clase N)  $\leq 40\%$
    - Cantidad retenida por el tamiz de  $45 \mu\text{m}$  (Clase S)  $\leq 12\%$
  - Demanda de agua, según UNE-EN 451-2 (Clase S)  $\leq 95\%$
  - Índice de actividad resistente, según UNE-EN 196-1
    - a los 28 días  $\geq 75\%$
    - a los 90 días  $\geq 85\%$
  - Estabilidad de volumen, según UNE-EN 196-3  $< 10\text{mm}$

La especificación relativa a la expansión sólo 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 sólo 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 (sujeto a la norma UNE-EN 13263-1+A1) y la declaración de prestaciones (DdP) deberá recoger los siguientes requisitos esenciales:

- Dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), 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,  $\text{CaO}$  (I)  $\leq 1,0\%$
- Sulfatos, expresado en  $\text{SO}_3$   $\leq 2,0\%$
- Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), según UNE-EN 196-2  $\leq 0,3\%$
- Superficie específica, según ISO 9277 ( $S_e$ , en  $\text{m}^2/\text{g}$ )  $15,0 \leq S_e \leq 35,0$

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 (véase 43.3.1):

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

La cantidad total de finos en el hormigón, resultante de sumar el contenido de partículas del árido grueso y del árido fino que pasan por el tamiz UNE 0,063 y la componente caliza, en su caso, del cemento, deberá ser inferior a 200 kg/m<sup>3</sup>. En el caso de emplearse agua reciclada, de acuerdo con el Artículo 29, dicho límite podrá incrementarse hasta 210 kg/m<sup>3</sup>. Exclusivamente para el caso de los hormigones autocompactantes, el límite podrá elevarse a 250 kg/m<sup>3</sup>.

### 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<sup>2</sup>.

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/mm<sup>2</sup> en hormigones en masa, ni a 25 N/mm<sup>2</sup> en hormigones armados o pretensados.

Cuando el proyecto establezca, de acuerdo con el apartado 57.5.6, un control indirecto de la resistencia en estructuras de hormigón en masa o armado para obras de ingeniería de pequeña importancia, en edificios de viviendas de una o dos plantas con luces inferiores a 6,0 metros, o en elementos que trabajen a flexión de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas también con luces inferiores a 6,0 metros, deberá adoptarse un valor de la resistencia de cálculo a compresión  $f_{cd}$  no superior a 10 N/mm<sup>2</sup>. 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 coqueas.

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.

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

En el caso de hormigones autocompactantes se 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
Escurrecimiento	$SF$	550 mm – 850 mm
Viscosidad	$t_v$	$\leq 25$ s
Capacidad de paso	$PL$	$\geq 0,80$
	$PJ$	$\leq 10$ mm
Resistencia a la segregación	$SR$	$\leq 20\%$

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/mm<sup>2</sup>.
- 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/mm<sup>2</sup>.

La resistencia de 20 N/mm<sup>2</sup> se limita en su utilización a hormigones en masa. En el caso de hormigones reciclados, la resistencia característica no será superior a 40 N/mm<sup>2</sup>.

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 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/IIIa), 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-E, AC-V, AC-CP y AC-RS, 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	Escurrecimiento, <i>SF</i> , 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, <i>PL</i> 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, <i>PJ</i> 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, <i>SR</i> , ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-8 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 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<sup>2</sup>, 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

Sólo 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 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 <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>		≥ 400	≥ 500	≥ 400	≥ 500
Carga unitaria de rotura, $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>		≥ 440	≥ 550	≥ 480	≥ 575
Alargamiento de rotura, $\epsilon_{u,5}$ (%)		≥ 14	≥ 12	≥ 20	≥ 16
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{máx}$ (%)	acero suministrado en barra	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 7,5	≥ 7,5
	acero suministrado en rollo <sup>(3)</sup>	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0	≥ 10,0
Relación $f_s/f_y$ <sup>(2)</sup>		≥ 1,08	≥ 1,08	$1,20 \leq f_s/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_s/f_y \leq 1,35$
Relación $f_y \text{ real}/f_y \text{ nominal}$		--	--	≤ 1,20	≤ 1,25

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

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

<sup>(3)</sup> 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  $\varepsilon_{m\acute{a}x}$  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

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

donde:

- $d$  Diámetro nominal de barra, en mm.  
 $\alpha$  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

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

donde:

- $d$  Diámetro nominal de barra, en mm.  
 $\alpha$  Ángulo de doblado.  
 $\beta$  Ángulo de desdoblado.

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), 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

<i>Característica</i>	<i>B 400 S B 400 SD</i>	<i>B 500 S B 500 SD</i>
<i>Número de ciclos que debe soportar la probeta sin romperse.</i>	<i>≥ 2 millones</i>	
<i>Tensión máxima, <math>\sigma_{m\acute{a}x} = 0,6 f_y</math> nominal (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i>240</i>	<i>300</i>
<i>Amplitud, <math>2\sigma_a = \sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i>150</i>	
<i>Frecuencia, <math>f</math> (Hz)</i>	<i><math>1 \leq f \leq 200</math></i>	
<i>Longitud libre entre mordazas, (mm)</i>	<i>≥ 14 d ≥ 140 mm (la mayor de ambas)</i>	

donde:

*d* Diámetro nominal de barra, en mm.

Tabla 34.2.e Especificación del ensayo de carga cíclica

<i>Diámetro nominal (mm)</i>	<i>Longitud libre entre mordazas</i>	<i>Deformaciones máximas de tracción y compresión (%)</i>	<i>Número de ciclos completos simétricos de histéresis</i>	<i>Frecuencia <math>f</math> (Hz)</i>
<i><math>d \leq 16</math></i>	<i>5 d</i>	<i>± 4</i>	<i>3</i>	<i><math>1 \leq f \leq 3</math></i>
<i><math>16 &lt; d \leq 25</math></i>	<i>10 d</i>	<i>± 2,5</i>		
<i><math>d &gt; 25</math></i>	<i>15 d</i>	<i>± 1,5</i>		

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 UNE-EN 10080 o el de la 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  $\tau_{bm}$  y  $\tau_{bu}$  se expresan en N/mm<sup>2</sup> y  $\phi$  en mm.

En el caso de comprobarse las características de adherencia mediante el ensayo de la viga, los aceros serán objeto de certificación específica de estas 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 Anejo 4 apartado 1.1.7.

Por su parte, 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: Cuando se comprueben las condiciones de adherencia mediante el ensayo de la viga, pueden rebajarse los valores de  $f_R$  o  $f_P$*

La composición química, en porcentaje en masa, del acero deberá cumplir los límites establecidos en las UNE 36065, UNE 36068 y recogidos en la tabla 34.2.g, por razones de soldabilidad y durabilidad.

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

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

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

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

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

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

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

### 34.3 Alambres de acero

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 sólo 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 <sup>(1)</sup>				Ensayo de doblado simple, según UNE-EN ISO 15630-1 $\alpha = 180^\circ$ <sup>(5)</sup> Diámetro de mandril $D'$
	Límite elástico $f_y$ , (N/mm <sup>2</sup> ) <sub>(2)</sub>	Carga unitaria de rotura $f_s$ , (N/mm <sup>2</sup> ) <sub>(2)</sub>	Alargamiento de rotura sobre base de 5 diámetros $A$ ( % )	Relación $f_s/f_y$	
B 500 T	500	550	8 <sup>(3)</sup>	1,03 <sup>(4)</sup>	3d <sup>(6)</sup>

(1) Valores característicos inferiores garantizados.

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

(3) Además, deberá cumplirse:

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

donde:

$A$  Alargamiento de rotura.

$f_{yi}$  Límite elástico medido en cada ensayo.

(4) Además, deberá cumplirse:

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

donde:

$f_{yi}$  Límite elástico medido en cada ensayo.

$f_{si}$  Carga unitaria obtenida en cada ensayo.

$f_{yk}$  Límite elástico garantizado.

(5)  $\alpha$  Ángulo de doblado.

(6)  $d$  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  $\alpha = 90^\circ$  y un ángulo de desdoblado  $\beta = 20^\circ$ , 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.

### 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, armaduras elaboradas o ferrallas armadas que, convenientemente solapadas y con los recubrimientos adecuados, tienen una función estructural

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

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

A los efectos de 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 características especiales de ductilidad	
		AP 500 T	AP 400 S	AP 500 S	AP 400 SD	AP 500 SD
Designación		AP 500 T	AP 400 S	AP 500 S	AP 400 SD	AP 500 SD
Alargamiento total bajo carga máxima, $\epsilon_{m\acute{a}x}$ (%) (**)		-	$\geq 5,0$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 7,5$
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.

(\*\*) Las especificaciones de  $\epsilon_{m\acute{a}x}$  de la tabla se corresponden con las clases de armadura B y C definidas en el Anejo 19. Considerando lo expuesto en 34.2 para aceros suministrados en rollo, pueden aceptarse valores de  $\epsilon_{m\acute{a}x}$  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 los requisitos especificados 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  $\varnothing$  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, sólo 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  $\varnothing$  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, 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 Malla estándar SD

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm <sup>2</sup> /m)		Nº barras		u <sub>1</sub> (mm)	u <sub>2</sub> (mm)	u <sub>3</sub> (mm)	u <sub>4</sub> (mm)	Masa nominal del panel	
P <sub>L</sub>	P <sub>C</sub>	d <sub>L</sub>	d <sub>C</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>C</sub>	N <sub>L</sub>	N <sub>C</sub>					Kg/panel	Kg/m <sup>2</sup>
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<sub>L</sub>; P<sub>C</sub>)

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

Tabla 35.2.1.c Malla estándar S

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm <sup>2</sup> /m)		Nº barras		u <sub>1</sub> (mm)	u <sub>2</sub> (mm)	u <sub>3</sub> (mm)	u <sub>4</sub> (mm)	P <sub>A</sub> (mm)	Masa nominal del panel	
P <sub>L</sub>	P <sub>C</sub>	d <sub>L</sub>	d <sub>C</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>C</sub>	N <sub>L</sub>	N <sub>C</sub>						Kg/panel	Kg/m <sup>2</sup>
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<sub>L</sub>; P<sub>C</sub>)

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

Tabla 35.2.1.d Malla estándar T

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm <sup>2</sup> /m)		Nº barras		u <sub>1</sub> (mm)	u <sub>2</sub> (mm)	u <sub>3</sub> (mm)	u <sub>4</sub> (mm)	P <sub>A</sub> (mm)	Masa nominal del panel	
P <sub>L</sub>	P <sub>C</sub>	d <sub>L</sub>	d <sub>C</sub>	A <sub>L</sub>	A <sub>C</sub>	N <sub>L</sub>	N <sub>C</sub>						Kg/panel	Kg/m <sup>2</sup>
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<sub>L</sub>; P<sub>C</sub>)

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

La nomenclatura empleada en las tablas es la siguiente:

- A<sub>L</sub> Sección de acero longitudinal por metro lineal
- A<sub>C</sub> Sección de acero transversal por metro lineal
- d<sub>C</sub> Diámetro de los elementos transversales
- d<sub>L</sub> Diámetro de los elementos longitudinales
- N<sub>C</sub> Número de elementos transversales
- N<sub>L</sub> Número de elementos longitudinales
- P<sub>C</sub> Separación entre elementos transversales
- P<sub>L</sub> Separación entre elementos longitudinales
- P<sub>A</sub> Zona de ahorro, consiste en la ausencia del elemento longitudinal adyacente al de borde en ambos bordes longitudinales del panel
- u<sub>1</sub>, u<sub>2</sub> Sobrelargo de los elementos longitudinales
- u<sub>3</sub>, u<sub>4</sub> 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 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 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,

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

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

Las mallas electrosoldadas con características especiales de ductilidad (B400SD y B500SD) deberán cumplir los requisitos de la tabla 35.2.2 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, $\sigma_{\text{máx}} = 0,6 f_y$ nominal (N/mm <sup>2</sup> )	240	300
Amplitud, $2\sigma_a = \sigma_{\text{máx}} - \sigma_{\text{mín}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	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)
$d \leq 16$	5 d	± 4	3	1 ≤ f ≤ 3
$16 < d \leq 25$	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 34.3

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

A los efectos de 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:

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

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

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 armada

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 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 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 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 pretensas, 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

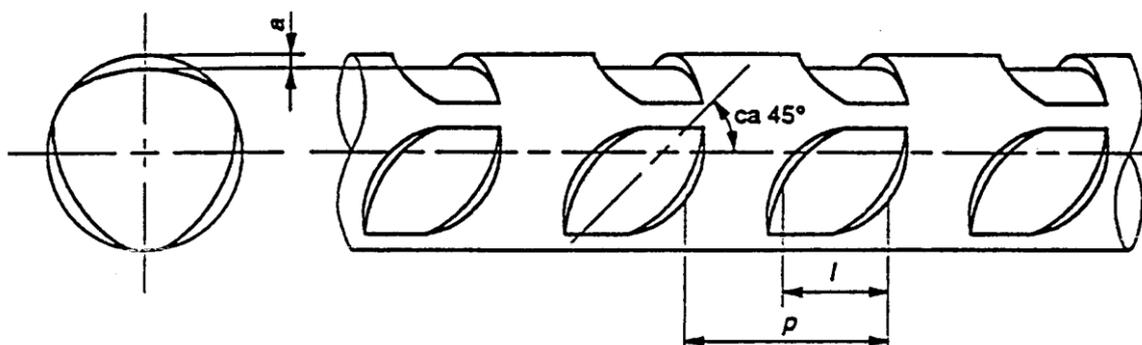


Figura 36.1 Grafilas

### 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:

- Carga unitaria máxima a tracción ( $f_{máx}$ ).
- Límite elástico ( $f_y$ ).
- Alargamiento bajo carga máxima ( $\epsilon_{máx}$ ).
- Módulo de elasticidad ( $E_s$ ).
- Estricción ( $\eta$ ), expresada en porcentaje.
- Aptitud al doblado alternativo (sólo para alambres).
- Relajación.
- Resistencia a la fatiga.
- Susceptibilidad a la corrosión bajo tensión.
- Resistencia a la tracción desviada (sólo para cordones de diámetro nominal igual o superior a 13 mm).

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

La relajación a las 1.000 horas, según UNE-EN ISO 15630-3, a temperatura de  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ , 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, respecto a la corrosión bajo tensión, la medida de tensiones residuales longitudinales, realizada con arreglo a 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<sup>2</sup> 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 UNE-EN ISO 15630-3, deberán cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$  no será inferior a los valores que figuran en la tabla 36.3.a.

Tabla 36.3.a Tipos de alambre de pretensado

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

- El límite elástico  $f_y$  estará comprendido entre el 0,85 y el 0,95 de la carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$ . Esta relación deberán cumplirla no sólo los valores

mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada uno de los alambres ensayados.

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

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

El número mínimo de doblados-desdoblados que soportará el alambre en la prueba de doblado alternativo realizada según la UNE-EN ISO 15630-3 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 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 UNE-EN ISO 15630-3 deberán cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima  $f_{máx}$  no será inferior a 980 N/mm<sup>2</sup>.
- El límite elástico  $f_y$ , estará comprendido entre el 75 y el 90 por 100 de la carga unitaria máxima  $f_{máx}$ . Esta relación deberán cumplirla no sólo los valores

mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada una de las barras ensayadas.

- El alargamiento bajo carga máxima medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 por 100.
- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia del  $\pm 7$  por 100.

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

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y para una tensión inicial igual al 70 por 100 de la carga unitaria máxima garantizada, no será superior al 3 por 100. El ensayo se realizará según la 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 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 UNE-EN ISO 15630-3, deberán cumplir las siguientes prescripciones:

- La carga unitaria máxima  $f_{m\acute{a}x}$  no será inferior a los valores que figuran en la tabla 36.5.a en el caso de cordones de 2 o 3 alambres y 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 $f_{m\acute{a}x}$ en N/mm <sup>2</sup> no menor que:
Y 1770 S2	5,6 - 6,0	1.770
Y 1860 S3	6,5 - 6,8 - 7,5	1.860
Y 1960 S3	5,2	1.960
Y 2060 S3	5,2	2.060

Tabla 36.5.b Cordones de 7 alambres

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

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

- La estricción a la rotura será visible a simple vista.
- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante, con una tolerancia de  $\pm 7$  por 100.

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 UNE 36094.

Los alambres utilizados en los cordones soportarán el número de doblados y desdoblados indicados en 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, sólo 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 nº 305/2011 y de conformidad con el Documento de Evaluación Europeo 160004-00-0301 elaborado por la European Organisation for Technical Approvals (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 a la Guía ETAG 013 elaborada por la European Organisation for Technical Approvals (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<sup>2</sup> 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 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 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  $100 \phi$  ( $\phi$  = diámetro interior del tubo). Son doblados con medios mecánicos apropiados, pudiendo llegarse hasta radios mínimos en el entorno de  $20 \phi$  siempre que se cumpla:

- a) La tensión en el tendón en la zona curva no excede el 70% de la de rotura.
  - b) La suma del desvío angular a lo largo del tendón no excede de  $3\pi/2$  radianes, o se considera la zona de desvío (radio mínimo) como punto de anclaje pasivo, realizándose el tesado desde ambos extremos.
- Tubos de polietileno de alta densidad. Deben tener el espesor necesario para resistir una presión nominal interior de  $0,63 \text{ N/mm}^2$  en tubos de baja presión, en PE80, y de  $1 \text{ N/mm}^2$  para tubos de alta presión en PE80 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  $2 \text{ N/mm}^2$ .

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

#### **Comentarios**

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

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

### **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 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 37.4.2.2, cuyos componentes deberán cumplir lo especificado en 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  $\pm 2\%$  para el cemento y los aditivos secos y adiciones y  $\pm 1\%$  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  $SO_3$ ) según UNE-EN 196-2 no será superior a 4,5 % de la masa de cemento,
- el contenido en sulfuro ( $S^{2-}$ ) 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 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 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 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 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/mm<sup>2</sup> a los 7 días o que 30 N/mm<sup>2</sup> 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 éstas y los conductos.

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

Para poder utilizar los productos de inyección no adherentes será preciso que estos aparezcan como parte del documento de idoneidad técnico europeo del sistema de pretensado, y por tanto, conformes con la Guía ETAG 013, Anejo C.4.

### **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 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 aligerantes 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 el caso de bovedillas cerámicas, 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 por humedad media, 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 SI.1 del Documento Básico DB SI “Seguridad en caso de incendio” del Código Técnico de la Edificación, en función de la zona en la que esté situado el forjado. Dicha clase deberá estar determinada conforme a 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 conjuntamente, 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 elegirán 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 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 la 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.	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 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 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 43.3.1.6. Deberá evitarse su contacto con armaduras de acero convencional conforme a 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 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 27.2.1.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 ó Clase II: ≥ 10 mm	Clase I: < 10 mm ó 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	$w < 0,1 \text{ (kg /m}^2\text{) } \cdot h^{0,5}$	$w < 0,1 \text{ (kg /m}^2\text{) } \cdot h^{0,5}$
Adhesión por tracción directa	UNE-EN 1542	$\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ (sistemas flexibles) $\geq 2,0 \text{ N/mm}^2$ (sistemas rígidos)	$\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$
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 $\geq 5\text{mm}$ )

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 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: $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50 \text{ m}$
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 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 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 ya construida; 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.

En general, para la reparación de elementos de hormigón podrá optarse por una de las siguientes alternativas:

- Sustitución de elementos
- Adición, sustitución o relleno con hormigón o mortero
- Inyección de fisuras

### **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 la UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P1. Protección contra la penetración.	Relleno de las fisuras. Sellado por inyección de resinas acuarreactivas Sellado con masillas Mineralizadores de base acuosa por cristalización capilar.
P3. Restauración del hormigón. 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.	Aplicación manual de mortero. 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	Adición de mortero u hormigón.
P6. Resistencia a los productos químicos	Adición de mortero u hormigón.
P7. Preservación o restauración de la pasividad	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 39 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 función de los principios y métodos identificados para el sistema de reparación en el proyecto, los productos aplicados en el mismo deberán especificarse de acuerdo con las características definidas para cada caso en la Tabla 1 de UNE-EN 1504-3 (morteros de reparación) o de UNE-EN 1504-5 (productos de inyección).

##### 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, sólo 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 sollicitación, 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 sollicitación.

Resistencia media del hormigón, condiciones de exposición y tipo de sollicitación	Clase de mortero
Estructuras con hormigón de resistencia media inferior a 20 N/mm <sup>2</sup> en ambientes X0 y XC1 sometidas a acciones eminentemente estáticas.	R3
Estructuras con hormigón de resistencia media igual o superior a 20 N/mm <sup>2</sup> 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 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 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 usables (seco – húmedo). 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 conjunto 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.

## 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 producto de refuerzo y el sustrato 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 la UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P4. Refuerzo estructural.	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 (postensado). 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 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  $\mu\text{m}$ , 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 ó 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.

# **Capítulo 9**

## **Durabilidad de las estructuras de hormigón**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 43 ESTRATEGIA DE DURABILIDAD EN LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>43.1 SELECCIÓN DE LA FORMA ESTRUCTURAL .....</b>	<b>3</b>
<b>43.2 PRESCRIPCIONES RESPECTO A LA CALIDAD DEL HORMIGÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>43.3 MEDIDAS FRENTE A AGRESIVIDADES ESPECÍFICAS .....</b>	<b>6</b>
<b>43.3.1 Protección de las armaduras frente a la corrosión .....</b>	<b>6</b>
43.3.1.1 Criterios generales .....	6
43.3.1.2 Criterios adicionales de protección de las armaduras activas .....	7
43.3.1.4 Productos inhibidores de la corrosión .....	8
43.3.1.5 Armaduras pasivas de acero inoxidable .....	8
43.3.1.6 Armaduras galvanizadas en caliente .....	9
43.3.1.7 Sistemas de protección catódica .....	9
<b>43.3.2 Impermeabilidad del hormigón .....</b>	<b>10</b>
<b>43.3.3 Resistencia del hormigón frente al ataque por ciclos hielo-deshielo .....</b>	<b>11</b>
<b>43.3.4 Resistencia frente al ataque químico .....</b>	<b>11</b>
43.3.4.1 Resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos .....	11
43.3.4.2 Resistencia frente al ataque por agua de mar .....	11
43.3.4.3 Prevención de la reactividad álcali-árido .....	11
<b>43.3.5 Resistencia del hormigón frente al ataque por erosión .....</b>	<b>12</b>
<b>43.3.6 Influencia de la fisuración en la durabilidad .....</b>	<b>13</b>
<b>43.4 MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA LA FASE DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>43.4.1 Recubrimiento nominal .....</b>	<b>13</b>
<b>43.4.2 Separadores .....</b>	<b>14</b>
<b>43.4.3 Contacto entre armaduras de diferentes tipos .....</b>	<b>14</b>
<b>43.5 MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA LA FASE DE USO .....</b>	<b>14</b>
<b>ARTÍCULO 44 CONSIDERACIONES ADICIONALES ESPECIFICAS EN FUNCIÓN DE LA CLASE DE EXPOSICIÓN ..</b>	<b>15</b>
<b>44.1 CRITERIOS GENERALES .....</b>	<b>15</b>
<b>44.2 CLASES DE EXPOSICIÓN XC, XS Y XD. FISURACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DEBIDO A LA CORROSIÓN DE LA ARMADURA .</b>	<b>15</b>
<b>44.2.1 Espesores de recubrimiento .....</b>	<b>15</b>
44.2.1.1 Armaduras pasivas y armaduras activas pretesas .....	15
44.2.1.2 Armaduras activas postesas .....	18
<b>44.3 CLASES DE EXPOSICIÓN XF. ATAQUE AL HORMIGÓN POR CICLOS HIELO/DESHIELO CON SALES FUNDENTES O SIN ELLAS.</b>	<b>19</b>
<b>44.4 CLASES DE EXPOSICIÓN XA. ATAQUE QUÍMICO AL HORMIGÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>44.5 CLASES DE EXPOSICIÓN XM. DESGASTE POR EROSIÓN EN EL HORMIGÓN .....</b>	<b>21</b>

## **Artículo 43 Estrategia de durabilidad en los elementos de hormigón**

Además de lo indicado en el Artículo 11, el proyecto de los elementos de hormigón debe incluir las medidas necesarias para que se alcance la vida útil establecida por la Propiedad, en función de las condiciones de agresividad ambiental a las que puedan estar sometidos. Para ello, el proyecto deberá incluir una estrategia de durabilidad de los elementos de hormigón según los criterios establecidos en este capítulo.

La agresividad a la que está sometida cada elemento de hormigón se identificará por el tipo de ambiente, de acuerdo con el apartado 27.1. En la memoria, se justificará la selección de las clases de exposición consideradas para la estructura. Asimismo, en los planos se reflejará el tipo de ambiente para el que se ha proyectado cada elemento.

En cualquier caso, el proyecto deberá definir formas y detalles estructurales que faciliten la evacuación del agua y sean eficaces frente a los posibles mecanismos de degradación del hormigón y corrosión del acero. Además, una buena calidad de la ejecución de la obra tiene una influencia decisiva para conseguir una estructura durable.

Las especificaciones relativas a la durabilidad deberán cumplirse en su totalidad durante la fase de ejecución. No se permite compensar los efectos derivados por el incumplimiento de alguna de ellas, salvo que se adopten las medidas adecuadas para corregirlo, a propuesta del constructor y previa autorización de la dirección facultativa.

En este artículo se recogen los criterios para el desarrollo de una estrategia de durabilidad en el proyecto de las estructuras de hormigón, que se desarrollará de acuerdo con las siguientes fases:

- Identificación de la clase de exposición, según el apartado 27.1,
- Selección de la forma estructural, según el apartado 43.1,
- Prescripciones respecto a la calidad del hormigón, según el apartado 43.2,
- Medidas específicas frente a la agresividad, según el apartado 43.3,
- Medidas durante la fase de ejecución, según el apartado 43.4, y
- Medidas durante la fase de uso, según el apartado 43.5.

### **43.1 Selección de la forma estructural**

En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que, siendo compatibles con su comportamiento mecánico, también lo sean con la consecución de una durabilidad adecuada de la estructura.

Se evitará el empleo de diseños estructurales que sean especialmente sensibles frente a la acción del agua y, en la medida de lo posible, se reducirá al mínimo el contacto directo entre ésta y el hormigón.

Además, se diseñarán los detalles de proyecto necesarios para facilitar la rápida evacuación del agua, previendo los sistemas adecuados para su conducción y drenaje (imbornales, conducciones, etc.). Se deberán evitar cambios de planos de las superficies no horizontales que ralenticen la evacuación de agua.

Se evitará, en la medida de lo posible, la existencia de elementos de hormigón en contacto con aguas de escorrentía. Se dispondrán goterones para evitar que el agua discurra por las superficies verticales. En especial, se procurará evitar el paso de agua sobre las zonas de juntas y sellados.

Se deberán prever los sistemas adecuados para evitar la existencia de superficies sometidas a salpicaduras o encharcamiento de agua.

Cuando la estructura presente secciones con aligeramientos u oquedades internas, se procurará disponer los sistemas necesarios para su ventilación y drenaje. Se evitará especialmente la existencia de drenajes que puedan provocar contacto del elemento con agua con sales de deshielo

Además, siempre que sea posible, el proyecto procurará minimizar el número de juntas y apoyos.

Salvo en obras de pequeña importancia, se deberá prever el acceso a todos los elementos de la estructura, estudiando la conveniencia de disponer sistemas específicos que faciliten la inspección y el mantenimiento durante la fase de servicio, de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 15 de este Código. En particular, se preverá los sistemas para la sustitución de aparatos de juntas y apoyos, en su caso.

#### **43.2 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón**

Una estrategia enfocada a la durabilidad de una estructura debe conseguir una calidad adecuada del hormigón, en especial en las zonas más superficiales donde se pueden producir los procesos de deterioro del hormigón y el acceso de los agentes agresivos para las armaduras.

Se entiende por un hormigón de calidad adecuada, aquel en cuya elaboración se hayan cumplido íntegramente las siguientes condiciones:

- Fabricación con materiales componentes adecuados que satisfagan lo indicado en el Capítulo 9.
- Dosificación adecuada, según lo indicado en el punto 43.2.1, así como en el apartado 43.3.
- Puesta en obra correcta, según lo indicado en el Artículo 52.
- Curado del hormigón, según lo indicado en el apartado 52.5.
- Resistencia mecánica acorde con el comportamiento estructural esperado y congruente con los requisitos de durabilidad.
- Prestaciones conformes con los requisitos del apartado 43.3.

Se cuidará especialmente la selección del tipo de cemento en función de la agresividad a la que vaya a estar sometido el elemento estructural.

##### **43.2.1 Requisitos mínimos de dosificación del hormigón**

En función de la clase de exposición a la que vaya a estar sometido el elemento estructural, la dosificación del hormigón deberá cumplir los requisitos indicados en la tabla 43.2.1.a.

Tabla 43.2.1a Mínimo contenido de cemento y máxima relación agua/cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																			
		XC0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2
Máxima relación agua/cemento	Masa	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50
Contenido mínimo de cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Masa	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275	300	300	275	300	275	300	325	300	300
	Armado	250	275	275	300	300	300	325	325	325	325	300	325	300	300	325	350	350	325	325	325
	Pretensado	275	300	300	300	300	300	325	325	325	325	300	325	300	300	325	350	350	325	325	325

Tabla 43.2.1.b. Resistencia característica recomendada para el hormigón

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																			
		XC0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2
Resistencia característica (N/mm <sup>2</sup> )	Masa	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	30	30	30	30	35	30	30
	Armado	25	25	25	30	30	30	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	30	30
	Pretensado	25	25	25	30	30	30	35	35	35	35	30	30	30	30	30	35	35	35	30	30

Cuando el tipo de ambiente incluya más de una clase de exposición, a los efectos de aplicar la tabla 43.2.1.a, se procederá fijando para cada parámetro el criterio más exigente de entre los establecidos para cada clase.

En el caso particular de que se utilicen adiciones en la fabricación del hormigón, se podrá tener en cuenta su empleo a los efectos del cálculo del contenido de cemento y de la relación agua/cemento. A tales efectos, en la tabla 43.2.1.a se sustituirá el contenido de cemento  $C$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) por  $C+KF$ , así como la relación  $A/C$  por  $A/(C+KF)$  siendo  $F$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) el contenido de adición y  $K$  el coeficiente de eficacia de la misma.

Cuando se usen cenizas volantes o humo de sílice como adición al hormigón, los contenidos de cemento no podrán ser inferiores a 200, 250 o 275  $\text{kg}/\text{m}^3$ , según se trate de hormigón en masa, armado o pretensado, respectivamente.

En el caso de las cenizas volantes, se tomará un valor de  $K$  no superior a 0,20 si se emplea un cemento CEM I 32,5, ni superior a 0,40 en el caso de cementos CEM I con otras categorías resistentes superiores. Para el humo de sílice, se tomará un valor de  $K$  no superior a 2, excepto en el caso de hormigones con relación agua/cemento mayor que 0,45 que vayan a estar sometidos a cualesquiera de las clases de exposición XF en cuyo caso para  $K$  se tomará un valor igual a 1. La dirección facultativa podrá admitir, bajo su responsabilidad, valores superiores del coeficiente de eficacia, pero no mayores de 0,65 para el caso de las cenizas volantes siempre que ello se deduzca como una estimación centrada en la mediana del valor característico real, definido como el cuantil del 5% de la distribución de valores de  $K$ . La estimación referida procederá de un estudio experimental que no sólo tenga en cuenta la resistencia sino también el mecanismo de daño asociado al ambiente en el que va a estar ubicada la estructura.

Se debe tener en cuenta que los requisitos de máxima relación agua/cemento y contenido mínimo de cemento, recogidos en la tabla 43.2.1.a, condicionan unas características mecánicas mínimas en el hormigón. En este sentido, en la tabla 43.2.1.b se muestra, para cada clase de exposición, la resistencia característica mínima esperable de un hormigón fabricado con un cemento CEM I o CEM II y áridos de una calidad media.

### **43.3 Medidas frente a agresividades específicas**

#### **43.3.1 Protección de las armaduras frente a la corrosión**

##### **43.3.1.1 Criterios generales**

En el caso de elementos estructurales sometidos a cualquiera de las clases XC, XS o XD, el autor del proyecto deberá incluir medidas específicas frente a la corrosión de las armaduras que consistirán en:

- a) la adopción de los valores límites de dosificación del hormigón, de acuerdo con los criterios generales establecidos en el apartado 43.2.1
- b) los valores de recubrimientos, obtenidos de acuerdo con lo indicado en el

artículo 44.

c) la adopción, en su caso, de medidas adicionales en el caso de armaduras activas, según, el apartado 43.3.1.2

d) el uso, en su caso, de sistemas de protección superficial, según el apartado 43.3.1.3.

e) el uso, en su caso, de productos inhibidores de la corrosión, según el apartado 43.3.1.4

f) el uso, en su caso, de armaduras con comportamiento mejorado frente a la corrosión, según los apartados 43.3.1.5 y 43.3.1.6.

g) el uso, en su caso, de sistemas de protección catódica, según el apartado 43.3.1.7.

#### **43.3.1.2 Criterios adicionales de protección de las armaduras activas**

En el caso de estructuras pretensadas, se prohíbe el uso de cualquier sustancia que catalice la absorción del hidrógeno por el acero.

Se prohíbe la utilización de empalmes o sujeciones con otros metales distintos del acero, así como la protección catódica.

Con carácter general, no se permitirá el uso de aceros protegidos por recubrimientos metálicos. La dirección facultativa podrá permitir su uso cuando exista un estudio experimental que avale su comportamiento como adecuado para el caso concreto de cada obra.

Asimismo, se adoptarán las precauciones necesarias para evitar que las armaduras activas, durante su almacenamiento, colocación, o después de colocadas en obra, experimenten daños, especialmente entalladuras o calentamientos locales, que puedan modificar sus características o dar lugar a que se inicie un proceso de corrosión.

#### **43.3.1.3 Sistemas de protección superficial del hormigón**

El autor del proyecto podrá prescribir un sistema de protección superficial (conforme al apartado 39.4) enfocado a cualquiera de los siguientes métodos de actuación frente a la corrosión:

a) impidiendo que se den las condiciones electroquímicas necesarias (presencia de oxígeno y agua), por lo que se impide el proceso corrosivo, o

b) dificultando el ingreso de sustancia agresivas (anhídrido carbónico, iones cloruro, etc.) de forma que se ralentice el desarrollo de la corrosión,

El autor del proyecto podrá tener en cuenta el efecto del empleo de los sistemas adicionales de protección superficial, en términos de “espesor equivalente” de recubrimiento en función de la agresividad existente en cada caso.

La Dirección Facultativa valorará tanto el “espesor equivalente” como el efecto producido por el uso del sistema de protección superficial, a los que se refieren los párrafos anteriores, que además deberán estar garantizados por escrito por el fabricante, de acuerdo con los correspondientes estudios experimentales. Igualmente, el aplicador deberá garantizar que su aplicación ha sido conforme con las especificaciones del fabricante

Los sistemas de protección superficial tienen normalmente vidas útiles inferiores a los de la estructura, por lo que se requiere incluir su reposición en el correspondiente plan de mantenimiento incluido en el proyecto.

#### **43.3.1.4 Productos inhibidores de la corrosión**

El autor del proyecto podrá considerar el efecto positivo del uso de productos inhibidores de la corrosión, conformes con el apartado 39.5 de este Código.

La Dirección Facultativa valorará el efecto producido por el uso de productos inhibidores de la corrosión al que se refiere el párrafo anterior, que además deberán estar garantizados por escrito por el fabricante, de acuerdo con los correspondientes estudios experimentales. Igualmente, el aplicador deberá garantizar que su aplicación ha sido conforme con las especificaciones del fabricante.

El uso de inhibidores de corrosión añadidos a la masa del hormigón produce un incremento del contenido límite de cloruros que desencadena el inicio de la corrosión.

Cuando el proyecto prescriba el uso de aditivos inhibidores de la corrosión incorporados a la masa del hormigón, podrá disponer de unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases generales XS o XD, que se corresponderán con los indicados para la clase XC4.

#### **43.3.1.5 Armaduras pasivas de acero inoxidable**

El autor del proyecto podrá considerar el uso de armaduras de acero inoxidable, que será conforme con el apartado 34.4 de este Código.

Cuando tanto la armadura transversal como la capa más exterior de la armadura longitudinal del elemento sean de acero inoxidable, el proyecto podrá considerar un valor límite de la anchura de fisura,  $w_{max} \leq 0,30$  mm, independientemente de la clase de exposición en la que esté ubicada el elemento.

El empleo de armaduras de acero inoxidable, conformes con UNE-EN 10088-1, modifica el valor del contenido límite de cloruros a partir del que se inicia la corrosión, así como la velocidad de corrosión.

Cuando el proyecto prescriba el uso de armaduras inoxidables, podrá disponer de unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases generales XS o XD, que se corresponderán con los indicados para la clase XC4.

#### **43.3.1.6 Armaduras galvanizadas en caliente**

El autor del proyecto podrá considerar el uso de armaduras galvanizadas en caliente, conformes con el apartado 39.4 de este Código.

Se podrá disponer armaduras galvanizadas cuando dicho tratamiento de galvanizado en caliente sea efectuado sobre la ferralla elaborada o, en su caso, sobre la ferralla armada. En ningún caso se admitirá el corte, doblado o soldadura de las armaduras tras su tratamiento.

Antes, del proceso de galvanizado, los productos de acero que se vayan a emplear deberán cumplir los requisitos mecánicos y de adherencia indicados en los apartados 34.2 y 34.3 para los productos de acero convencional. Después del galvanizado, las armaduras galvanizadas deberán cumplir lo indicado en el Artículo 35 para las armaduras pasivas de acero convencional. La temperatura de procesamiento de las armaduras durante el galvanizado no será en ningún caso superior a 465°C.

El autor del proyecto podrá considerar las posibles ventajas derivadas del empleo de estas armaduras, siempre que el espesor garantizado de cinc no sea inferior a 70 µm, equivalente a 505 g/m<sup>2</sup>.

El empleo de armaduras galvanizadas en caliente aumenta el valor del contenido límite de cloruros a partir del que se inicia la corrosión.

Para el contacto de este tipo de armaduras con las de acero convencional, se estará a lo dispuesto en el apartado 43.4.3.

No se admitirá el hormigonado del elemento cuando se detecte alguna ferralla elaborada o ferralla armada que presenten un defecto superficial en su revestimiento galvanizado.

En ningún caso, se podrán utilizar armaduras activas de acero galvanizado.

Cuando el proyecto prescriba el uso de armaduras galvanizadas, podrá disponer de unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases generales XS o XD, que se corresponderán con los indicados para la clase XC4.

#### **43.3.1.7 Sistemas de protección catódica**

En el caso de elementos de hormigón armado, el autor del proyecto podrá incluir en la estrategia de durabilidad un sistema de protección catódica, por cualquiera de los siguientes métodos:

- a) protección catódica por ánodos de sacrificio, o

b) protección catódica por corriente impresa

El proyecto deberá incluir una memoria específica en la que se justifique técnicamente las características del sistema a disponer.

Para la aplicación de este tipo de sistemas debe haber continuidad eléctrica de las armaduras para lo que se deberá garantizar el contacto entre las mismas, al menos en la zona del elemento estructural donde se requiere una especial protección. Dicha continuidad deberá ser comprobada antes y después del hormigonado al objeto de detectar posibles incidencias.

En cualquiera de los casos, todas las características del sistema, incluido el procedimiento para su instalación y el sistema de seguimiento y registro, deberán ser conformes con UNE-EN ISO 12696.

Estos sistemas requieren de un mantenimiento específico que incluye, entre otros aspectos, la monitorización del sistema para controlar su efectividad a lo largo del tiempo. Estas operaciones deberán incluirse en el correspondiente plan de mantenimiento.

El sistema de protección catódica puede tener una vida útil inferior a la del elemento estructural, lo que deberá tenerse en cuenta en la estrategia de durabilidad y, en su caso, en el correspondiente plan de mantenimiento.

Cuando el proyecto prescriba el uso de sistemas de protección catódica, podrá disponer de unos recubrimientos mínimos reducidos para las clases generales XS o XD, que se corresponderán con los indicados para la clase XC4.

**43.3.2 Impermeabilidad del hormigón**

En el caso de elementos estructurales ubicados en ambientes muy agresivos (XS, XD, XF, XM o XA), el hormigón deberá presentar un comportamiento suficientemente impermeable, determinado según UNE EN 12390-8 con las modificaciones y criterios para comprobar la conformidad del apartado 57.3.3.

Tabla 43.3.2. Especificaciones de profundidad de penetración de agua máxima y media

Clase de exposición ambiental	Especificación para la profundidad máxima	Especificación para la profundidad media
XS1, XS2, XD1, XD2, XF1, XF2, XF3, XF4, XM, XA1 (cualquier caso)	≤ 50 mm	≤ 30 mm
XA2 (en el caso de elementos en masa o armados)		
XS3, XD3 y XA3 (cualquier caso)	≤ 30 mm	≤ 20 mm
XA2 (solo en el caso de elementos pretensados)		

### **43.3.3 Resistencia del hormigón frente al ataque por ciclos hielo-deshielo**

Cuando un hormigón esté sometido a una clase de exposición XF2 y XF4, se deberá introducir un contenido mínimo de aire ocluido del 4,5%, determinado de acuerdo con UNE-EN 12350-7.

### **43.3.4 Resistencia frente al ataque químico**

#### **43.3.4.1 Resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos**

En el caso de elementos estructurales expuestos a ambientes con presencia de iones sulfato cuyos contenidos sean igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3.000 mg/kg, en el caso de suelos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la vigente instrucción para la recepción de cementos. Lo anterior no será de aplicación en el caso de que se trate de agua de mar o el contenido en cloruros sea superior a 5.000 mg/l, en que será de aplicación lo indicado en 44.3.4.2.

#### **43.3.4.2 Resistencia frente al ataque por agua de mar**

En el caso de elementos de hormigón en masa, armado o pretensado que vayan a estar sometidos a una clase de exposición XS2 o XS3, se utilizará un cemento con la característica adicional MR, SR o SRC, según la Instrucción para la recepción de cementos vigente.

#### **43.3.4.3 Prevención de la reactividad álcali-árido**

Las reacciones álcali-árido se pueden producir cuando concurren simultáneamente la existencia de un ambiente húmedo, la presencia de un alto contenido de alcalinos en el hormigón y la utilización de áridos que contengan componentes susceptibles de ser atacados por los álcalis presentes en la mezcla del hormigón..

A los efectos de este artículo, se considera que el ambiente siempre puede ser húmedo, salvo en el caso de las clases X0, XC1 o XM cuando éstas están asociadas a un entorno seco.

Para prevenir las reacciones álcali-árido, en la fabricación de elementos de hormigón que en sus condiciones de servicio puedan estar expuestos a un ambiente húmedo, se deberá emplear áridos no reactivos, según 30.7.6. En el caso de que no fuera posible dicha utilización de áridos no reactivos, se deberá:

- a) Emplear cementos con un contenido de alcalinos, expresados como óxido de sodio equivalente ( $0,658 K_2O + Na_2O$ ), inferior al 0,60% del peso de cemento.

- b) Incorporar humo de sílice o cenizas volantes silíceas como adición al hormigón o emplear cementos comunes según la Instrucción para la Recepción de Cementos vigente, que contengan este tipo de adiciones, o escorias granuladas de horno alto o puzolanas naturales, en la proporción adecuada que permita mitigar el comportamiento expansivo ocasionado por las reacciones álcali-árido. Para ello el constructor o el fabricante de hormigón deberá tener un estudio experimental a disposición del constructor, en su caso, y de la dirección facultativa que confirme que el empleo de esa proporción de adición (en el cemento o en el hormigón) garantiza un comportamiento satisfactorio para prevenir el desarrollo de las reacciones álcali-árido,

La utilización de áridos reactivos y el método empleado para controlar sus efectos sobre el hormigón (cemento con bajo contenido de álcalis o la incorporación de adiciones en proporción suficiente) deberá ser previamente aceptada por la dirección facultativa.

Además, en estos casos, puede estudiarse también la conveniencia de adoptar un sistema de protección adicional por impermeabilización superficial.

#### 43.3.5 Resistencia del hormigón frente al ataque por erosión

Cuando un hormigón vaya a estar sometido a una clase de exposición XM1, XM2 o XM3, erosión, se adoptarán las siguientes medidas:

- Contenido mínimo de cemento y relación máxima agua/cemento, según la tabla 43.2.1.a.
- Resistencia mínima del hormigón de acuerdo con la tabla 43.2.1.b.
- El árido fino deberá ser de cuarzo o tener un comportamiento equivalente respecto a su desgaste.
- El árido grueso deberá tener un coeficiente de Los Ángeles inferior a 30.
- Contenido máximo de cemento, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 43.3.5. Contenido máximo de cemento en clases de exposición XM

Tamaño máximo del árido, D (mm)	Contenido máximo de cemento (kg/m <sup>3</sup> )
10	400
20	375
40	350

- Curado prolongado, con duración, al menos, un 50% superior a la que se aplicará, a igualdad del resto de condiciones, a un hormigón no sometido a erosión.

- Los recubrimientos mínimos de la armadura deberá ser conforme con la Tabla 44.5.

### 43.3.6 Influencia de la fisuración en la durabilidad

La durabilidad es, junto a consideraciones funcionales y de aspecto, uno de los criterios en los que se basa la necesidad de limitar la abertura de fisura. Los valores máximos a considerar, en función de la clase de exposición ambiental, serán los indicados en la tabla 27.2.

## 43.4 Medidas específicas para la fase de ejecución

### 43.4.1 Recubrimiento nominal

El recubrimiento de hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie de hormigón más cercana. A los efectos de este Código, se define como recubrimiento mínimo de una armadura aquél que debe cumplirse en cualquier punto de la misma. Para garantizar estos valores mínimos, los planos de proyecto reflejarán los recubrimientos nominales de las armaduras, obtenidos de acuerdo con la siguiente expresión:

$$c_{non} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

donde:

$c_{non}$  : recubrimiento nominal, en mm

$c_{min}$ : recubrimiento mínimo, en mm, según los apartados 44.2.1, 44.3, 44.4 o 44.5.

$\Delta c_{dev}$ : margen de recubrimiento, en función del nivel de control de ejecución, y cuyo valor será conforme a la Tabla 43.5.1.

Tabla 43.4.1. Margen de recubrimiento en función del nivel de control de ejecución

Tipo de elemento	$\Delta c_{dev}$ [mm]
Elementos prefabricados con nivel intenso de control de ejecución en la instalación de prefabricación	0
Elementos ejecutados <i>in situ</i> con nivel intenso de control de ejecución	5
Otros casos	10

El recubrimiento nominal determina el tamaño de los separadores a disponer en la armadura pasiva durante la fase de ejecución. Por su parte, los recubrimientos mínimos deben cumplirse en cualquier punto del elemento estructural y constituyen una referencia a comprobar durante el control de ejecución, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 66.

En algunos casos y en función del riesgo de incendio u otros criterios adicionales, puede ser necesario incrementar los valores considerados para el recubrimiento mínimo.

#### **43.4.2 Separadores**

Los recubrimientos deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos separadores colocados en obra con las dimensiones de los recubrimientos nominales.

Estos calzos o separadores deberán disponerse de acuerdo con 49.8.2. Deberán estar constituidos por materiales resistentes a la alcalinidad del hormigón y no inducir corrosión de las armaduras. Deben ser al menos tan impermeables al agua como el hormigón y ser resistentes a los ataques químicos a que se puede ver sometido este.

Independientemente de que sean provisionales o definitivos, deberán ser de hormigón, mortero, plástico rígido o material similar y haber sido específicamente diseñados para este fin.

Si los separadores son de hormigón, éste deberá ser, en cuanto a resistencia, permeabilidad, higroscopicidad, dilatación térmica, etc., de una calidad comparable a la del utilizado en la construcción de la pieza. Análogamente, si son de mortero, su calidad deberá ser semejante a la del mortero contenido en el hormigón de la obra.

Cuando se utilicen separadores constituidos con material que no contenga cemento, aquellos deberán, para asegurar su buen enlace con el hormigón de la pieza, presentar orificios cuya sección total sea al menos equivalente al 25% de la superficie total del separador.

Se prohíbe el empleo de madera así como el de cualquier material residual de construcción, aunque sea ladrillo u hormigón. En el caso de que puedan quedar vistos, se prohíbe asimismo el empleo de materiales metálicos. En cualquier caso, los materiales componentes de los separadores no deberán tener amianto.

#### **43.4.3 Contacto entre armaduras de diferentes tipos**

En el caso de empleo de armaduras de acero inoxidable se permite que estén en contacto con acero convencional. Si se precisa realizar una soldadura entre el acero inoxidable y el acero al carbono, el material de aportación debe ser sobre-alead, para garantizar unas adecuadas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión de la unión.

Cuando se usen armaduras galvanizadas se evitará cualquier contacto con otras de acero convencional, mediante el empleo de otros procedimientos como, por ejemplo, elementos de plástico expresamente fabricados para esta finalidad.

#### **43.5 Medidas específicas para la fase de uso**

El proyecto deberá identificar todos los criterios que, derivados de la estrategia de durabilidad adoptada, deban ser tenidos en cuenta por la propiedad durante la fase de uso de la estructura. Dichos criterios deberán ser incorporados, en su caso, al plan y al programa de mantenimiento de acuerdo con lo indicado en el Artículo 24.

## **Artículo 44 Consideraciones adicionales específicas en función de la clase de exposición**

### **44.1 Criterios generales**

El autor del proyecto definirá su estrategia de durabilidad mediante la comprobación de la durabilidad de los elementos, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XC, XS ó XD, como criterio general se comprobará que no se fisura el recubrimiento como consecuencia de la corrosión, según 44.2.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XF, se comprobará que no hay daño por ciclos hielo/deshielo, según 44.3.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XA, se comprobará que no hay daño por ataque químico al hormigón, según 44.4.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XM, se comprobará que no hay daño por erosión del hormigón, según 44.5.

### **44.2 Clases de exposición X0, XC, XS y XD. Fisuración del recubrimiento debido a la corrosión de la armadura**

#### **44.2.1 Espesores de recubrimiento**

##### **44.2.1.1 Armaduras pasivas y armaduras activas pretesas**

Para cualquier clase de armaduras pasivas (incluso estribos) o armaduras activas pretesas, el recubrimiento mínimo debido a criterios de durabilidad no será, en ningún punto, inferior a los valores mínimos recogidos en las tablas 44.2.1.1.a y 44.2.1.1.b.

Tabla 44.2.1.1.a Recubrimientos mínimos (mm),  $C_{min}$ , para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por carbonatación

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm <sup>2</sup> ]	Vida útil de proyecto (tL), (años)	
			50	100
X0	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
XC1, XC2 ó XC3	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
XC4	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

Tabla 44.2.1.1.b Recubrimiento mínimo (mm),  $C_{min}$ , para las clases de exposición relacionadas con la corrosión por cloruros

Tipo de elemento	Cemento	Vida útil de proyecto (t <sub>g</sub> ) (años)	Clase de exposición			
			XS1,	XS2	XS3	XD1, XD2, XD3
Hormigón armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsílíce superior al 6%, de cenizas volantes superior al 20%	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 28	50	45	40	*	*
		100	65	*	*	*
Hormigón pretensado	CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 28	50	65	45	*	*
		100	*	*	*	*

(\*) Estas situaciones obligan a unos recubrimientos excesivos, desaconsejables desde el punto de vista de la ejecución del elemento. En estos casos, se recomienda realizar un estudio específico para establecer el espesor de recubrimiento necesario en función de las condiciones de agresividad y la vida útil requerida.

Se entiende que los anteriores valores de recubrimiento mínimo por motivos de durabilidad, están asociados al cumplimiento simultáneo de las especificaciones mínimas de dosificación del hormigón contempladas en 43.2.1 para cada clase de exposición.

Además, el recubrimiento de las armaduras pasivas y de armaduras activas pretesas, deberá cumplir las siguientes condiciones:

- a) Cuando se trata de armaduras principales, el recubrimiento deberá ser igual o superior al diámetro de dicha barra (o diámetro equivalente si se trata de un grupo de barras) y a 0,80 veces el tamaño máximo del árido, salvo que la disposición de armaduras respecto a los paramentos dificulte el paso del hormigón, en cuyo caso se tomará 1,25 veces el tamaño máximo del árido, definido según el apartado 34.3.
- b) El recubrimiento de las barras dobladas no será inferior a dos diámetros, medido en dirección perpendicular al plano de la curva.
- c) En el caso de elementos (viguetas o placas) prefabricados en instalación industrial fija, para forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado, el proyectista podrá contar, además del recubrimiento del hormigón, con el espesor de los revestimientos del forjado que sean compactos e impermeables y tengan carácter de definitivos y permanentes, al objeto de cumplir los requisitos del punto c) anterior. En estos casos, el recubrimiento real de hormigón no podrá ser nunca inferior a 15 mm.
- d) Cuando se trate de superficies límites de hormigonado que en situación definitiva queden embebidas en la masa del hormigón, el recubrimiento no será menor que el diámetro de la barra o diámetro equivalente cuando se trate de grupo de barras, ni que 0,8 veces el tamaño máximo del árido.

Cuando por exigencias de cualquier tipo (durabilidad, protección frente a incendios o utilización de grupos de barras), el recubrimiento sea superior a 50 mm, deberá considerarse la posible conveniencia de colocar una malla de reparto que cumpla las siguientes condiciones:

- diámetro no superior a 12 mm,
- colocada en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción y
- con una cuantía geométrica del 5 por mil del área del recubrimiento para barras o grupos de barras de diámetro (o diámetro equivalente).

En función de la agresividad del ambiente, se valorará la conveniencia de que la malla sea de acero inoxidable o galvanizado, en cuyo caso, deberán cumplir lo indicado en 43.3.1.5 ó 43.3.1.6, respectivamente.

En piezas hormigonadas contra el terreno, el recubrimiento mínimo será 70 mm, salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza, no rigiendo en este caso lo establecido en el párrafo anterior.

## Comentarios

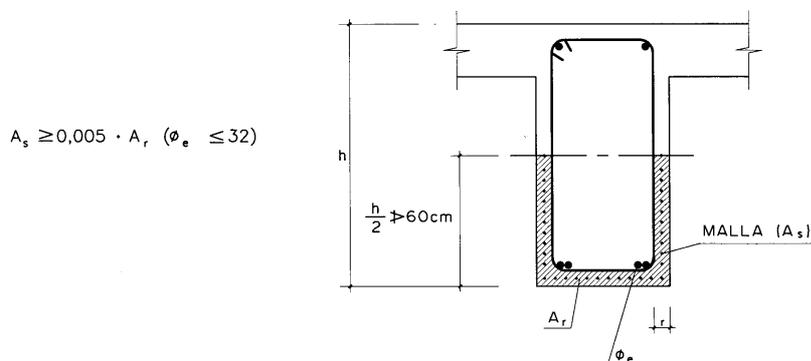
El espesor del recubrimiento constituye un parámetro de gran importancia para lograr una protección adecuada de la armadura durante la vida de servicio de la estructura. El período durante el que el hormigón del recubrimiento protege a las armaduras es función del cuadrado del espesor del recubrimiento. Esto conlleva que una disminución del recubrimiento a la mitad de su valor nominal, se traduzca en un período de protección de la armadura reducido a la cuarta parte.

En muros hormigonados contra el terreno, así como en el caso de pantallas y pilotes, la propia técnica constructiva conlleva unos sobredimensionamientos que hacen que, sólo en estos casos, no sea necesaria la especificación adicional de 70 mm de recubrimiento mínimo que establece el apartado e) del presente artículo.

En el caso de láminas, dado su reducido espesor y teniendo en cuenta que son elementos que deben ejecutarse con especial cuidado, podrá adoptarse un margen de recubrimiento nulo. En piezas pretensadas con armaduras pretesas, por razones de adherencia y para evitar los efectos de una posible fisuración longitudinal sobre la durabilidad, se recomiendan los siguientes valores para los recubrimientos:

- para cordones o alambres lisos: dos veces el diámetro del cordón o alambre
- para alambres grafilados o indentados: tres veces el diámetro del alambre

En el caso de vigas usuales, la aplicación del articulado conduce a una disposición de la malla de reparto  $A_s$  como se



### 44.2.1.2 Armaduras activas postesas

En el caso de las armaduras activas postesas, los recubrimientos mínimos en las direcciones horizontal y vertical (figura 44.2.1.2) serán por lo menos iguales al mayor de los límites siguientes, y no podrán ser nunca superiores a 80 mm:

- 40 mm;
- el mayor de los valores siguientes: la menor dimensión o la mitad de la mayor dimensión de la vaina o grupos de vainas en contacto.

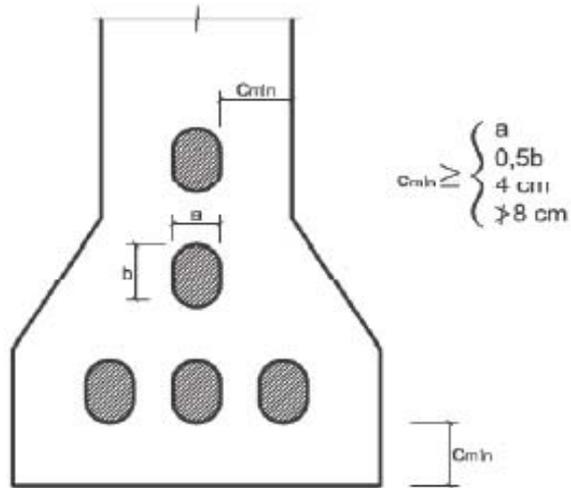


Figura 44.2.1.2

#### 44.3 Clases de exposición XF. Ataque al hormigón por ciclos hielo/deshielo con sales fundentes o sin ellas.

El autor del proyecto podrá considerar comprobado el cumplimiento de las especificaciones relativas a este tipo de daño cuando se cumplan simultáneamente:

- Los criterios mínimos de dosificación, según 43.2.1,
- Los criterios de resistencia al hielo-deshielo del apartado 43.3.3, y
- Los recubrimientos mínimos sean conformes con la Tabla 44.3.

Tabla 44.3 Recubrimientos mínimos,  $c_{min}$ , para las clases de exposición XF

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón $N/mm^2$	Vida útil de proyecto ( $t_L$ ), (años)	
			50	100
XF1, XF3	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cemento	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	35
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
XF2, XF4	CEM II/A-D	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	50
		$f_{ck} \geq 40$	15	35
	CEM III	$25 \leq f_{ck} < 40$	40	*
		$f_{ck} \geq 40$	20	40
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	40
		$f_{ck} \geq 40$	10	20

(\*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos

#### 44.4 Clases de exposición XA. Ataque químico al hormigón

El autor del proyecto podrá considerar comprobado el cumplimiento frente a este tipo de daño cuando se cumplan simultáneamente:

- Los criterios mínimos de dosificación, según 43.2.1,
- Los criterios específicos frente al ataque químico recogidos en 43.3.4, y
- Los recubrimientos mínimos sean conformes con la Tabla 44.4.

Clase de exposición	Tipo de cemento	Vida útil de proyecto ( $t_g$ ), (años)	
		50	100
XA1	CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	40	55
	Resto de cementos utilizables	*	*
XA2, XA3	Cualquiera	(1)	(1)

(\*) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos

(1) El Autor del proyecto deberá fijar estos valores de recubrimiento mínimo y, en su caso, medidas adicionales, al objeto de que se garantice adecuadamente la protección del hormigón y de las armaduras frente a la agresión química concreta de que se trate.

Tabla 44.4 Recubrimientos mínimos para las clases de exposición XA

Adicionalmente, el autor del proyecto valorará el efecto que puede tener la adopción de medidas de control frente a la agresividad del ataque químico y que, en general, serán aquellas que impidan o ralenticen la reactividad química de los componentes del hormigón

#### **44.5 Clases de exposición XM. Desgaste por erosión en el hormigón**

El autor del proyecto podrá considerar comprobado el cumplimiento frente a este tipo de daño cuando se cumplan simultáneamente:

- Los criterios mínimos de dosificación, según 43.2.1,
- Los criterios específicos frente al ataque por erosión recogidos en 43.3.5, y
- Los recubrimientos mínimos sean los obtenidos de la aplicación del resto de criterios (mecánicos o de durabilidad) más un sobreepesor de acuerdo con lo indicado en la siguiente tabla:

Clase de exposición	Sobreepesor del recubrimiento, en mm
XM1	5
XM2	10
XM3	15

Tabla 44.5 Sobreepesor del recubrimiento para las clases de exposición XM

# **Capítulo 10**

## **Estructuras de hormigón. Dimensionamiento y comprobación**

## **Contenidos del capítulo**

<b>ARTÍCULO 45</b>	<b>COMPROBACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>ARTÍCULO 46</b>	<b>PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN FRENTE AL FUEGO .....</b>	<b>3</b>
<b>ARTÍCULO 47</b>	<b>PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN FRENTE AL SISMO .....</b>	<b>3</b>

### **Artículo 45 Comprobación y dimensionamiento de las estructuras de hormigón**

Para el análisis estructural, el dimensionamiento y la comprobación de las estructuras de hormigón, el autor del proyecto empleará el conjunto de principios y reglas establecidos en los Anejos 19 y 21.

### **Artículo 46 Proyecto de estructuras de hormigón frente al fuego**

En el caso de estructuras de hormigón que puedan estar sometidas a la acción del fuego, se estará a lo dispuesto en el Anejo 20.

### **Artículo 47 Proyecto de estructuras de hormigón frente al sismo**

En el caso de estructuras de hormigón que puedan estar sometidas a la acción del sismo, será de aplicación la correspondiente reglamentación específica.

# **Capítulo 11**

## **Ejecución de estructuras de hormigón**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 48 PROCESOS PREVIOS A LA COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS .....</b>	<b>5</b>
48.1 REPLANTEO DE LA ESTRUCTURA .....	5
48.2 CIMBRAS Y APUNTALAMIENTOS .....	5
48.3 ENCOFRADOS Y MOLDES .....	6
48.4 PRODUCTOS DESENCOFRANTES .....	8
<b>ARTÍCULO 49 PROCESOS DE ELABORACIÓN, ARMADO Y MONTAJE DE LAS ARMADURAS PASIVAS .....</b>	<b>8</b>
49.1 SUMINISTRO DE PRODUCTOS DE ACERO PARA ARMADURAS PASIVAS .....	9
49.1.1 <i>Suministro del acero</i> .....	9
49.1.2 <i>Suministro de las mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía</i> .....	9
49.2 INSTALACIONES DE FERRALLA .....	9
49.2.1 <i>Generalidades</i> .....	9
49.2.2 <i>Maquinaria</i> .....	10
49.2.3 <i>Almacenamiento y gestión de los acopios</i> .....	10
49.2.4 <i>Control de producción</i> .....	11
49.3 CRITERIOS GENERALES PARA LOS PROCESOS DE FERRALLA .....	12
49.3.1 <i>Despiece</i> .....	12
49.3.2 <i>Enderezado</i> .....	13
49.3.3 <i>Corte</i> .....	13
49.3.4 <i>Doblado</i> .....	13
49.4 ARMADO DE LA FERRALLA.....	14
49.4.1 <i>Distancia entre barras de armaduras pasivas</i> .....	14
49.4.1.1 <i>Barras aisladas</i> .....	15
49.4.1.2 <i>Grupos de barras</i> .....	15
49.4.2 <i>Operaciones de pre-armado</i> .....	16
49.4.3 <i>Operaciones de armado</i> .....	16
49.4.3.1 <i>Consideraciones generales sobre el armado</i> .....	16
49.4.3.2 <i>Consideraciones específicas sobre la soldadura no resistente</i> .....	17
49.5 CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA EL ANCLAJE Y EMPALME DE LAS ARMADURAS .....	18
49.5.1 <i>Anclaje de las armaduras pasivas</i> .....	18
49.5.1.1 <i>Generalidades</i> .....	18
49.5.1.2 <i>Anclaje de barras corrugadas</i> .....	20
49.5.1.3 <i>Reglas especiales para el caso de grupos de barras</i> .....	22
49.5.1.4 <i>Anclaje de mallas electrosoldadas</i> .....	23
49.5.2 <i>Empalme de las armaduras pasivas</i> .....	24
49.5.2.1 <i>Generalidades</i> .....	24
49.5.2.2 <i>Empalmes por solapo</i> .....	24
49.5.2.3 <i>Empalmes por solapo de grupos de barras</i> .....	25
49.5.2.4 <i>Empalmes por solapo de mallas electrosoldadas</i> .....	26
49.5.2.5 <i>Empalmes por soldadura resistente</i> .....	27
49.5.2.6 <i>Empalmes mecánicos</i> .....	28
49.6 SUMINISTRO DE LAS ARMADURAS ELABORADAS Y FERRALLA ARMADA.....	29
49.7 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.....	29
49.8 MONTAJE DE LAS ARMADURAS .....	29
49.8.1 <i>Generalidades</i> .....	29
49.8.2 <i>Disposición de separadores</i> .....	29

<b>ARTÍCULO 50 PROCESOS DE COLOCACIÓN Y TESADO DE LAS ARMADURAS</b>	
<b>ACTIVAS</b>	<b>30</b>
50.1	SISTEMAS DE APLICACIÓN DEL PRETENSADO ..... 30
50.1.1	<i>Generalidades</i> ..... 30
50.1.2	<i>Equipos para la aplicación del pretensado</i> ..... 31
50.2	PROCESOS PREVIOS AL TESADO DE LAS ARMADURAS ACTIVAS..... 31
50.2.1	<i>Suministro y almacenamiento de elementos de pretensado</i> ..... 31
50.2.1.1	Unidades de pretensado..... 31
50.2.1.2	Dispositivos de anclaje y empalme ..... 32
50.2.1.3	Vainas y accesorios de pretensado ..... 32
50.2.1.4	Productos de inyección..... 33
50.2.2	<i>Colocación de las armaduras activas</i> ..... 33
50.2.2.1	Colocación de vainas y tendones..... 33
50.2.2.2	Colocación de desviadores ..... 34
50.2.2.3	Distancia entre armaduras activas pretesas..... 34
50.2.2.4	Distancia entre armaduras activas postesas ..... 35
50.2.3	<i>Adherencia de las armaduras activas al hormigón</i> ..... 36
50.2.4	<i>Empalmes de las armaduras activas</i> ..... 36
50.3	PROCESOS DE TESADO DE LAS ARMADURAS ACTIVAS ..... 36
50.3.1	<i>Generalidades</i> ..... 36
50.3.2	<i>Programa de tesado</i> ..... 37
50.3.3	<i>Tensión máxima inicial admisible en las armaduras</i> ..... 38
50.3.4	<i>Retesado de armaduras postesas</i> ..... 38
50.4	PROCESOS POSTERIORES AL TESADO DE LAS ARMADURAS ACTIVAS..... 38
50.4.1	<i>Inyección de las vainas en armaduras postesas</i> ..... 38
50.4.1.1	Generalidades..... 38
50.4.1.2	Preparación de la mezcla ..... 39
50.4.1.3	Programa de inyección ..... 39
50.4.1.4	Ejecución de la inyección ..... 40
50.4.1.5	Medidas de seguridad durante la inyección..... 41
50.4.2	<i>Destesado de armaduras pretesas</i> ..... 41
<b>ARTÍCULO 51 FABRICACIÓN Y SUMINISTRO DEL HORMIGÓN ..... 42</b>	
51.1	PRESCRIPCIONES GENERALES ..... 42
51.1.1	<i>Consideraciones adicionales para hormigones especiales</i> ..... 42
51.2	INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN ..... 42
51.2.1	<i>Generalidades</i> ..... 42
51.2.2	<i>Sistemas de almacenamiento y gestión de los acopios</i> ..... 43
51.2.2.1	Cemento..... 43
51.2.2.2	Áridos ..... 43
51.2.2.3	Agua ..... 43
51.2.2.4	Adiciones ..... 43
51.2.2.5	Aditivos..... 44
51.2.3	<i>Instalaciones de dosificación</i> ..... 44
51.2.3.1	Cemento..... 44
51.2.3.2	Áridos ..... 44
51.2.3.3	Agua ..... 45
51.2.3.4	Adiciones ..... 45
51.2.3.5	Aditivos..... 45
51.2.4	<i>Equipos de amasado</i> ..... 45
51.2.5	<i>Control de producción</i> ..... 46
51.3	FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN..... 47
51.3.1	<i>Suministro de materiales componentes</i> ..... 47

51.3.2	<i>Dosificación de materiales componentes</i> .....	47
51.3.2.1	Criterios generales .....	47
51.3.2.2	Cemento.....	47
51.3.2.3	Áridos .....	48
51.3.2.4	Agua .....	48
51.3.2.5	Adiciones .....	48
51.3.2.6	Aditivos.....	48
51.3.3	<i>Amasado del hormigón</i> .....	48
51.3.4	<i>Designación y características</i> .....	49
51.4	TRANSPORTE Y SUMINISTRO DEL HORMIGÓN.....	50
51.4.1	<i>Transporte del hormigón</i> .....	50
51.4.2	<i>Suministro del hormigón</i> .....	50
<b>ARTÍCULO 52 PUESTA EN OBRA Y CURADO DEL HORMIGÓN .....</b>		<b>51</b>
52.1	VERTIDO Y COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN .....	51
52.2	COMPACTACIÓN DEL HORMIGÓN .....	52
52.3	PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN EN CONDICIONES CLIMÁTICAS ESPECIALES .....	52
52.3.1	<i>Hormigonado en tiempo frío</i> .....	52
52.3.2	<i>Hormigonado en tiempo caluroso</i> .....	53
52.4	JUNTAS DE HORMIGONADO .....	53
52.5	CURADO DEL HORMIGÓN .....	54
<b>ARTÍCULO 53 PROCESOS POSTERIORES AL HORMIGONADO .....</b>		<b>54</b>
53.1	DESENCOFRADO Y DESMOLDEO .....	54
53.2	DESCIMBRADO Y DESAPUNTALADO .....	54
53.3	ACABADO DE SUPERFICIES .....	55
<b>ARTÍCULO 54 ELEMENTOS PREFABRICADOS .....</b>		<b>55</b>
54.1	TRANSPORTE, DESCARGA Y MANIPULACIÓN.....	55
54.2	ACOPIO EN OBRA.....	56
54.3	MONTAJE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	56
54.3.1	<i>Viguetas y losas alveolares</i> .....	56
54.3.1.1	Colocación de viguetas y piezas de entrevigado .....	56
54.3.1.2	Desapuntalado .....	57
54.3.1.3	Realización de tabiques divisorios .....	57
54.3.2	<i>Otros elementos prefabricados lineales</i> .....	57
54.4	UNIONES DE ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	57

## **Artículo 48 Procesos previos a la colocación de las armaduras**

### **48.1 Replanteo de la estructura**

A medida que se desarrolla el proceso de ejecución de la estructura, el constructor velará para que los ejes de los elementos, las cotas y la geometría de las secciones de cada uno de elementos estructurales, sean conformes con lo establecido en el proyecto, teniendo para ello en cuenta las tolerancias establecidas en el mismo o, en su defecto, en el Anejo 14 de este Código.

### **48.2 Cimbras y apuntalamientos**

Antes de su empleo en la obra, el constructor deberá disponer de un proyecto de la cimbra en el que, al menos, se contemplen los siguientes aspectos:

- justifique su seguridad, así como límite las deformaciones de la misma antes y después del hormigonado,
- contenga la memoria descriptiva de la cimbra incluyendo la descripción detallada de los elementos constituyentes de la misma con sus características y especificaciones generales sobre su montaje y su capacidad de carga hasta entregar las cargas resistidas a otros elementos, distintos de la cimbra, en cuanto a su tipología y a sus elementos constituyentes, que transmitirán dichas cargas al suelo a través de zapatas o de otros elementos resistentes.
- contenga unos planos que definan completamente la cimbra y sus elementos, y
- contenga un pliego de prescripciones que indique las características que deben cumplir, en su caso, los perfiles metálicos, los tubos, las grapas, los elementos auxiliares y cualquier otro elemento que forme parte de la cimbra.-

Además, el constructor deberá disponer de un procedimiento escrito para el montaje y desmontaje de la cimbra o apuntalamiento, en el que se especifiquen los requisitos para su manipulación, ajuste, contraflechas, carga, desenclavamiento y desmantelamiento. Se comprobará también que, en caso de que fuera preciso, existe un procedimiento escrito para la colocación del hormigón, de forma que se logre limitar las flechas y los asentamientos.

Además, la dirección facultativa dispondrá de un certificado, facilitado por el constructor y firmado por persona física, en el que se garantice que los elementos empleados realmente en la construcción de la cimbra cumplen las especificaciones definidas en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto de dicha cimbra.

En el caso de hormigón pretensado, las cimbras deberán resistir adecuadamente la redistribución de cargas que se origina durante el tesado de las armaduras como consecuencia de la transferencia de los esfuerzos de pretensado al hormigón.

En el caso de estructuras de edificación, las cimbras se realizarán preferentemente, de acuerdo con lo indicado en UNE-EN 12812, y los apuntalamientos, preferentemente, de acuerdo con lo indicado en UNE-EN 1065, UNE-EN 16031 y UNE 180201, en sus respectivos ámbitos de aplicación. Se dispondrán durmientes de reparto para el apoyo de los puntales, cuando se transmita carga al terreno o a forjados aligerados y en el caso de que dichos durmientes descansen directamente sobre el terreno, habrá que cerciorarse de que no puedan asentarse en él. Las cimbras deberán estabilizarse en las dos direcciones para que el apuntalamiento sea capaz de resistir los esfuerzos horizontales que pueden producirse durante la ejecución de los forjados, para lo que podrán emplearse cualquiera de los siguientes procedimientos:

- arriostramiento de los puntales en ambas direcciones, por ejemplo con tubos o abrazaderas, de forma que el apuntalamiento sea capaz de resistir los mencionados esfuerzos horizontales y, al menos, el 2% de las cargas verticales soportadas contando entre ellas la sobrecarga de construcción, o el 1% de dichas cargas si el sistema de elementos sustentantes empleado está en posesión de un distintivo oficialmente reconocido.
- transmisión de los esfuerzos a pilares o muros, en cuyo caso deberá comprobarse que dichos elementos tienen la capacidad resistente y rigidez suficientes, o
- disposición de torres de cimbra en ambas direcciones a las distancias adecuadas.

Cuando los forjados tengan un peso propio mayor que  $5 \text{ kN/m}^2$  o cuando la altura de los puntales sea mayor que 3,5 m, el constructor deberá disponer de un estudio detallado del sistema de apuntalamiento, que deberá ser aprobado por la Dirección Facultativa.

Para los forjados, las sopandas se colocarán a las distancias indicadas en los planos de ejecución del forjado.

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

En el caso de puentes, deberá asegurarse que las deformaciones de la cimbra durante el proceso de hormigonado no afecten de forma negativa a otras partes de la estructura ejecutadas previamente.

### **48.3 Encofrados y moldes**

Los encofrados y moldes deberán ser capaces de resistir las acciones a las que van a estar sometidos durante el proceso de construcción y tener la rigidez suficiente para asegurar que se van a satisfacer las tolerancias especificadas en el proyecto. Además, deberán poder retirarse sin causar sacudidas anormales ni daños en el hormigón.

Se realizarán, preferentemente, conforma a la Norma UNE 180201.

Con carácter general, deberán presentar al menos las siguientes características:

- estanqueidad suficiente de las juntas entre los paneles de encofrado o en los moldes, previendo que las posibles fugas de lechada por las mismas no comprometan el acabado previsto para el elemento ni su durabilidad;
- resistencia adecuada a las presiones del hormigón fresco y a los efectos del método de compactación;
- alineación y en su caso, verticalidad de los paneles de encofrado, prestando especial interés a la continuidad en la verticalidad de los pilares en su cruce con los forjados en el caso de estructuras de edificación;
- mantenimiento de la geometría de los paneles de moldes y encofrados, con ausencia de abolladuras fuera de las tolerancias establecidas en el proyecto o, en su defecto, por este Código;
- limpieza de la cara interior de los moldes, evitándose la existencia de cualquier tipo de residuo propio de las labores de montaje de las armaduras, tales como restos de alambre, recortes, casquillos, etc.;
- mantenimiento, en su caso, de las características que permitan texturas específicas en el acabado del hormigón, como por ejemplo, bajorrelieves, impresiones, etc.

Cuando sea necesario el uso de encofrados dobles o encofrados contra el terreno natural, como por ejemplo, en tableros de puente de sección cajón, cubiertas laminares, etc. deberá garantizarse la operatividad de las ventanas por las que esté previsto efectuar las operaciones posteriores de vertido y compactación del hormigón.

En el caso de elementos pretensados, los encofrados y moldes deberán permitir el correcto emplazamiento y alojamiento de las armaduras activas, sin merma de la necesaria estanqueidad.

En elementos de gran longitud, se adoptarán medidas específicas para evitar movimientos indeseados durante la fase de puesta en obra del hormigón.

La superficie encofrante que estará en contacto directo con el hormigón, tanto en los encofrados como en los moldes, deberá ser capaz de mantener las características necesarias para que los elementos de hormigón estructural reproduzcan adecuadamente la geometría prevista para ellos en el proyecto, así como para dotar a las caras vistas de dichos elementos de la textura y la uniformidad especificada, en su caso, en dicho proyecto.

En los encofrados susceptibles de movimiento durante la ejecución, como por ejemplo, en encofrados trepantes o encofrados deslizantes, la dirección facultativa podrá exigir que el constructor realice una prueba en obra sobre un prototipo, previa a su empleo real en la estructura, que permita evaluar el comportamiento durante la fase de ejecución. Dicho prototipo, a juicio de la dirección facultativa, podrá formar parte de una unidad de obra.

Los encofrados y moldes podrán ser de cualquier material que no perjudique a las propiedades del hormigón. Cuando sean de madera, deberán humedecerse previamente para evitar que absorban el agua contenida en el hormigón. Por otra

parte, las piezas de madera se dispondrán de manera que se permita su libre entumecimiento, sin peligro de que se originen esfuerzos o deformaciones anormales. No podrán emplearse encofrados de aluminio, salvo que pueda facilitarse a la dirección facultativa un certificado, elaborado por una entidad de control y firmado por persona física, de que los paneles empleados han sido sometidos con anterioridad a un tratamiento de protección superficial que evite la reacción con los álcalis del cemento.

En todos los casos se realizará correctamente la unión de los elementos complementarios para la seguridad (tales como: barandillas de protección, dispositivos de anclaje para redes de seguridad, dispositivos de anclaje preparados para los equipos de protección individual y, en general, cualquier otro elemento destinado a dotar de seguridad al sistema de encofrado, diseñado y fabricado por el fabricante del mismo) a la estructura resistente del encofrado o molde y, en su caso, de las cimbras y apuntalamientos.

#### **48.4 Productos desencofrantes**

Salvo indicación expresa de la dirección facultativa, el constructor podrá seleccionar los productos empleados para facilitar el desencofrado y el fabricante de elementos prefabricados los correspondientes al desmoldeo. Los productos serán de la naturaleza adecuada y deberán elegirse y aplicarse de manera que no sean perjudiciales para las propiedades o el aspecto del hormigón, que no afecten a las armaduras o los encofrados, y que no produzcan efectos perjudiciales para el medioambiente. No se permitirá la aplicación de gasóleo, grasa corriente o cualquier otro producto análogo.

Además, no deberán impedir la posterior aplicación de revestimientos superficiales, ni la posible ejecución de juntas de hormigonado.

Previamente a su aplicación, el constructor facilitará a la dirección facultativa un certificado, firmado por persona física, que refleje las características del producto desencofrante que se pretende emplear, así como sus posibles efectos sobre el hormigón.

Se aplicarán en capas continuas y uniformes sobre la superficie interna del encofrado o molde, debiéndose verter el hormigón dentro del período de tiempo en el que el producto sea efectivo según el certificado al que se refiere el párrafo anterior.

### **Artículo 49 Procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras pasivas**

A los efectos de este Código se define como:

- Ferralla: conjunto de los procesos de transformación del acero corrugado o grafilado, suministrado en barras o rollos, según el caso, que tienen por finalidad la elaboración de armaduras pasivas y que, por lo tanto, incluyen las operaciones de corte, doblado, soldadura, enderezado, etc.

- Armado: proceso por el que se proporciona la disposición geométrica definitiva a la ferralla, a partir de armaduras elaboradas o de mallas electrosoldadas.
- Montaje: proceso de colocación de la ferralla armada en el encofrado, conformando la armadura pasiva, para lo que deberá prestarse especial atención a la disposición de separadores y cumplimiento de las exigencias de recubrimientos del proyecto, así como lo establecido al efecto en este Código.

La ferralla armada, conforme con el apartado 35.3, podrá ser realizada, mediante la aplicación de los procesos a los que se refiere el apartado 49.3, tanto en una instalación de ferralla industrializada ajena a la obra, como directamente por el constructor en la propia obra.

Los productos de acero que se empleen para la elaboración de las armaduras pasivas deberán cumplir las exigencias establecidas para los mismos en el Artículo 34. Asimismo, podrán también fabricarse armaduras, a partir de la transformación de mallas electrosoldadas, para lo que éstas deberán ser conformes con lo establecido para las mismas en este Código.

#### **49.1 Suministro de productos de acero para armaduras pasivas**

##### **49.1.1 Suministro del acero**

Cada partida de acero se suministrará acompañado de la correspondiente hoja de suministro, que deberán incluir su designación y cuyo contenido mínimo deberá ser conforme con lo indicado en el Anejo 4.

En el caso de que el producto de acero corrugado sea suministrado en rollo o proceda de operaciones de enderezado previas a su suministro, deberá indicarse explícitamente en la correspondiente hoja de suministro.

En el caso de barras corrugadas en las que, dadas las características del acero, se precise de procedimientos especiales para el proceso de soldadura, adicionales o alternativos a los contemplados en este Código, el fabricante deberá indicarlos.

##### **49.1.2 Suministro de las mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía**

Cada paquete de mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía debe llegar al punto de suministro (obra, taller de ferralla o almacén) con una hoja de suministro que incorpore, al menos, la información a la que se refiere el Anejo 4.

#### **49.2 Instalaciones de ferralla**

##### **49.2.1 Generalidades**

La elaboración de armaduras mediante procesos de ferralla requiere disponer de unas instalaciones que permitan desarrollar, al menos, las siguientes actividades:

- almacenamiento de los productos de acero empleados,

- proceso de enderezado, en el caso de emplearse acero corrugado suministrado en rollo
- procesos de corte, doblado, soldadura y armado, según el caso.

Al objeto de garantizar la trazabilidad de los productos de acero empleados en las instalaciones industriales de ferralla ajenas a la obra, la dirección facultativa podrá recabar evidencias sobre la misma.

Además, la instalación de ferralla deberá tener implantado un sistema de control de la producción que incluya ensayos e inspecciones sobre las armaduras elaboradas y ferralla armada, de acuerdo con el apartado 49.2.4 para lo que deberá disponer de un laboratorio de autocontrol, propio o contratado.

En el caso de instalaciones de ferralla en obra, la recepción de los productos de acero será responsabilidad de la dirección facultativa y los ensayos correspondientes se efectuarán por el laboratorio de control de la obra.

#### **49.2.2 Maquinaria**

En el caso de acero corrugado suministrado en rollo, el enderezado se efectuará con máquinas específicamente fabricadas para ello, y que permitan el desarrollo de procedimientos de enderezado de forma que no se alteren las características mecánicas y geométricas del material hasta provocar el incumplimiento de las exigencias establecidas por este Código. No podrán emplearse máquinas dobladoras para efectuar el enderezado.

Las operaciones de corte podrán realizarse mediante cizallas manuales o máquinas automáticas de corte. En este último caso, debe ser posible la programación de la máquina para adaptarse a las dimensiones establecidas en el correspondiente proyecto. No podrán utilizarse otros equipos que puedan provocar alteración relevante de las propiedades físico-metalúrgicas del material como por ejemplo, el corte con sopletes.

El doblado se efectuará mediante máquinas dobladoras manuales o automatizadas, que tengan la suficiente versatilidad para emplear los mandriles que permitan cumplir los radios de doblado que establece este Código en función del diámetro de la armadura.

La soldadura se efectuará con cualquier equipo que permita la realización de la misma por arco manual, por arco con gas de protección o mediante soldadura eléctrica por puntos, de acuerdo con la norma UNE EN ISO 17660.

También se podrán emplear otras máquinas auxiliares para la elaboración de las armaduras como, por ejemplo, para la disposición automática de estribos.

#### **49.2.3 Almacenamiento y gestión de los acopios**

Las instalaciones de ferralla dispondrán de áreas específicas para el almacenamiento de las partidas de productos de acero recibidos y de las remesas de armadura o ferralla fabricadas, a fin de evitar posibles deterioros o contaminaciones de las mismas, preferiblemente en zonas protegidas de la intemperie.

Se dispondrá de un sistema, preferentemente informatizado, para la gestión de los acopios que permita, en cualquier caso, conseguir la trazabilidad hasta el fabricante

del acero empleado, para cualquiera de los procesos desarrollados en la instalación de ferralla.

#### 49.2.4 Control de producción

Las instalaciones industriales de ferralla ajenas a la obra deberán tener implantado un sistema de control de producción que contemple la totalidad de los procesos que se lleven a cabo. Dicho control de producción incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

- a) control interno de cada uno de los procesos de ferralla,
- b) ensayos e inspecciones para el autocontrol de las armaduras elaboradas o, en su caso, de la ferralla armada,
- c) documento de autocontrol, en el que se recojan por escrito los tipos de comprobaciones, frecuencias de realización y los criterios de aceptación de la producción, y
- d) registro en el que se archiven y documenten todas las comprobaciones efectuadas en el control de producción.

El autocontrol de los procesos, al que se refiere el punto b), incluirá como mínimo las siguientes comprobaciones:

- Validación del proceso de enderezado, mediante la realización de ensayos de tracción determinando  $R_m$ ,  $R_e$ ,  $R_m/R_e$ ,  $R_e/R_e$  nom,  $A_{gt}$  y  $A_5$ . Se efectuarán dos ensayos mensuales por cada máquina, sobre muestras tomadas antes y después del proceso.

En el caso de emplearse únicamente acero en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, dicha periodicidad, podrá ser de un único ensayo mensual. Se irán alternando consecutivamente los diámetros hasta ensayar la totalidad de los diámetros utilizados por cada máquina, debiéndose cumplir las especificaciones indicadas en el apartado 49.3.2. En el caso de las armaduras fabricadas con productos de acero tipo B500SD en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, que cumplan simultáneamente que la relación  $R_m/R_e \geq 1,13$  y que la transformación (diferencia entre antes de enderezado y después de enderezado) de la relación  $R_m/R_e$  sea  $\leq 0,02$ , podrán comprobar según el criterio de Cosenza, que la ductilidad de dicho material es equivalente a la exigida para los productos de acero, para ello se realizará un ensayo de tracción al material enderezado y se comprobará el cumplimiento de la siguiente expresión:

$$A_{gt}^{0,75} \left( \frac{R_m}{R_e} - 1 \right)^{0,9} \geq 0,78$$

Además, se realizará una medición de altura de corruga o profundidad de grafila por cada máquina, sobre muestras tomadas antes y después del proceso. Estas comprobaciones deberán efectuarse diariamente y registrarse por cada máquina enderezadora en funcionamiento.

- Validación del proceso de corte, mediante la realización de determinaciones dimensionales sobre armaduras una vez cortadas. Se efectuarán al menos una medida diaria, correspondientes a cada máquina, en el caso de tratarse de corte automático o para cada operador, en el caso de corte manual. Las medidas obtenidas deberán estar dentro de las tolerancias establecidas por el proyecto o, en su defecto, por este Código.
- Validación del proceso de doblado, efectuando al menos una medida diaria sobre cada máquina, mediante la aplicación de plantillas de doblado sobre las armaduras.
- Validación del proceso de soldadura, ya sea resistente o no resistente, mediante el cumplimiento de lo estipulado en cuanto a requisitos de calidad en el apartado 8 de las normas UNE-EN-ISO 17660-1 y UNE-EN-ISO 17660-2.

En el caso de que las armaduras se elaboren en la obra, el constructor deberá efectuar un autocontrol equivalente al definido anteriormente para las instalaciones industriales ajenas a la obra.

### **49.3 Criterios generales para los procesos de ferralla**

#### **49.3.1 Despiece**

En el caso de las armaduras elaboradas o, en su caso, de la ferralla armada conforme a lo indicado en el apartado 35.3, se prepararán unas planillas de despiece de armaduras de acuerdo con los planos del proyecto, firmadas por la persona física responsable del mismo en la instalación de ferralla, deberán reflejar la geometría y características específicas de cada una de las diferentes formas, con indicación de la cantidad total de armaduras iguales a fabricar, así como la identificación de los elementos a los que están destinadas.

En ningún caso, las formas de despiece podrán suponer una disminución de las secciones de armadura establecidas en el proyecto.

En el caso de que el proyecto defina una distribución de formas específica, el despiece desarrollado en la instalación de ferralla deberá respetarla, salvo que la dirección facultativa o, en su caso la entidad de control de calidad, autorice por escrito otra disposición alternativa de formas de armado.

En otros casos, la instalación de ferralla podrá definir el despiece que considere más adecuado, cumpliendo lo establecido en el proyecto. El despiece será presentado previamente a la dirección facultativa que, en su caso, podrá modificarlo en un plazo que se acordará al inicio de la obra y que se recomienda que no sea superior a una semana.

Debe evitarse el empleo simultáneo de aceros con diferente designación. No obstante, cuando no exista peligro de confusión, podrán utilizarse en un mismo

elemento dos tipos diferentes de acero para las armaduras pasivas: uno para la armadura principal y otro para los estribos.

En el caso de vigas y elementos análogos sometidos a flexión, las barras que se doblen deberán ir convenientemente envueltas por cercos o estribos en la zona del codo. Esta disposición es siempre recomendable, cualquiera que sea el elemento de que se trate. En estas zonas, cuando se doblen simultáneamente muchas barras, resulta aconsejable aumentar el diámetro de los estribos o disminuir su separación.

#### **49.3.2 Enderezado**

Cuando se utilicen productos de acero suministrados en rollo, deberá procederse a su enderezado al objeto de proporcionarle una alineación recta. Para ello, se emplearán máquinas fabricadas específicamente para este propósito y que cumplan lo indicado en el apartado 49.2.2.

Como consecuencia del proceso de enderezado, la máxima variación que se produzca para la deformación bajo carga máxima deberá ser inferior al 2,5%. Considerando que 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, pueden aceptarse procesos que presenten variaciones de  $\varepsilon_{\text{máx}}$  que sean superiores al valor indicado en un 0,5%, siempre que se cumplan los valores de especificación de la armadura recogidos en el Artículo 35.

Además, la altura de corruga resultante después del proceso de enderezado, se mantendrá en el intervalo de 0.03d a 0.15d.

#### **49.3.3 Corte**

Las barras, alambres y mallas empleados para la elaboración de las armaduras se cortarán ajustándose a los planos e instrucciones del proyecto, mediante procedimientos manuales (cizalla, etc.) o maquinaria específica de corte automático.

El proceso de corte no deberá alterar las características geométricas o mecánicas de los productos de acero empleados.

#### **49.3.4 Doblado**

Las armaduras pasivas se doblarán previamente a su colocación en los encofrados y ajustándose a los planos e instrucciones del proyecto. Esta operación se realizará a temperatura ambiente, mediante dobladoras mecánicas, con velocidad constante, y con la ayuda de mandriles, de modo que la curvatura sea constante en toda la zona. Excepcionalmente, en el caso de barras parcialmente hormigonadas, podrá admitirse el doblado en obra por procedimientos manuales.

No se admitirá el enderezamiento de codos, incluidos los de suministro, salvo cuando esta operación pueda realizarse sin daño, inmediato o futuro, para la barra correspondiente.

Asimismo, no debe doblarse un número elevado de barras en una misma sección de la pieza, con objeto de no crear una concentración de tensiones en el hormigón que pudiera llegar a ser peligrosa.

Si resultase imprescindible realizar desdoblados en obra, como por ejemplo en el caso de algunas armaduras en espera, éstos se realizarán de acuerdo con procesos o criterios de ejecución contrastados, debiéndose comprobar que no se han producido fisuras o fracturas en las mismas. En caso contrario, se procederá a la sustitución de los elementos dañados. Si la operación de desdoblado se realizase en caliente, deberá ser con un procedimiento aprobado por la dirección facultativa, adoptando adicionalmente las medidas adecuadas para no dañar el hormigón con las altas temperaturas.

El diámetro mínimo de doblado de una barra ha de ser tal que evite compresiones excesivas y hendimiento del hormigón en la zona de curvatura de la barra, debiendo evitarse fracturas en la misma originadas por dicha curvatura. Para ello, salvo indicación en contrario del proyecto, se realizará con mandriles de diámetro no inferior a los indicados en la tabla 49.3.4.

Tabla 49.3.4 Diámetro mínimo de los mandriles

Acero	Ganchos, patillas y gancho en U (ver figura 49.5.1.1)		Barras dobladas y otras barras curvadas	
	Diámetro de la barra en mm		Diámetro de la barra en mm	
	$\varnothing < 20$	$\varnothing \geq 20$	$\varnothing \leq 25$	$\varnothing > 25$
B 400 S B400SD	4 $\varnothing$	7 $\varnothing$	10 $\varnothing$	12 $\varnothing$
B 500 S B 500 SD	4 $\varnothing$	7 $\varnothing$	12 $\varnothing$	14 $\varnothing$

Los cercos o estribos de diámetro igual o inferior a 12 mm podrán doblarse con diámetros inferiores a los anteriormente indicados con tal de que ello no origine en dichos elementos un principio de fisuración. Para evitar esta fisuración, el diámetro empleado no deberá ser inferior a 3 veces el diámetro de la barra, ni a 3 centímetros.

En el caso de las mallas electrosoldadas rigen también las limitaciones anteriores siempre que el doblado se efectúe a una distancia igual o superior a cuatro diámetros contados a partir del nudo, o soldadura, más próximo. En caso contrario el diámetro mínimo de doblado no podrá ser inferior a 20 veces el diámetro de la armadura.

## 49.4 Armado de la ferralla

### 49.4.1 Distancia entre barras de armaduras pasivas

El armado de la ferralla será conforme a las geometrías definidas para la misma en el proyecto, disponiendo armaduras que permitan un correcto hormigonado de la pieza de manera que todas las barras o grupos de barras queden perfectamente

envueltas por el hormigón, y teniendo en cuenta, en su caso, las limitaciones que pueda imponer el empleo de vibradores internos.

Cuando las barras se coloquen en capas horizontales separadas, las barras de cada capa deberán situarse verticalmente una sobre otra, de manera que el espacio entre las columnas de barras resultantes permita el paso de un vibrador interno.

Las prescripciones que siguen son aplicables a las obras ordinarias hormigonadas in situ. Cuando se trate de obras provisionales, o en los casos especiales de ejecución (por ejemplo, elementos prefabricados), se podrá valorar, en función de las circunstancias que concurren en cada caso, la disminución de las distancias mínimas que se indican en los apartados siguientes previa justificación especial.

### **Comentarios**

Las zonas de gran densidad de armaduras pasivas tales como los cruces de elementos estructurales, zonas de anclaje etc., constituyen un caso especial en él que pueden puntual y excepcionalmente quedar disminuidas las distancias mínimas indicadas en este apartado, siempre que la ejecución sea particularmente cuidada; es decir, siempre que se asegure un correcto hormigonado de la pieza, de manera que todas las barras queden perfectamente envueltas por el hormigón.

Es útil, a menudo, parear los estribos e incluso armadura longitudinal, cuando su separación es pequeña, con objeto de facilitar el paso del hormigón, teniendo en cuenta su repercusión en las longitudes de anclaje.

#### **49.4.1.1 Barras aisladas**

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, salvo lo indicado en el apartado 49.4.1, será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- 20 milímetros
- el diámetro de la mayor;
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido.

#### **49.4.1.2 Grupos de barras**

Se llama grupo de barras a dos o más barras corrugadas puestas en contacto longitudinalmente.

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

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

En los grupos, el número de barras y su diámetro serán tales que el diámetro equivalente del grupo, definido en la forma indicada en el párrafo anterior, no sea

mayor que 50 mm, salvo en piezas comprimidas que se hormigonen en posición vertical en las que podrá elevarse a 70 mm la limitación anterior. En las zonas de solapo el número máximo de barras en contacto en la zona del empalme será de cuatro.

#### **49.4.2 Operaciones de pre-armado**

En ocasiones puede ser adecuado el uso de sistemas que faciliten el armado posterior de la ferralla, como por ejemplo, mediante la disposición adicional de barras o alambres auxiliares para posibilitar la disposición automática de estribos. En ningún caso dicho elementos adicionales (barras, alambres, etc.) podrán tenerse en cuenta como sección de armadura.

Además, dichos elementos adicionales deberán cumplir las especificaciones establecidas en este Código para los recubrimientos mínimos, al objeto de evitar posteriores problemas de corrosión de los propios elementos auxiliares.

#### **49.4.3 Operaciones de armado**

##### **49.4.3.1 Consideraciones generales sobre el armado**

El armado de la ferralla puede realizarse en instalación industrial ajena a la obra o como parte del montaje de la armadura en la propia obra y se efectuará mediante procedimientos de atado con alambre o por aplicación de soldadura no resistente.

En cualquier caso, debe garantizarse el mantenimiento del armado durante las operaciones normales de su montaje en los encofrados así como durante el vertido y compactación del hormigón. En el caso de ferralla armada en una instalación ajena a la obra, deberá garantizarse también el mantenimiento de su armado durante su transporte hasta la obra.

El atado se realizará con alambre de acero mediante herramientas manuales o atadoras mecánicas. Tanto la soldadura no resistente, como el atado por alambre podrán efectuarse mediante uniones en cruz o por solape.

Con carácter general, las barras de la armadura principal deben pasar por el interior de la armadura de cortante, pudiendo adoptarse otras disposiciones cuando así se justifique convenientemente durante la fase de proyecto.

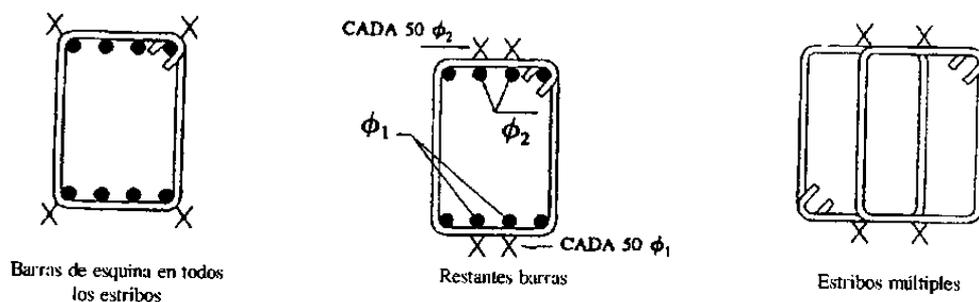
La disposición de los puntos de atado cumplirá las siguientes condiciones en función del tipo de elemento:

a) Losas y placas:

- se atarán todos los cruces de barras en el perímetro de la armadura;
- cuando las barras de la armadura principal tengan un diámetro no superior a 12 mm, se atarán en el resto del panel los cruces de barras de forma alternativa, al tresbolillo. Cuando dicho diámetro sea superior a 12 mm, los cruces atados no deberán distanciarse más de 50 veces el diámetro, disponiéndose uniformemente de forma aleatoria.

b) Pilares y vigas:

- se atarán todos los cruces de esquina de los estribos con la armadura principal;
- cuando se utilice malla electrosoldada doblada formando los estribos o armadura de pre-armado para la disposición automática de estribos, la armadura principal debe atarse en las esquinas a una distancia no superior a 50 veces el diámetro de la armadura principal;
- las barras de armadura principal que no estén ubicadas en las esquinas de los estribos, deben atarse a éstos a distancias no superiores a 50 veces el diámetro de la armadura principal;
- en el caso de estribos múltiples formados por otros estribos simples, deberán atarse entre sí.



#### c) Muros:

- se atarán las barras en sus intersecciones de forma alternativa, al tresbolillo.

#### 49.4.3.2 Consideraciones específicas sobre la soldadura no resistente

La soldadura no resistente podrá efectuarse por alguno de los siguientes procedimientos:

- soldadura por arco manual con electrodo revestido,
- soldadura semiautomática por arco con protección gaseosa,
- soldadura por puntos mediante resistencia eléctrica.

Las características de los electrodos a emplear en los procedimientos a) y b), serán las indicadas en la UNE EN ISO 17660-2. En cualquier caso, los parámetros del proceso deberán establecerse mediante la realización de ensayos previos, que garanticen la no afcción de la soldadura a la barra de acero para armadura.

Al ser la soldadura, sea o no resistente, una operación delicada, los operarios que hayan de realizarla deberán acreditar previamente su aptitud, de acuerdo a lo indicado en el apartado 62.4.1

Para realizar cualquier soldadura sobre una barra de acero para armadura, sea o no resistente, deberán tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- las superficies a soldar deberán estar correctamente preparadas y libres de óxido, humedad, grasa o cualquier tipo de suciedad o material que pudiera afectar a la calidad de la soldadura,
- las barras a unir tendrán que encontrarse a una temperatura superior a 0°C en la zona de soldadura y deberán protegerse, en su caso, para evitar enfriamientos rápidos después de la soldadura, y
- no se realizarán soldaduras bajo condiciones climatológicas adversas tales como lluvia, nieve o con vientos intensos, si no se disponen pantallas, cubiertas o elementos de protección similares. Queda expresamente prohibida la soldadura de armaduras galvanizadas o con recubrimientos epoxídicos.

No podrá utilizarse soldadura no resistente en zonas de fuerte curvatura de las barras ni en zonas de tensiones elevadas, salvo que se cuente con la aprobación expresa del autor del proyecto o, en su defecto, de la dirección facultativa.

#### **49.5 Criterios específicos para el anclaje y empalme de las armaduras**

Para certificar las características de adherencia de las barras de armado existen dos posibles vías, cada una de las cuales lleva asociada una metodología de cálculo de las longitudes de anclaje y empalme de las armaduras pasivas:

- Si las características de adherencia de la barra están certificadas a partir del ensayo de la viga, conforme a lo establecido en el apartado 34.2 de este Código, será de aplicación todo lo reseñado a continuación en los subapartados del presente apartado 49.5.
- Si las características de adherencia de las barras se comprueban a partir de la geometría de corrugas conforme o grafilas, conforme a lo establecido en el apartado 34.2 de este Código, será de aplicación, en sustitución de lo reflejado en los subapartados del presente apartado 49.5, lo indicado en los apartados 8.4 a 8.9 del Anejo 19 de este Código.

##### **49.5.1 Anclaje de las armaduras pasivas**

Se describe a continuación el procedimiento de cálculo de la longitud de anclaje para barras que estén certificadas a partir del ensayo de la viga. El método basado en la geometría de las corrugas se describe en los apartados 8.4 a 8.6 y 8.8 del Anejo 19.

###### **49.5.1.1 Generalidades**

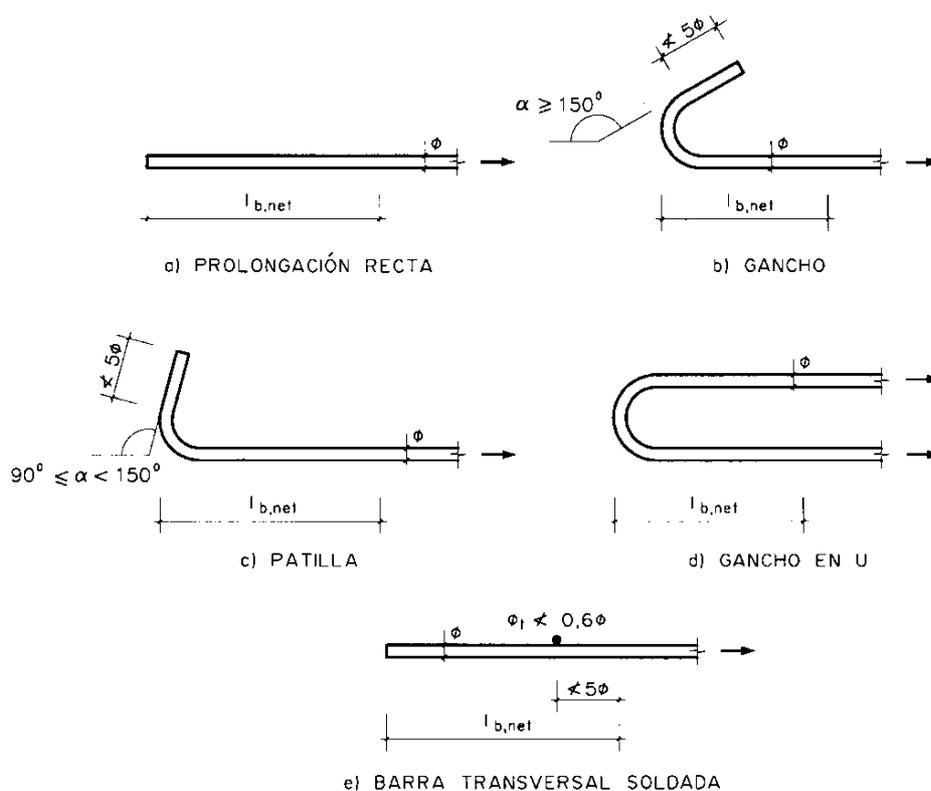
Las longitudes básicas de anclaje ( $l_b$ ), definidas en el apartado 49.5.1.2, dependen, entre otros factores, de las propiedades de adherencia de las barras y de la posición que éstas ocupan en la pieza de hormigón.

Atendiendo a la posición que ocupa la barra en la pieza, se distinguen los siguientes casos:

- Posición I, de adherencia buena, para las armaduras que durante el hormigonado forman con la horizontal un ángulo comprendido entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$  o que en el caso de formar un ángulo inferior a  $45^\circ$ , están situadas en la mitad inferior de la sección o a una distancia igual o mayor a 30 cm de la cara superior de una capa de hormigonado.
- Posición II, de adherencia deficiente, para las armaduras que, durante el hormigonado, no se encuentran en ninguno de los casos anteriores.
- En el caso de que puedan existir efectos dinámicos, las longitudes de anclaje indicadas en el apartado 49.5.1.2 se aumentarán en  $10 \phi$ .

La longitud neta de anclaje definida en los apartados 49.5.1.2 y 49.5.1.4 no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

- a)  $10 \phi$ ;
- b) 150 mm;
- c) la tercera parte de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas y los



dos tercios de dicha longitud para barras comprimidas.

Figura 49.5.1.1. Procedimientos normalizados para los anclajes extremos de las barras

Los anclajes extremos de las barras podrán hacerse por los procedimientos normalizados indicados en la figura 49.5.1.1, o por cualquier otro procedimiento mecánico garantizado mediante ensayos, que sea capaz de asegurar la transmisión de esfuerzos al hormigón sin peligro para éste.

Deberá continuarse hasta los apoyos al menos un tercio de la armadura necesaria para resistir el máximo momento positivo, en el caso de apoyos extremos de vigas; y al menos un cuarto en los intermedios. Esta armadura se prolongará a partir del eje del aparato de apoyo en una magnitud igual a la correspondiente longitud neta de anclaje.

#### 49.5.1.2 Anclaje de barras corrugadas

Este apartado se refiere a las barras corrugadas que cumplan con los requisitos reglamentarios que para ella se establecen en el Artículo 34.

La longitud básica de anclaje en prolongación recta en posición I, es la necesaria para anclar una fuerza  $A_s f_{yd}$  de una barra suponiendo una tensión de adherencia constante  $\tau_{bd}$ , de tal manera que se satisfaga la siguiente ecuación de equilibrio:

$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot \tau_{bd}}$$

donde  $\tau_{bd}$  depende de numerosos factores, entre ellos el diámetro de la armadura, las características resistentes del hormigón y de la propia longitud de anclaje.

La longitud básica de anclaje resultante, obtenida de forma simplificada es:

- Para barras en posición I:

$$l_{bI} = m \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{20} \phi$$

- Para barras en posición II:

$$l_{bII} = 1,4 m \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{14} \phi$$

donde:

- $\phi$  Diámetro de la barra, en mm.
- $m$  Coeficiente numérico, con los valores indicados en la tabla 49.5.1.2.a en función del tipo de acero, obtenido a partir de los resultados experimentales realizados con motivo del ensayo de adherencia de las barras.
- $f_{yk}$  Límite elástico garantizado del acero, en N/mm<sup>2</sup>.
- $l_{bI}$  y  $l_{bII}$  Longitudes básicas de anclaje en posiciones I y II, respectivamente, en mm.

Tabla 49.5.1.2.a. Coeficiente numérico  $m$ , para determinar la longitud básica de anclaje

Resistencia característica del hormigón (N/mm <sup>2</sup> )	m	
	B 400 S B400SD	B 500 S B 500SD
25	1,2	1,5
30	1,0	1,3
35	0,9	1,2
40	0,8	1,1
45	0,7	1,0
≥50	0,7	1,0

La longitud neta de anclaje se define como:

$$l_{b,neto} = l_b \beta \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} \cong l_b \beta \frac{A_s}{A_{s,real}}$$

donde:

- $\beta$  Factor de reducción definido en la tabla 49.5.1.2.b.
- $\sigma_{sd}$  Tensión de trabajo de la armadura que se desea anclar, en la hipótesis de carga más desfavorable, en la sección desde la que se determinará la longitud de anclaje.
- $A_s$  Armadura necesaria por cálculo en la sección a partir de la cual se ancla la armadura.
- $A_{s,real}$  Armadura realmente existente en la sección a partir de la cual se ancla la armadura.

Tabla 49.5.1.2.b. Valores de  $\beta$

Tipo de anclaje	Tracción	Compresión
Prolongación recta	1	1
Patilla, gancho y gancho en U	0,7 (*)	1
Barra transversal soldada	0,7	0,7

(\*) Si el recubrimiento de hormigón perpendicular al plano de doblado es superior a  $3\phi$ . En caso contrario  $\beta = 1$ .

En cualquier caso,  $l_{b,neto}$  no será inferior al valor indicado en el apartado 49.5.1.1.

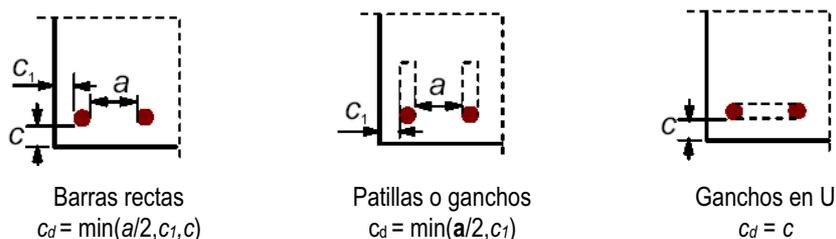


Figura 49.5.1.2.a Recubrimiento equivalente

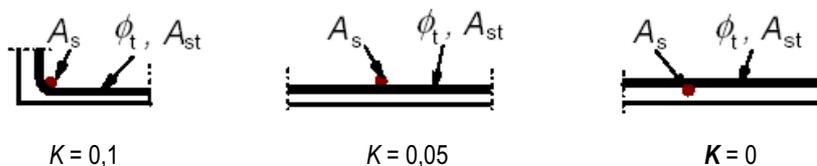


Figura 49.5.1.2.b Valor K

### 49.5.1.3 Reglas especiales para el caso de grupos de barras

Siempre que sea posible, los anclajes de las barras de un grupo se harán por prolongación recta.

Cuando todas las barras del grupo dejan de ser necesarias en la misma sección, la longitud de anclaje de las barras será como mínimo:

1,3  $l_b$  para grupos de 2 barras

1,4  $l_b$  para grupos de 3 barras

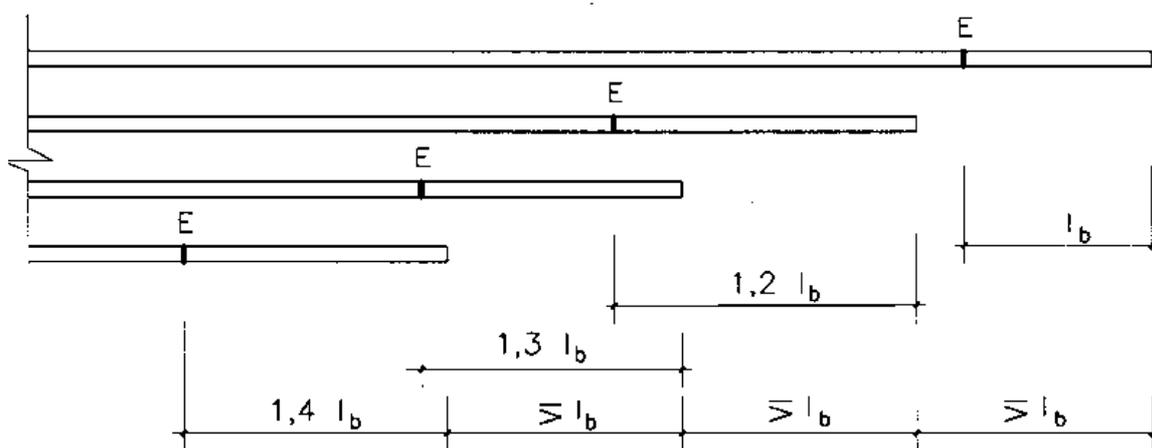
1,6  $l_b$  para grupos de 4 barras

siendo  $l_b$  la longitud de anclaje correspondiente a una barra aislada.

Cuando las barras del grupo dejan de ser necesarias en secciones diferentes, a cada barra se le dará la longitud de anclaje que le corresponda según el siguiente criterio:

- $1,2l_b$  si va acompañada de 1 barra en la sección en que deja de ser necesaria;
- $1,3l_b$  si va acompañada de 2 barras en la sección en que deja de ser necesaria;
- $1,4l_b$  si va acompañada de 3 barras en la sección en que deja de ser necesaria;

teniendo en cuenta que, en ningún caso los extremos finales de las barras pueden distar entre sí menos de la longitud  $l_b$  (figura 49.5.1.3).



E: Sección en que deja de ser necesaria la barra

Figura 49.5.1.3. Longitud de anclaje

#### 49.5.1.4 Anclaje de mallas electrosoldadas

La longitud neta de anclaje de las mallas corrugadas se determinará de acuerdo con la fórmula:

$$l_{b,neto} = l_b \beta \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} \cong l_b \beta \frac{A_s}{A_{s,real}}$$

siendo  $l_b$  el valor indicado en las fórmulas dadas en el apartado 49.5.1.2.

Si en la zona de anclaje existe al menos una barra transversal soldada, la longitud neta de anclaje se reducirá en un 30 por 100.

En todo caso, la longitud neta de anclaje no será inferior a los valores mínimos indicados en el apartado 49.5.1.2.

## 49.5.2 Empalme de las armaduras pasivas

Se aborda en este apartado el empalme de barras que estén certificadas a partir del ensayo de la viga. El método basado en la geometría de las corrugas se describe en los apartados 8.7 a 8.9 del Anejo 19.

### 49.5.2.1 Generalidades

Los empalmes entre barras deben diseñarse de manera que la transmisión de fuerzas de una barra a la siguiente quede asegurada, sin que se produzcan desconchados o cualquier otro tipo de daño en el hormigón próximo a la zona de empalme.

No se dispondrán más que aquellos empalmes indicados en los planos y los que autorice la dirección facultativa. Se procurará que los empalmes queden alejados de las zonas en las que la armadura trabaje a su máxima carga.

Los empalmes podrán realizarse por solapo o por soldadura. Se admiten también otros tipos de empalme, con tal de que los ensayos con ellos efectuados demuestren que esas uniones poseen permanentemente una resistencia a la rotura no inferior a la de la menor de las 2 barras empalmadas, y que el deslizamiento relativo de las armaduras empalmadas no rebase 0,1 mm, para cargas de servicio (situación poco probable).

Como norma general, los empalmes de las distintas barras en tracción de una pieza, se distanciarán unos de otros de tal modo que sus centros queden separados, en la dirección de las armaduras, una longitud igual o mayor a  $l_b$  (figura 49.5.2.1).

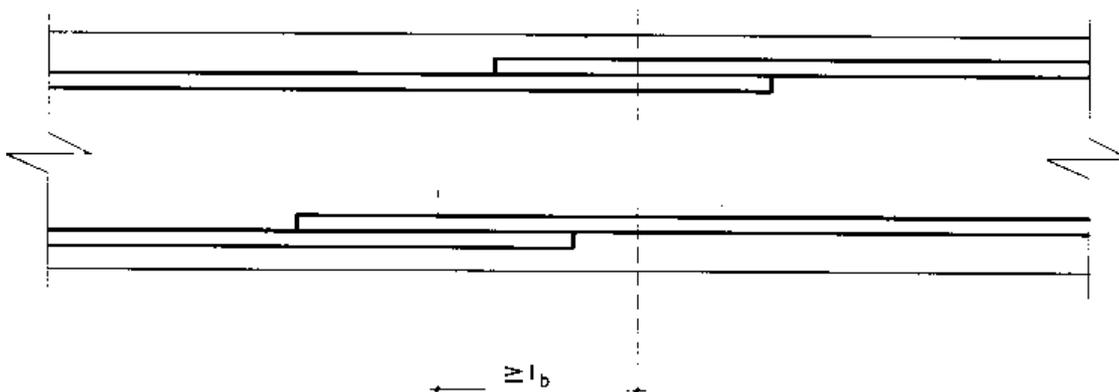


Figura 49.5.2.1. Empalmes de las distintas barras en tracción

### 49.5.2.2 Empalmes por solapo

Este tipo de empalmes se realizará colocando las barras una al lado de otra, dejando una separación entre ellas de  $4\phi$  como máximo. Para armaduras en tracción esta separación no será menor que la prescrita en el apartado 49.4.1.

La longitud de solapo será igual a:

$$l_s = \alpha l_{b,neta}$$

siendo  $l_{b,neta}$  el valor de la longitud neta de anclaje definida en el apartado 49.5.1.2, y  $\alpha$  el coeficiente definido en la tabla 49.5.2.2, función del porcentaje de armadura solapada en una sección respecto a la sección total de acero de esa misma sección, de la distancia transversal entre empalmes (según se define en la figura 49.5.2.2) y del tipo de esfuerzo de la barra.

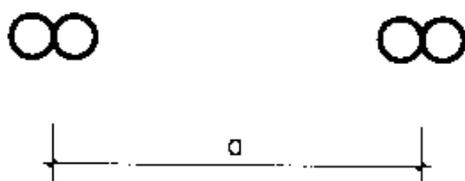


Figura 49.5.2.2. Distancia transversal entre empalmes

Tabla 49.5.2.2 Valores de  $\alpha$

Distancia entre los empalmes más próximos (figura 49.5.2.2.a)	Porcentaje de barras solapadas trabajando a tracción, con relación a la sección total de acero					Barras solapadas normalmente a compresión en cualquier porcentaje
	20	25	33	50	>50	
$a \leq 10 \varnothing$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0
$a > 10 \varnothing$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,0

Para barras de diámetro mayor que 32 mm, sólo se admitirán los empalmes por solapo si, en cada caso y mediante estudios especiales, se justifica satisfactoriamente su correcto comportamiento.

En la zona de solapo deberán disponerse armaduras transversales con sección igual o superior a la sección de la mayor barra solapada.

#### 49.5.2.3 Empalmes por solapo de grupos de barras

Para el empalme por solapo de un grupo de barras, se añadirá una barra suplementaria en toda la zona afectada por los empalmes de diámetro igual al mayor de las que forman el grupo. Cada barra se colocará enfrentada a tope a aquella que va a empalmar. La separación entre los distintos empalmes y la prolongación de la barra suplementaria será de  $1,2 l_b$  o  $1,3 l_b$  según sean grupos de dos o tres barras (figura 49.5.2.3).

Se prohíbe el empalme por solapo en los grupos de cuatro barras.



Figura 49.5.2.3. Empalmes por solapo de grupos de barras

### Comentarios

Se recuerda que, según se comentó en el apartado 49.5.1.1., la longitud básica de anclaje en este caso no debería ser inferior a 10 veces el diámetro, ni inferior a 150 mm.

### 49.5.2.4 Empalmes por solapo de mallas electrosoldadas

Se consideran dos posiciones de solapo, según la disposición de las mallas: acopladas (figura 49.5.2.4.a) y superpuestas o en capas (figuras 49.5.2.4.b y 49.5.2.4.c).

#### a) Solapo de mallas acopladas:

La longitud del solapo será  $\alpha l_{b,net}$ , siendo  $l_{b,net}$  el valor dado en el apartado 49.5.1.4 y  $\alpha$  el coeficiente indicado en la tabla 49.5.2.2.

Para cargas predominantemente estáticas, se permite el solapo del 100 por 100 de la armadura en la misma sección. Para cargas dinámicas sólo se permite el solapo del 100 por 100, si toda la armadura está dispuesta en una capa; y del 50 por 100 en caso contrario. En este último caso, los solapos se distanciarán entre sí la longitud  $l_{b,net}$ .

#### b) Solapo de mallas superpuestas:

La longitud del solapo será de  $1,7 l_b$  cuando la separación entre elementos solapados sea superior a  $10\varnothing$ , aumentando a  $2,4 l_b$  cuando dicha separación sea inferior a  $10\varnothing$ .

En todos los casos, la longitud mínima del solapo no será inferior al mayor de los siguientes valores:

- a)  $15\varnothing$
- b) 200 mm

Se procurará situar los solapos en zonas donde las tensiones de la armadura no superen el 80 por 100 de las máximas posibles. La proporción de elementos que pueden ser solapados será del 100 por 100 si se dispone una sola capa de mallas, y del 60 por 100 si se disponen varias capas. En este caso, la distancia mínima entre

solapos deberá ser de  $1,5l_b$ . Con barras dobles de  $\varnothing > 8,5$  mm, sólo se permite solapar, como máximo, el 60 por 100 de la armadura.

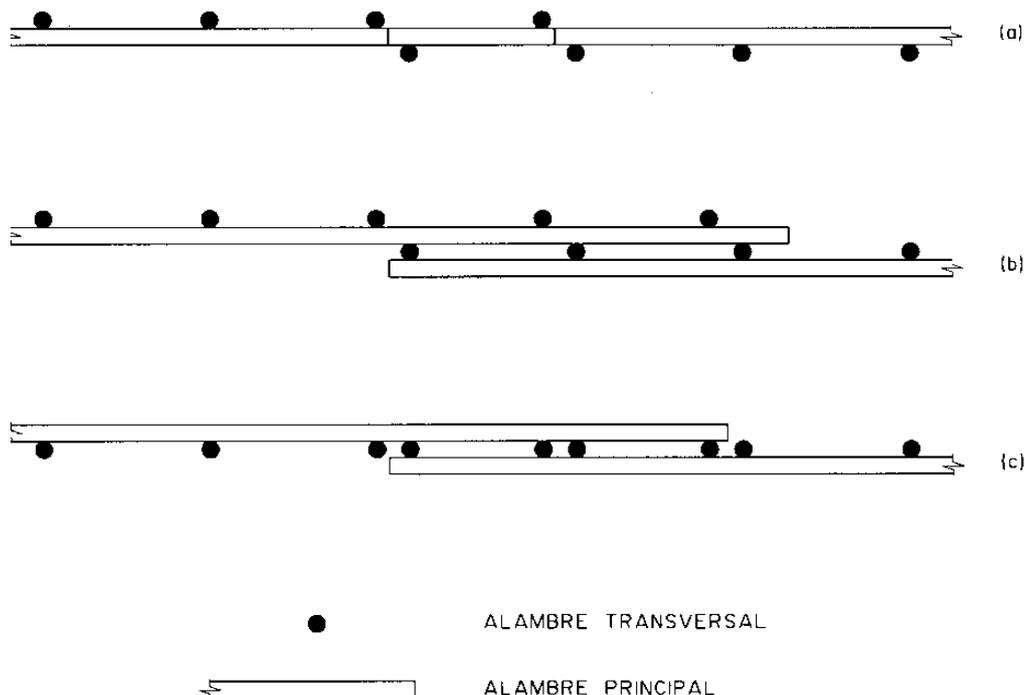


Figura 49.5.2.4. Posiciones de solapo según la disposición de las mallas

#### 49.5.2.5 Empalmes por soldadura resistente

Los empalmes por soldadura resistente deberán realizarse de acuerdo con los procedimientos de soldadura descritos en UNE EN ISO 17660-1, es decir:

- soldadura por arco manual con electrodo revestido,
- soldadura semiautomática por arco con protección gaseosa,

Las características geométricas de las uniones por solape quedan definidas en el apartado 6.3 de dicha norma UNE EN ISO 17660-1. Los operarios que hayan de realizarlas deberán acreditar previamente su aptitud, de acuerdo a lo indicado en el apartado 62.4.1.

Serán de aplicación general los criterios indicados para la soldadura no resistente en el apartado 49.4.3.2., es decir:

- las superficies a soldar deberán estar correctamente preparadas y libres de óxido, humedad, grasa o cualquier tipo de suciedad o material que pudiera afectar a la calidad de la soldadura,

- las barras a unir tendrán que encontrarse a una temperatura superior a 0°C en la zona de soldadura y deberán protegerse, en su caso, para evitar enfriamientos rápidos después de la soldadura, y
- no se realizarán soldaduras bajo condiciones climatológicas adversas tales como lluvia, nieve o con vientos intensos, si no se disponen pantallas, cubiertas o elementos de protección similares. Queda expresamente prohibida la soldadura de armaduras galvanizadas o con recubrimientos epoxídicos.

Adicionalmente, no podrán disponerse empalmes por soldadura en los tramos de fuerte curvatura del trazado de las armaduras.

Las soldaduras a tope de barras de distinto diámetro podrán realizarse siempre que la diferencia entre diámetros sea inferior a 3 milímetros.

#### **49.5.2.6 Empalmes mecánicos**

Los empalmes realizados mediante dispositivos mecánicos de unión deberán realizarse de acuerdo con las especificaciones del proyecto y los procedimientos indicados por los fabricantes.

Los requisitos exigibles a estos tipos de unión tienen como objetivo garantizar que el comportamiento de la zona de empalme, tanto en servicio como en agotamiento, sea similar a la del que tendría aisladamente cada una de las barras unidas.

A este respecto se exige que los dispositivos de empalme:

- tengan, al menos, la misma capacidad resistente que la menor de las barras que se empalman.
- no presenten un desplazamiento relativo mayor que 0,1 mm bajo la tensión de servicio.
- unan barras del mismo diámetro o, en su defecto, de diámetros consecutivos en la serie de diámetros y siempre que la diferencia entre los diámetros de las barras empalmadas sea menor o igual que 5 mm.
- después de aplicar una tracción en las barras correspondiente al 60 % de la carga unitaria de rotura garantizada de la barra más fina, el alargamiento residual del dispositivo de empalme deberá ser menor o igual que 0,1 mm.

En este tipo de uniones no se exige añadir armadura transversal suplementaria ni aumentar los recubrimientos (aunque a estos últimos efectos se tomará como diámetro de la armadura el del empalme o manguito), ya que no se somete al hormigón a sollicitaciones adicionales. Por ello, se permite concentrar la totalidad de estos empalmes en una misma sección, siempre que no afecte a la colocación del hormigón.

## **49.6 Suministro de las armaduras elaboradas y ferralla armada**

Las armaduras elaboradas y, en su caso, la ferralla armada, deberán suministrarse exentas de pintura, grasa o cualquier otra sustancia nociva que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos.

Se suministrarán a la obra acompañadas de las correspondientes etiquetas que permitan la identificación inequívoca de la trazabilidad del acero, de sus características y de la identificación del elemento al que están destinadas, de acuerdo con el despiece al que hace referencia el apartado 49.3.1.

Además, deberán ir acompañadas de la documentación a la que se hace referencia en el Artículo 59 de este Código.

## **49.7 Transporte y almacenamiento**

Tanto durante su transporte como durante su almacenamiento las armaduras elaboradas, la ferralla armada o, en su caso, las barras o los rollos de acero corrugado, deberán protegerse adecuadamente contra la lluvia, la humedad del suelo y de la eventual agresividad de la atmósfera ambiente. Hasta el momento de su elaboración, armado o montaje se conservarán debidamente clasificadas para garantizar la necesaria trazabilidad.

## **49.8 Montaje de las armaduras**

### **49.8.1 Generalidades**

La ferralla armada se montará en obra exenta de pintura, grasa o cualquier otra sustancia nociva que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos.

No deberá emplearse cualquier acero que presente picaduras o un nivel de oxidación excesivo que pueda afectar a sus condiciones de adherencia. Se comprobará que éstas no se han visto significativamente alteradas. Para ello, se procederá a un cepillado mediante cepillo de púas de alambre y se comprobará que la pérdida de peso de la armadura no excede del 1% y que las condiciones de adherencia se encuentran dentro de los límites prescritos en el apartado 34.2.

Las armaduras se asegurarán en el interior de los encofrados o moldes contra todo tipo de desplazamiento, comprobándose su posición antes de proceder al hormigonado.

Los cercos de pilares o estribos de las vigas se sujetarán a las barras principales mediante simple atado u otro procedimiento idóneo, prohibiéndose expresamente la fijación mediante puntos de soldadura cuando la ferralla ya esté situada en el interior de los moldes o encofrados.

### **49.8.2 Disposición de separadores**

La posición especificada para las armaduras pasivas y, en especial, los recubrimientos nominales indicados en el apartado 43.4.1, deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos (separadores o calzos) colocados en obra. Estos elementos cumplirán lo dispuesto en el apartado 43.4.2, debiéndose disponer de acuerdo con las prescripciones de la tabla 49.8.2.

Tabla 49.8.2 Disposición de separadores

Elemento		Distancia máxima
Elementos superficiales horizontales (losas, forjados, zapatas y losas de cimentación, etc.)	Emparrillado inferior	$50 \varnothing \leq 100 \text{ cm}$
	Emparrillado superior	$50 \varnothing \leq 50 \text{ cm}$
Muros	Cada emparrillado	$50 \varnothing \text{ o } 50 \text{ cm}$
	Separación entre emparrillados	100 cm
Vigas <sup>1)</sup>		100 cm
Soportes <sup>1)</sup>		$100 \varnothing \leq 200 \text{ cm}$
<sup>1)</sup> Se dispondrán, al menos, tres planos de separadores por vano, en el caso de las vigas, y por tramo, en el caso de los soportes, acoplados a los cercos o estribos. $\varnothing$ Diámetro de la armadura a la que se acople el separador.		

## Artículo 50 Procesos de colocación y tesado de las armaduras activas

### 50.1 Sistemas de aplicación del pretensado

#### 50.1.1 Generalidades

Según su forma de colocación en las piezas, se distinguen tres tipos de armaduras activas:

- a) armaduras adherentes;
- b) armaduras en vainas o conductos inyectados adherentes;
- c) armaduras en vainas o conductos inyectados no adherentes.

A los efectos de este Código, se entiende por aplicación del pretensado al conjunto de procesos desarrollados durante la ejecución de la estructura con la finalidad de colocar y tesar las armaduras activas, independientemente de que se trate de armaduras pretesas o postesas.

No podrán utilizarse, en un mismo tendón, aceros de pretensado de diferentes características, a no ser que se demuestre que no existe riesgo alguno de corrosión electrofísica en tales aceros.

En el momento de su puesta en obra, las armaduras activas deberán estar bien limpias, sin trazas de óxido, grasa, aceite, pintura, polvo, tierra o cualquier otra materia perjudicial para su buena conservación o su adherencia. No presentarán indicios de corrosión, defectos superficiales aparentes, puntos de soldadura, pliegues o dobleces.

Se prohíbe el enderezamiento en obra de las armaduras activas.

#### **50.1.2 Equipos para la aplicación del pretensado**

En el caso de la aplicación de armaduras activas postesas, los equipos y sistemas para su aplicación deberán disponer de marcado CE, en el ámbito del Reglamento 305/2011, de acuerdo con lo indicado en la correspondiente Evaluación Técnica Europea (ETE) que satisfaga los requisitos de la Guía ETAG 013.

En el caso de armaduras pretesas ancladas por adherencia, el tesado deberá efectuarse en bancos específicos, mediante dispositivos debidamente experimentados y tarados.

### **50.2 Procesos previos al tesado de las armaduras activas**

#### **50.2.1 Suministro y almacenamiento de elementos de pretensado**

##### **50.2.1.1 Unidades de pretensado**

Los alambres se suministrarán en rollos cuyo diámetro interior no será inferior a 225 veces el del alambre y, al dejarlos libres en una superficie plana, presentarán una flecha no superior a 25 mm en una base de 1 m, en cualquier punto del alambre.

Los rollos suministrados no contendrán soldaduras realizadas después del tratamiento térmico anterior al trefilado.

Las barras se suministrarán en trozos rectos.

Los cordones de 2 o 3 alambres se suministrarán en rollos cuyo diámetro interior será igual o superior a 600 mm.

Los cordones de 7 alambres se suministrarán en rollos, bobinas o carretes que, salvo acuerdo en contrario, contendrán una sola longitud de fabricación de cordón; y el diámetro interior del rollo o del núcleo de la bobina o carrete no será inferior a 750 mm.

Los cordones presentarán una flecha no superior a 20 mm en una base de 1 m, en cualquier punto del cordón, al dejarlos libres en una superficie plana.

Las armaduras activas se suministrarán protegidas de la grasa, humedad, deterioro, contaminación, etc., asegurando que el medio de transporte tiene la caja limpia y el material está cubierto con lona.

Las unidades de pretensado, así como los sistemas para su aplicación deberán suministrarse a la obra acompañados de la documentación a la que hace referencia el apartado 61.4.1.

Para eliminar los riesgos de oxidación o corrosión, el almacenamiento de las unidades de pretensado se realizará en locales ventilados y al abrigo de la humedad del suelo y paredes. En el almacén se adoptarán las precauciones precisas para evitar que pueda ensuciarse el material o producirse cualquier deterioro de los aceros debido a ataque químico, operaciones de soldadura realizadas en las proximidades, etc.

Antes de almacenar las armaduras activas, se comprobará que están limpias, sin manchas de grasa, aceite, pintura, polvo, tierra o cualquier otra materia perjudicial para su buena conservación y posterior adherencia. Además, deberán almacenarse cuidadosamente clasificadas según sus tipos, clases y lotes de los que procedan.

El estado de superficie de todos los aceros podrá ser objeto de examen en cualquier momento antes de su uso, especialmente después de un prolongado almacenamiento en obra o taller, con el fin de asegurarse de que no presentan alteraciones perjudiciales.

#### **50.2.1.2 Dispositivos de anclaje y empalme**

Los dispositivos de anclaje y empalme se colocarán en las secciones indicadas en el proyecto y deberán ser conformes con lo indicado específicamente para cada sistema en la documentación que acompaña a la Evaluación Técnica Europea (ETE) del sistema.

Los anclajes y los elementos de empalmes deben entregarse convenientemente protegidos para que no sufran daños durante su transporte, manejo en obra y almacenamiento.

El fabricante o suministrador de los anclajes justificará y garantizará sus características, mediante un certificado expedido por un laboratorio especializado e independiente del fabricante, precisando las condiciones en que deben ser utilizados. En el caso de anclajes por cuñas, deberá hacer constar, especialmente, la magnitud del movimiento conjunto de la armadura y la cuña, por ajuste y penetración.

Deberán estar acompañados con la documentación correspondiente que permita identificar el material de procedencia y los tratamientos realizados al mismo.

Deberán guardarse convenientemente clasificados por tamaños y se adoptarán las precauciones necesarias para evitar su corrosión o que puedan ensuciarse o entrar en contacto con grasas, aceites no solubles, pintura o cualquier otra sustancia perjudicial.

Cada partida de dispositivos de anclaje y empalme que se suministren a la obra deberá ir acompañada de la documentación del marcado CE del sistema de pretensado correspondiente.

#### **50.2.1.3 Vainas y accesorios de pretensado**

Las características de las vainas y accesorios de pretensado deben ser conformes con lo indicado específicamente para cada sistema en la documentación que acompaña a la Evaluación Técnica Europea (ETE) del sistema.

El suministro y almacenamiento de las vainas y sus accesorios se realizará adoptando precauciones análogas a las indicadas para las armaduras. El nivel de

corrosión admisible debe ser tal que los coeficientes de rozamiento no se vean alterados. Por lo tanto se adoptarán las medidas adecuadas de protección provisional contra la corrosión.

#### **50.2.1.4 Productos de inyección**

El producto debe ser entregado ensacado o en contenedores con la identificación e instrucciones para su uso (tipo de producto, seguridad de manipulación,...) elaboradas por su fabricante.

Se debe comprobar la compatibilidad y adecuación cuando se utilicen varios productos diferentes en la misma lechada.

La dosificación empleada en la lechada de inyección deberá estar sancionada por unos ensayos de calificación realizados según los criterios siguientes:

- serán realizados a partir de productos, con métodos de fabricación y en condiciones térmicas idénticos a los empleados para realizar las mezclas en obra, y
- se realizarán sin modificación en la fabricación del cemento y para tipos y trazados de tendón representativos de los de la obra.

Para cables con fuerte desnivel (cables verticales por ejemplo), para caracterizar en tamaño real la exudación, la filtración debida a la forma helicoidal de los cordones, y para validar el procedimiento de inyección se recomienda realizar el ensayo de inyección de una muestra de tendón en un tubo de plástico transparente conforme a lo indicado en el apartado C.4.3.3.2.1 del documento ETAG 013.

Para obras de tamaño moderado, se podrá justificar el empleo de una dosificación de lechada mediante ensayos y referencias previas, siempre que los materiales no se vean modificados y que las condiciones de empleo sean comparables.

Cuando la inyección se realice mediante un producto no adherente, se deberán adoptar las correctas medidas de transporte e inyección del producto para garantizar la seguridad de las operaciones y asegurar el correcto relleno en fase líquida sin alterar las propiedades físicas y químicas del producto.

### **50.2.2 Colocación de las armaduras activas**

#### **50.2.2.1 Colocación de vainas y tendones**

El trazado real de los tendones se ajustará a lo indicado en el proyecto, colocando los puntos de apoyo necesarios para mantener las armaduras y vainas en su posición correcta. Las distancias entre estos puntos serán tales que aseguren el cumplimiento de las tolerancias de regularidad de trazado indicadas en el Artículo 67.

Los apoyos que se dispongan para mantener este trazado deberán ser de tal naturaleza que no den lugar, una vez endurecido el hormigón, a fisuras ni filtraciones.

Por otra parte, las armaduras activas o sus vainas se sujetarán convenientemente para impedir que se muevan durante el hormigonado y vibrado, quedando expresamente prohibido el empleo de la soldadura con este objeto.

El doblado y colocación de la vaina y su fijación a la armadura pasiva debe garantizar un suave trazado del tendón y al evitar la ondulación seguir el eje teórico del mismo para no aumentar el coeficiente de rozamiento parásito o provocar empujes al vacío imprevistos.

La posición de los tendones dentro de sus vainas o conductos deberá ser la adecuada, recurriendo, si fuese preciso, al empleo de separadores.

Cuando se utilicen armaduras pretesas, conviene aplicarles una pequeña tensión previa y comprobar que, tanto los separadores y placas extremas como los alambres, están bien alineados y que éstos no se han enredado ni enganchado.

Antes de autorizar el hormigonado, y una vez colocadas y, en su caso, tesas las armaduras, se comprobará si su posición, así como la de las vainas, anclajes y demás elementos, concuerda con la indicada en los planos, y si las sujeciones son las adecuadas para garantizar su invariabilidad durante el hormigonado y vibrado. Si fuera preciso, se efectuarán las oportunas rectificaciones.

El aplicador del pretensado deberá comprobar, para cada tipo de tendón, los diámetros de vaina y espesores indicados en el proyecto, así como los radios mínimos de curvatura, para evitar la abolladura, garantizar que no se superan los coeficientes de rozamiento considerados en el cálculo, evitar el desgarro y aplastamiento durante el tesado, especialmente en el caso de vainas de plástico.

#### **50.2.2.2 Colocación de desviadores**

Los desviadores utilizados en los sistemas de pretensado exterior tienen que satisfacer los siguientes requisitos:

- soportar las fuerzas longitudinales y transversales que el tendón le transmite y, a su vez, transmitir estas fuerzas a la estructura, y
- asegurar, sin discontinuidades angulares inaceptables, la continuidad entre dos secciones rectas del tendón.

Los desviadores se colocarán siguiendo estrictamente las instrucciones del suministrador.

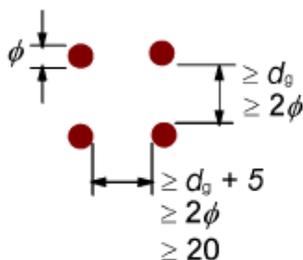
#### **50.2.2.3 Distancia entre armaduras activas pretesas**

La separación de los conductos o de los tendones de pretensado será tal que permita la adecuada colocación y compactación del hormigón, y garantice una correcta adherencia entre los tendones o las vainas y el hormigón.

Las armaduras pretesas deberán colocarse separadas. La separación libre mínima de los tendones individuales, tanto en horizontal como en vertical, será igual o superior al mayor de los valores siguientes (Figura 50.2.2.3):

- d) 20 milímetros (sólo para la separación horizontal)
- e) 2 veces el diámetro de la mayor,
- f) el tamaño máximo del árido más 5 mm para la separación horizontal y el tamaño máximo del árido para la separación vertical.

Figura 50.2.2.3. Separación libre mínima de los tendones individuales



NOTA Donde  $\phi$  es el diámetro de la armadura pretesa y  $d_g$  es el tamaño máximo del árido.

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

#### 50.2.2.4 Distancia entre armaduras activas postesas

Como norma general, se admite colocar en contacto diversas vainas formando grupo, limitándose a dos en horizontal y a no más de cuatro en su conjunto. Para ello, las vainas deberán ser corrugadas y, a cada lado del conjunto, habrá de dejarse espacio suficiente para que pueda introducirse un vibrador normal interno.

Las distancias libres entre vainas o grupos de vainas en contacto, o entre estas vainas y las demás armaduras, deberán ser al menos iguales al mayor de los valores siguientes:

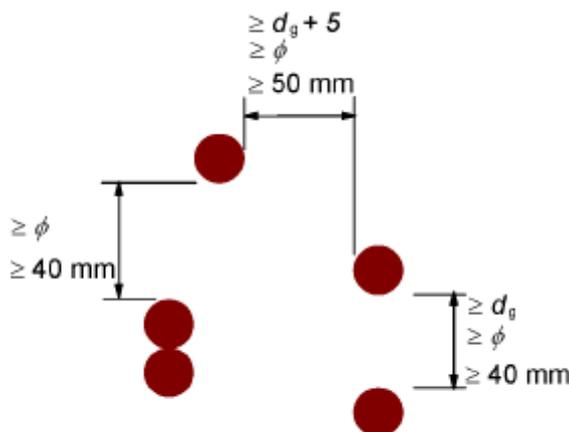
En dirección vertical:

- El diámetro de la vaina.
- El tamaño máximo del árido.
- 4 centímetros.

En dirección horizontal:

- El diámetro de la vaina.
- La dimensión horizontal de la vaina (en el caso de vainas planas).
- 5 centímetros.
- El tamaño máximo del árido más 5 mm.

Figura 50.2.2.4. Distancias libres entre vainas o grupos de vainas en contacto



NOTA Donde  $\phi$  es el diámetro de la vaina para la armadura postesa y  $d_g$  es el tamaño máximo del árido.

### 50.2.3 Adherencia de las armaduras activas al hormigón

Se define la longitud de transmisión de una armadura dada como la necesaria para transferir al hormigón por adherencia la fuerza de pretensado introducida en dicha armadura, y por longitud de anclaje, la necesaria para garantizar la resistencia del anclaje por adherencia, hasta la rotura del acero.

Las longitudes de transmisión y anclaje dependen de la tensión de adherencia entre el acero y el hormigón que, en general, se determinará experimentalmente.

### 50.2.4 Empalmes de las armaduras activas

Los empalmes se efectuarán en las secciones indicadas en el proyecto y se dispondrán en alojamientos especiales de la longitud suficiente para que puedan moverse libremente durante el tesado.

Cuando el proyecto suponga la utilización de acopladores de pretensado, se situarán distantes de los apoyos intermedios, evitándose su colocación en más de la mitad de los tendones de una misma sección transversal.

## 50.3 Procesos de tesado de las armaduras activas

### 50.3.1 Generalidades

El tesado deberá realizarse de acuerdo con un plan previamente establecido, en el cual deberán tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante del sistema utilizado. En particular, se cuidará que el gato apoye perpendicularmente y centrado sobre el anclaje.

El tesado se efectuará por operarios cualificados que posean la competencia y experiencia necesarias. Esta operación se vigilará y controlará cuidadosamente adoptándose las medidas de seguridad necesarias para evitar cualquier daño a personas.

El tesado, efectuado por uno o los dos extremos del elemento, según el programa establecido, se realizará de forma que las tensiones aumenten lenta y progresivamente hasta alcanzar el valor fijado en el proyecto.

Si durante el tesado se rompe uno o más elementos de los que constituyen la armadura, podrá alcanzarse la fuerza total de pretensado necesaria aumentando la tensión en los restantes, siempre que para ello no sea preciso elevar la tensión en cada elemento individual en más de un 5% del valor inicialmente previsto. La aplicación de tensiones superiores requiere un nuevo estudio del proyecto original; estudio que deberá efectuarse basándose en las características mecánicas de los materiales realmente utilizados. En todos estos casos, será preciso realizar la correspondiente comprobación de la pieza o elemento estructural que se tesa, teniendo en cuenta las nuevas condiciones en que se encuentra.

La pérdida total en la fuerza de pretensado, originada por la rotura de elementos irremplazables de la armadura, no podrá exceder nunca del 2% de la fuerza total de pretensado indicada en el proyecto.

### 50.3.2 Programa de tesado

En el programa de tesado deberá hacerse constar expresamente:

a) Armaduras pretesas:

- el orden de tesado de las armaduras; eventualmente, las sucesivas etapas parciales de pretensado,
- la presión o fuerza que no debe sobrepasarse en los gatos,
- el valor de la carga de tesado en los anclajes,
- los alargamientos que deben obtenerse teniendo en cuenta, en su caso, los movimientos originados por la penetración de la cuña,
- el modo y secuencia que deberá seguirse para la liberación de los tendones,
- la resistencia requerida al hormigón en el momento de la transferencia.

b) Armaduras postesas:

- el orden de tesado de las armaduras,
- la presión o fuerza que debe desarrollarse en el gato,
- el alargamiento previsto y la máxima penetración de cuña,
- el momento de retirada de las cimbras durante el tesado, en su caso,
- la resistencia requerida al hormigón antes del tesado,
- el número, tipo y localización de los acopladores,
- el módulo de elasticidad supuesto para la armadura activa,
- los coeficientes de rozamiento teóricos tenidos en cuenta.

El tesado no se iniciará sin la autorización previa de la dirección facultativa, la cual comprobará la idoneidad del programa de tesado propuesto, así como la resistencia

alcanzada por el hormigón, que deberá ser igual o superior a la establecida en proyecto para poder comenzar dicha maniobra.

### 50.3.3 Tensión máxima inicial admisible en las armaduras

Además de otras limitaciones que pueda establecer el proyecto, el valor máximo de la tensión inicial introducida en las armaduras  $\sigma_{p0}$  antes de anclarlas, provocará tensiones que cumplan las condiciones siguientes:

- el 85% de la carga unitaria máxima característica garantizada siempre que, al anclar las armaduras en el hormigón se produzca una reducción de la tensión tal que el valor máximo de la tensión en las armaduras  $\sigma_{p0}$  después de dicha reducción no supere el 75% de la carga unitaria máxima característica garantizada, en el caso de que tanto el acero para armaduras activas, como el aplicador del pretensado estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, y
- en el resto de los casos, el 80% de la carga unitaria máxima característica garantizada siempre que, al anclar las armaduras en el hormigón se produzca una reducción de la tensión tal que el valor máximo de la tensión en las armaduras  $\sigma_{p0}$  después de dicha reducción no supere el 70% de la carga unitaria máxima característica garantizada.

### 50.3.4 Retesado de armaduras postesas

Se entiende por retesado cualquier operación de tesado efectuada sobre un tendón con posterioridad a la de su tesado inicial.

Sólo está justificado cuando se considere preciso para uniformar las tensiones de los diferentes tendones de un mismo elemento, o cuando, de acuerdo con el programa previsto en el proyecto, el tesado se realice en etapas sucesivas.

Debe evitarse el retesado que tenga como único objeto disminuir las pérdidas diferidas de tensión, salvo que circunstancias especiales así lo exijan.

## 50.4 Procesos posteriores al tesado de las armaduras activas

### 50.4.1 Inyección de las vainas en armaduras postesas

#### 50.4.1.1 Generalidades

Los principales objetivos de la inyección de los tendones son evitar la corrosión del acero de pretensado y proporcionar una adherencia eficaz entre el hormigón y el acero.

Para conseguirlo es condición básica que todos los huecos de las vainas o conductos y anclajes queden llenos por un material de inyección adecuado (apartado 37.4), que posea los requisitos de resistencia y adherencia necesarios.

La inyección debe efectuarse lo más pronto posible después del tesado. Si, por razones constructivas, debiera diferirse, se efectuará una protección provisional de las armaduras, utilizando algún método o material que no impida la ulterior adherencia de los tendones al producto de inyección.

Además, para asegurar que la inyección de los tendones se realiza de forma correcta y segura es preciso disponer de:

- Personal cualificado, entrenado al efecto.
- Un equipo sólido y seguro, adecuadamente revisado, calibrado y puesto a punto.
- Unas instrucciones escritas y una organización previa sobre los materiales a utilizar y el procedimiento de inyección a seguir.
- Adoptar las precauciones de seguridad adecuadas a cada caso.

#### **50.4.1.2 Preparación de la mezcla**

Los materiales sólidos utilizados para preparar el producto de inyección deberán dosificarse en peso.

El amasado de dichos materiales se realizará en un aparato mezclador capaz de preparar un producto de inyección de consistencia uniforme y, a ser posible, de carácter coloidal. Se prohíbe el amasado a mano.

El tiempo de amasado depende del tipo de aparato mezclador y debe realizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante. En cualquier caso, no será inferior a 2 minutos ni superior a 4 minutos.

Después del amasado, el producto debe mantenerse en movimiento continuo hasta el momento de la inyección. Es esencial que, en ese momento, el producto se encuentre exento de grumos.

En el caso de vainas o conductos verticales, la relación agua/cemento de la mezcla debe ser algo mayor que en las mezclas destinadas a inyectar vainas horizontales.

#### **50.4.1.3 Programa de inyección**

El programa de inyección debe contener, al menos, los siguientes puntos:

- Las características de la lechada a utilizar, incluyendo el tiempo de utilización y el tiempo de endurecimiento.
- Las características del equipo de inyección, incluyendo presiones y velocidad de inyección.
- Limpieza de los conductos.
- Secuencia de las operaciones de inyección y ensayos a realizar sobre la lechada fresca (fluidez, segregación, etc.).
- Fabricación de probetas para ensayo (exudación, retracción, resistencia, etc.).
- Volumen de lechada que debe prepararse.
- Instrucciones sobre actuaciones a adoptar en caso de incidentes (por ejemplo, fallo durante la inyección), o condiciones climáticas perjudiciales (por ejemplo, durante y después de períodos con temperaturas inferiores a 5°C).

#### 50.4.1.4 Ejecución de la inyección

Antes de proceder a la inyección hay que comprobar que se cumplen las siguientes condiciones previas:

- a) el equipo de inyección se encuentra operativo y se dispone de una bomba de inyección auxiliar para evitar interrupciones en caso de mal funcionamiento;
- b) existe un suministro permanente de agua a presión y aire comprimido;
- c) se dispone, en exceso, de materiales para el amasado del producto de inyección;
- d) las vainas están libres de materiales perjudiciales, por ejemplo, agua o hielo;
- e) los orificios de los conductos a inyectar están perfectamente preparados e identificados;
- f) se han preparado los ensayos de control de la lechada.

En el caso de que la aplicación del pretensado esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la dirección facultativa podrá prescindir de la condición a la que hace referencia el punto a).

La inyección debe ser continua e ininterrumpida, con una velocidad de avance comprendida entre 5 y 15 metros por minuto. La longitud máxima de inyección y la longitud de las toberas vendrá definida por la correspondiente Evaluación Técnica Europea del sistema de pretensado.

Como norma general, para lechadas estándar se inyectará con una velocidad de 5 a 15 metros por minuto, se inyectarán longitudes máximas de 120 m y se colocarán purgas en los puntos altos con una separación máxima de 50 m. Con lechadas especiales pueden utilizarse otros parámetros que deberán estar justificados mediante ensayos.

Se prohíbe efectuar la inyección mediante aire comprimido.

Siempre que sea posible, la inyección debe efectuarse desde el anclaje más bajo o desde el tubo de toma inferior del conducto.

La inyección debe prolongarse hasta que la consistencia de la mezcla que rebosa por el extremo libre del conducto sea igual a la del producto inyectado y, una vez terminada, deben adoptarse las medidas necesarias para evitar pérdidas de la mezcla en el conducto.

En el caso de vainas o conductos verticales, debe colocarse un pequeño depósito en la parte superior que debe mantenerse constantemente lleno de pasta para compensar la reducción de volumen que se produce. Es importante que este depósito se sitúe en posición centrada encima del conducto, con el fin de que el agua ascendente por exudación pueda unirse a la mezcla contenida en el depósito y no se quede acumulada en el extremo superior de la vaina, lo que resultaría peligroso para la protección del tendón y del anclaje correspondiente.

En tiempo frío y, especialmente en tiempo de heladas, deben tomarse precauciones especiales, asegurándose que, al iniciar la inyección, no existe hielo en los conductos. Para ello, debe inyectarse agua caliente, pero nunca vapor.

Si se prevé que la temperatura no descenderá por debajo de los 5°C en las 48 horas siguientes a la inyección, se podrá continuar ésta utilizando un producto poco sensible a las heladas, que contenga del 6 al 10% de aire ocluido y que cumpla las condiciones prescritas en el Artículo 37, o bien calentándose el elemento de la estructura de modo que su temperatura no baje de 5°C, durante ese tiempo.

Cuando la temperatura ambiente exceda de los 35°C, es recomendable enfriar el agua de la mezcla.

En todos los casos, una vez terminada la inyección deben obturarse herméticamente los orificios y tubos de purga, de modo que se evite la penetración en los conductos de agua, o de cualquier otro agente corrosivo para las armaduras. Asimismo, debe procederse a la limpieza del equipo lo más rápidamente posible después de finalizada la inyección, procediendo a continuación a un cuidadoso secado de la bomba, mezcladora y tuberías.

Si existiera la posibilidad de que hubiera zonas importantes no inyectadas, deben adoptarse las medidas oportunas para realizar una inyección posterior de las mismas. En caso de duda puede realizarse un control con endoscopio o realizando el vacío.

#### **50.4.1.5 Medidas de seguridad durante la inyección**

Durante la inyección de los conductos, los operarios que trabajen en las proximidades deberán ir provistos de gafas protectoras o una pantalla transparente, mascarilla para la boca y nariz y guantes en previsión de posibles escapes de la mezcla inyectada a presión.

No debe mirarse por los tubos utilizados como respiraderos o rebosaderos, para comprobar el paso del producto de inyección.

Cuando la inyección se efectúa en obra, y existe circulación en zonas próximas, se adoptarán las oportunas precauciones para impedir que, si se escapa el producto de inyección, pueda ocasionar daños.

#### **50.4.2 Destesado de armaduras pretesas**

El destesado es la operación mediante la cual se transmite el esfuerzo de pretensado de las armaduras al hormigón, en el caso de armaduras pretesas, y se efectúa soltándolas de sus anclajes provisionales extremos.

Antes de proceder al destesado, deberá comprobarse que el hormigón ha alcanzado la resistencia necesaria para poder soportar las tensiones transmitidas por las armaduras, y deberán eliminarse todos los obstáculos capaces de impedir el libre movimiento de las piezas de hormigón.

Si el destesado se realiza elemento por elemento, la operación deberá hacerse de acuerdo con un orden preestablecido con el fin de evitar asimetrías, que pueden resultar perjudiciales en el esfuerzo de pretensado.

Deberán preverse los dispositivos adecuados que permitan realizar el destesado de un modo lento, gradual y uniforme, sin sacudidas bruscas.

Una vez sueltas las armaduras de sus amarres extremos y liberadas también las coacciones que puedan existir entre las sucesivas piezas de cada bancada, se

procederá a cortar las puntas de las armaduras que sobresalgan de las testas de dichas piezas, si es que éstas van a quedar expuestas y no embebidas en el hormigón.

## **Artículo 51 Fabricación y suministro del hormigón**

### **51.1 Prescripciones generales**

El hormigón estructural requiere estar fabricado en centrales que cumplirán con lo especificado en el apartado 51.2.

#### **51.1.1 Consideraciones adicionales para hormigones especiales**

El autor del proyecto o la dirección facultativa podrán disponer o, en su caso, autorizar a propuesta del constructor, el empleo de hormigones especiales que pueden requerir de especificaciones adicionales respecto a las indicadas en el articulado o condiciones específicas para su empleo, de forma que permitan satisfacer las exigencias básicas de este Código.

Cuando se empleen hormigones con fibras, hormigones con árido ligero u hormigón proyectado, el autor del proyecto o la dirección facultativa podrán disponer la obligatoriedad de cumplir las recomendaciones recogidas al efecto en los Anejos 5, 6 y 18 de este Código, respectivamente.

### **51.2 Instalaciones de fabricación del hormigón**

#### **51.2.1 Generalidades**

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

- Instalaciones de recepción y almacenamiento de materiales componentes.
- Instalaciones de dosificación.
- Equipos de amasado.
- Equipos de transporte, en su caso.
- Control de producción.

En cada central habrá una persona responsable de la producción, con formación y experiencia suficiente, que estará presente durante el proceso de fabricación y que será distinta del responsable del control de producción.

Las centrales pueden pertenecer o no a las instalaciones propias de la obra.

Para distinguir ambos casos, en el marco de este Código se denominará hormigón preparado a aquel que se fabrica en una central que está inscrita en el Registro Industrial según el Título 4º de la Ley 21/1.992, de 16 de julio, de Industria y el Real

Decreto 697/1995 de 28 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Registro de Establecimientos Industriales de ámbito estatal, estando dicha inscripción a disposición del peticionario y de las Administraciones competentes, y que, con carácter general, no pertenece a las instalaciones propias de la obra.

El fabricante tendrá implantado un Plan de mantenimiento de las instalaciones de la central que asegure el cumplimiento de las condiciones indicadas en este apartado.

#### **51.2.2 Sistemas de almacenamiento y gestión de los acopios**

Los materiales componentes se almacenarán y transportarán de forma tal que se evite todo tipo de entremezclado, contaminación, deterioro o cualquier otra alteración significativa en sus características. Se tendrá en cuenta lo previsto en los Artículos 28, 29, 30, 31 y 32 para estos materiales.

Los acopios de materias primas (bien sean silos, tolvas, depósitos o zonas abiertas) estarán señalizados indicando el tipo de material que contienen y deberán reunir las condiciones necesarias para evitar cualquier tipo de contaminación medioambiental.

##### **51.2.2.1 Cemento**

El almacenamiento del cemento en la central de hormigón se efectuará conforme a lo establecido en la reglamentación específica vigente.

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. En el caso de que se tenga que cambiar el tipo de cemento de alguno de los silos, previamente se procederá a la limpieza del mismo para evitar mezclas de cemento de distintos tipos.

##### **51.2.2.2 Áridos**

Los áridos se almacenarán en silos, tolvas o acopios sobre el terreno. En este último caso se dispondrán sobre una base anticontaminante que evite su contacto con el terreno; la mezcla entre los apilamientos de fracciones granulométricas distintas se evitará con tabiques separadores o con espaciamientos amplios entre ellos.

Se deberán establecer acopios separados e identificados para los áridos reciclados y los áridos naturales.

Deberán adoptarse las precauciones necesarias para evitar la segregación, tanto durante el almacenamiento como durante el transporte entre el lugar de almacenamiento y las tolvas para su dosificación.

#### **Comentarios Agua**

Si existen instalaciones para el almacenamiento del agua, éstas garantizarán que se impide cualquier tipo de contaminación.

##### **51.2.2.3 Adiciones**

Para las adiciones suministradas a granel se emplearán equipos similares a los utilizados para el cemento, debiéndose almacenar en recipientes y silos impermeables que los protejan de la humedad y de la contaminación, los cuales estarán perfectamente identificados para evitar posibles errores de dosificación.

#### **51.2.2.4 Aditivos**

Los aditivos pulverulentos se almacenarán en las mismas condiciones que los cementos, evitando cualquier tipo de contaminación.

Los aditivos líquidos y los pulverulentos diluidos en agua se deben almacenar en depósitos que deberán estar protegidos de la helada, impedir cualquier contaminación y evitar que se produzcan sedimentaciones incorporando, en los casos que fuera necesario, elementos agitadores para mantener los sólidos en suspensión.

### **51.2.3 Instalaciones de dosificación**

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

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

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

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

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

#### **51.2.3.1 Cemento**

La precisión de la báscula de cemento será de  $\pm 0,5\%$  de la capacidad total de la báscula, en toda la zona comprendida entre el 10% y el 90% de su capacidad total.

#### **51.2.3.2 Áridos**

La precisión de la báscula de áridos será de  $\pm 0,5\%$  de la capacidad total de la báscula, en toda la zona comprendida entre el 10% y el 90% de su capacidad total.

Para la medición de su humedad superficial, la central dispondrá de elementos que permitan obtener sistemáticamente este dato, mediante un método contrastado y preferentemente de forma automática. En caso de no disponer de un equipo automático se guardará un registro de las determinaciones de humedad realizadas.

Las instalaciones de dosificación dispondrán de silos o tolvas con compartimientos adecuados y separados para cada una de las fracciones granulométricas necesarias de árido.

#### **51.2.3.3 Agua**

El medidor de agua deberá tener una precisión tal que no se rebase la tolerancia de dosificación establecida en el apartado 51.3.2.4. El agua directamente añadida al amasado se medirá por contador volumétrico o mediante báscula.

#### **51.2.3.4 Adiciones**

La precisión de la báscula de adiciones será de  $\pm 0,5\%$  de la capacidad total de la báscula, en toda la zona comprendida entre el 10% y el 90% de su capacidad total.

#### **51.2.3.5 Aditivos**

Los dosificadores para aditivos estarán diseñados y marcados de tal forma que se pueda medir con claridad la cantidad de aditivo correspondiente a 50 kilogramos de cemento. La precisión del dosificador será de  $\pm 1\%$  para cualquier lectura.

### **51.2.4 Equipos de amasado**

Los equipos pueden estar constituidos por amasadoras fijas o móviles capaces de mezclar los componentes del hormigón de modo que se obtenga una mezcla homogénea y completamente amasada, capaz de satisfacer los dos requisitos del grupo A y al menos dos de los del grupo B, de la tabla 51.2.4.

Estos equipos se examinarán con la frecuencia necesaria para detectar la presencia de residuos de hormigón o mortero endurecido, así como desperfectos o desgastes en las paletas o en su superficie interior, procediéndose, a comprobar anualmente el cumplimiento de los requisitos de la Tabla 51.2.4.

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

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

Tabla 51.2.4. Comprobación de la homogeneidad del hormigón. Deberán obtenerse resultados satisfactorios en los dos ensayos del grupo A y en al menos dos de los cuatro del grupo B

ENSAYOS		Diferencia máxima tolerada entre los resultados de los ensayos de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga)
Grupo A	1. Consistencia (UNE-EN 12350-2) Si el asiento medio es igual o inferior a 9 cm	3 cm
	Si el asiento medio es superior a 9 cm	4 cm
	2. Resistencia (*) En porcentajes respecto a la media	7,5 %
Grupo B	3. Densidad del hormigón (UNE-EN 12350-6) En kg/m <sup>3</sup>	16 kg/m <sup>3</sup>
	4. Contenido de aire (UNE-EN 12350-7) En porcentaje respecto al volumen del hormigón	1 %
	5. Contenido de árido grueso (UNE 7295) En porcentaje respecto al peso de la muestra tomada	6 %
	6. Módulo granulométrico del árido (UNE 7295)	0,5

(\*) Por cada muestra, se fabricarán y ensayarán a compresión, a la edad 7 días, dos probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Si a 7 días no se cumplen las prescripciones se pueden ensayar a 28 días, dándose por bueno el resultado si es correcto en esa fecha. Estas probetas serán confeccionadas, conservadas y ensayadas según los procedimientos contemplados en el apartado 57.3. Se determinará la medida de cada una de las dos muestras como porcentaje de la media total.

### 51.2.5 Control de producción

Las centrales de hormigón preparado deberán tener implantado un sistema de control de producción que contemple la totalidad de los procesos que se lleven a cabo en las mismas y de acuerdo con lo dispuesto en la reglamentación vigente que sea de aplicación.

En el caso de que el hormigón se fabrique en central de obra, el constructor deberá efectuar un autocontrol equivalente al definido anteriormente para las centrales de hormigón preparado.

### **51.3 Fabricación del hormigón**

Previamente a la fabricación de una partida de hormigón, el fabricante comprobará la existencia del documento de especificaciones referido en el apartado 51.3.4, prestando especial atención a las posibles exigencias particulares en cuanto a materias primas y dosificaciones.

#### **51.3.1 Suministro de materiales componentes**

Cada uno de los materiales componentes empleados para la fabricación del hormigón deberá suministrarse a la central de hormigón acompañada de la documentación de suministro indicada al efecto en el Anejo 4. En el apartado 51.2.2 se señalan las condiciones de almacenamiento y gestión de materiales componentes.

#### **51.3.2 Dosificación de materiales componentes**

##### **51.3.2.1 Criterios generales**

Se dosificará el hormigón con arreglo a los métodos que se consideren oportunos respetando siempre las limitaciones siguientes:

- a) La cantidad mínima de cemento por metro cúbico de hormigón será la establecida en el apartado 43.2.1.
- b) La cantidad máxima de cemento por metro cúbico de hormigón será de 500 kg. En casos excepcionales, previa justificación experimental y autorización expresa de la dirección facultativa, se podrá superar dicho límite.
- c) No se utilizará una relación agua/cemento mayor que la máxima establecida en el apartado 43.2.1.

En dicha dosificación se tendrán en cuenta, no sólo la resistencia mecánica y la consistencia (en su caso) que deban obtenerse, sino también la clase de exposición ambiental que va a estar sometido el hormigón, por los posibles riesgos de deterioro de éste o de las armaduras a causa del ataque de agentes exteriores.

La dosificación de cemento, de los áridos, y en su caso, de las adiciones, se realizará en peso. Se deberá vigilar el mantenimiento de la dosificación para garantizar una adecuada homogeneidad entre amasadas.

Cuando la central de fabricación no disponga de historial de resultados de dosificaciones (con los materiales componentes solicitados) para una especificación concreta, se deberán realizar ensayos previos para garantizar que la dosificación diseñada satisface las condiciones exigidas de acuerdo con los Artículos 33 y 43.

##### **51.3.2.2 Cemento**

El cemento se dosificará en peso, utilizando básculas y escalas distintas de las utilizadas para los áridos. La tolerancia en peso de cemento será del  $\pm 3$  por 100. Esta tolerancia debe aplicarse a la carga total de cada amasada.

### 51.3.2.3 Áridos

Los áridos se dosificarán en peso, teniendo en cuenta las correcciones por humedad.

Para favorecer la compacidad de la mezcla, el árido deberá componerse de al menos dos fracciones granulométricas, para tamaños máximos iguales o inferiores a 22 mm, y de tres fracciones granulométricas para tamaños máximos mayores. La tolerancia en peso de los áridos, tanto si se utilizan básculas distintas para cada fracción de árido, como si la dosificación se realiza acumulada, será del  $\pm 3\%$ . Esta tolerancia debe aplicarse a la carga total de cada amasada.

### 51.3.2.4 Agua

El agua de amasado está constituida, fundamentalmente, por la directamente añadida a la amasada, la procedente de la humedad de los áridos y, en su caso, la aportada por aditivos líquidos.

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

El agua de lavado de las amasadoras, tanto fijas como móviles, deberá ser eliminada antes de cargar la siguiente amasada del hormigón.

El agua total se determinará con una tolerancia del  $\pm 3\%$  de la cantidad total prefijada. Esta tolerancia debe aplicarse a la carga total de cada amasada.

### 51.3.2.5 Adiciones

Cuando se utilicen, las adiciones se dosificarán en peso, empleando básculas con escalas distintas de las utilizadas para los áridos. Cuando la cantidad de adiciones supera el 5% de la masa del cemento, la tolerancia en la dosificación será el  $\pm 3\%$  de la cantidad requerida. Cuando la cantidad de adiciones no supera el 5% de la masa del cemento, la tolerancia en la dosificación será el  $\pm 5\%$  de la cantidad requerida.. Esta tolerancia debe aplicarse a la carga total de cada suministro.

### 51.3.2.6 Aditivos

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

En ambos casos, la tolerancia será el  $\pm 5\%$  del peso o volumen requeridos. Esta tolerancia debe aplicarse a la carga total de cada suministro.

La incorporación de aditivos puede realizarse en planta o en obra. Sin embargo, en algunas ocasiones, para conseguir hormigones de características especiales puede ser conveniente la combinación de ambas situaciones.

## 51.3.3 Amasado del hormigón

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

- totalmente en amasadora fija;

- iniciado en amasadora fija y terminado en amasadora móvil, antes de su transporte;
- en amasadora móvil, antes de su transporte.

Los materiales componentes se amasarán de forma tal que se consiga su mezcla íntima y homogénea, debiendo resultar el árido bien recubierto de pasta de cemento. La homogeneidad del hormigón se comprobará de acuerdo al procedimiento establecido en el apartado 51.2.4.

#### **51.3.4 Designación y características**

El hormigón fabricado en central podrá designarse por propiedades o, excepcionalmente, por dosificación, de acuerdo con lo indicado en el apartado 33.6 de éste Código.

En ambos casos el peticionario deberá especificar documentalmente al fabricante, y previamente al suministro, como mínimo:

- La consistencia.
- El tamaño máximo del árido.
- La clase de exposición ambiental a la que va a estar expuesto el hormigón.
- La resistencia característica a compresión (véase el apartado 33.1), para hormigones designados por propiedades.
- El contenido de cemento, expresado en kilos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), para hormigones designados por dosificación y para aquellos que aún designados por propiedades tienen una especificación de contenido de cemento más exigente que el indicado para cada exposición ambiental.
- La indicación, en su caso, de características especiales del tipo de cemento, particularmente en aquellos casos que requieren el uso de cementos SR, SRC o MR.
- La indicación de si el hormigón va a ser utilizado en masa, armado o pretensado.

Cuando la designación del hormigón fuese por propiedades, el suministrador establecerá la composición de la mezcla del hormigón, garantizando al peticionario las características especificadas de tamaño máximo del árido, consistencia y resistencia característica, así como las limitaciones derivadas de la clase de exposición ambiental especificado (contenido de cemento y relación agua/cemento).

La designación por propiedades se realizará según lo indicado en el Artículo 33.

Cuando la designación del hormigón fuese por dosificación, el peticionario es responsable de la congruencia de las características especificadas de tamaño máximo del árido, consistencia y contenido en cemento por metro cúbico de hormigón, mientras que el suministrador deberá garantizarlas, al igual que deberá indicar la relación agua/cemento que ha empleado.

Antes de comenzar el suministro, el peticionario podrá pedir al suministrador una demostración satisfactoria de que los materiales componentes que van a emplearse cumplen los requisitos indicados en los Artículos 28, 29, 30, 31 y 32.

En ningún caso se emplearán adiciones, ni aditivos que no estén incluidos en la Tabla 31.2, sin el conocimiento del peticionario, ni la autorización de la dirección facultativa.

Cuando el peticionario solicite hormigón con características especiales u otras además de las citadas anteriormente, dichas características deberán ser especificadas antes de empezar el suministro.

## **51.4 Transporte y suministro del hormigón**

### **51.4.1 Transporte del hormigón**

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

El tiempo transcurrido entre la adición de agua del amasado al cemento y a los áridos y la colocación del hormigón, no debe ser mayor de hora y media, salvo que se utilicen aditivos retardadores de fraguado. Dicho tiempo límite podrá disminuirse, en su caso, cuando el fabricante del hormigón considere necesario establecer en su hoja de suministro un plazo inferior para su puesta en obra. En tiempo caluroso, o bajo condiciones que contribuyan a un rápido fraguado del hormigón, el tiempo límite deberá ser inferior, a menos que se adopten medidas especiales que, sin perjudicar la calidad del hormigón, aumenten el tiempo de fraguado.

Cuando el hormigón se amasa completamente en central y se transporta en amasadoras móviles, el volumen de hormigón transportado no deberá exceder del 80% del volumen total del tambor. Cuando el hormigón se amasa, o se termina de amasar, en amasadora móvil, el volumen no excederá de los dos tercios del volumen total del tambor. Los equipos de transporte deberán estar exentos de residuos de hormigón o mortero endurecido, para lo cual se limpiarán cuidadosamente antes de proceder a la carga de una nueva masa fresca de hormigón. Asimismo, no deberán presentar desperfectos o desgastes en las paletas o en su superficie interior que puedan afectar a la homogeneidad del hormigón e impedir que se cumpla lo estipulado en el apartado 51.2.4.

El transporte podrá realizarse en amasadoras móviles, a la velocidad de agitación, o en equipos con o sin agitadores, siempre que tales equipos tengan superficies lisas y redondeadas y sean capaces de mantener la homogeneidad del hormigón durante el transporte y la descarga.

El lavado de los elementos de transporte se efectuará en balsas de lavado específicas que permitan el reciclado del agua.

### **51.4.2 Suministro del hormigón**

Cada carga de hormigón fabricado en central, tanto si ésta pertenece o no a las instalaciones de obra, irá acompañada de una hoja de suministro cuyo contenido mínimo se indica en el Anejo 4.

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

La dirección de obra, o la persona en quien delegue, es la responsable de que el control de recepción se efectúe tomando las muestras necesarias, realizando los ensayos de control precisos, y siguiendo los procedimientos indicados en el Capítulo 13. Cuando se tomen muestras, por parte de la entidad de control, del hormigón suministrado, el responsable de la recepción del hormigón en la obra entregará una copia del acta de toma de muestras al suministrador del hormigón.

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

Queda expresamente prohibida la adición al hormigón de cualquier cantidad de agua u otras sustancias que puedan alterar la composición original de la masa fresca. No obstante, si el asentamiento es menor que el especificado, según el apartado 33.5, el suministrador podrá adicionar aditivo plastificante o superplastificante para aumentarlo hasta alcanzar dicha consistencia, sin que ésta rebase las tolerancias indicadas en el mencionado apartado y siempre que se haga conforme a un procedimiento escrito y específico que previamente haya sido aprobado por el fabricante del hormigón y que cuente con la autorización de la dirección facultativa. Para ello, el elemento de transporte o, en su caso, la central de obra, deberá estar equipado con el correspondiente sistema dosificador de aditivo y reamasar el hormigón hasta dispersar totalmente el aditivo añadido. El tiempo de reamasado será de al menos 1 min/m<sup>3</sup>, sin ser en ningún caso inferior a 5 minutos.

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

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

## **Artículo 52 Puesta en obra y curado del hormigón**

Salvo en el caso de que las armaduras elaboradas estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido y que el control de ejecución sea intenso, no podrá procederse a la puesta en obra del hormigón hasta disponer de los resultados de los correspondientes ensayos para comprobar su conformidad.

### **52.1 Vertido y colocación del hormigón**

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

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

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

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

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

## **52.2 Compactación del hormigón**

La compactación de los hormigones en obra se realizará mediante procedimientos adecuados a la consistencia de las mezclas y de manera tal que se eliminen los huecos y se obtenga un perfecto cerrado de la masa, sin que llegue a producirse segregación. El proceso de compactación deberá prolongarse hasta que refluya la pasta a la superficie y deje de salir aire.

Cuando se utilicen vibradores de superficie el espesor de la capa después de compactada no será mayor de 20 centímetros.

La utilización de vibradores de molde o encofrado deberá ser objeto de estudio, de forma que la vibración que se transmita a través del encofrado sea la adecuada para producir una correcta compactación, evitando la formación de huecos y capas de menor resistencia.

El revibrado del hormigón deberá ser objeto de aprobación por parte de la dirección de obra.

## **52.3 Puesta en obra del hormigón en condiciones climáticas especiales**

### **52.3.1 Hormigonado en tiempo frío**

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

Se prohíbe verter el hormigón sobre elementos (armaduras, moldes, etc.) cuya temperatura sea inferior a cero grados centígrados.

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

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

realizarse los ensayos de información necesarios para estimar la resistencia realmente alcanzada, adoptándose, en su caso, las medidas oportunas.

El empleo de aditivos aceleradores de fraguado o aceleradores de endurecimiento o, en general, de cualquier producto anticongelante específico para el hormigón, requerirá una autorización expresa, en cada caso, de la dirección facultativa. Nunca podrán utilizarse productos susceptibles de atacar a las armaduras, en especial los que contienen ión cloro.

### **52.3.2 Hormigonado en tiempo caluroso**

Cuando el hormigonado se efectúe en tiempo caluroso, se adoptarán las medidas oportunas para evitar la evaporación del agua de amasado, en particular durante el transporte del hormigón y para reducir la temperatura de la masa. Estas medidas deberán acentuarse para hormigones de resistencias altas

Para ello los materiales constituyentes del hormigón y los encofrados o moldes destinados a recibirlo deberán estar protegidos del soleamiento.

Una vez efectuada la colocación del hormigón se protegerá éste del sol y especialmente del viento, para evitar que se deseque.

Si la temperatura ambiente es superior a 40°C o hay un viento excesivo, se suspenderá el hormigonado, salvo que, previa autorización expresa de la dirección facultativa, se adopten medidas especiales.

## **52.4 Juntas de hormigonado**

Las juntas de hormigonado, que deberán, en general, estar previstas en el proyecto, se situarán en dirección lo más normal posible a la de las tensiones de compresión, y allí donde su efecto sea menos perjudicial, alejándolas, con dicho fin, de las zonas en las que la armadura esté sometida a fuertes tracciones. Se les dará la forma apropiada que asegure una unión lo más íntima posible entre el antiguo y el nuevo hormigón.

Cuando haya necesidad de disponer juntas de hormigonado no previstas en el proyecto se dispondrán en los lugares que apruebe la dirección facultativa, y preferentemente sobre los puntales de la cimbra. No se reanudará el hormigonado de las mismas sin que hayan sido previamente examinadas y aprobadas, si procede, por la dirección facultativa.

Si el plano de una junta resulta mal orientado, se demolerá la parte de hormigón necesaria para proporcionar a la superficie la dirección apropiada.

Antes de reanudar el hormigonado, se retirará la capa superficial de mortero, dejando los áridos al descubierto y se limpiará la junta de toda suciedad o árido que haya quedado suelto. En cualquier caso, el procedimiento de limpieza utilizado no deberá producir alteraciones apreciables en la adherencia entre la pasta y el árido grueso. Expresamente se prohíbe el empleo de productos corrosivos en la limpieza de juntas.

Se prohíbe hormigonar directamente sobre o contra superficies de hormigón que hayan sufrido los efectos de las heladas. En este caso deberán eliminarse previamente las partes dañadas por el hielo.

El pliego de prescripciones técnicas particulares podrá autorizar el empleo de otras técnicas para la ejecución de juntas (por ejemplo, impregnación con productos adecuados), siempre que se haya justificado previamente, mediante ensayos de suficiente garantía, que tales técnicas son capaces de proporcionar resultados tan eficaces, al menos, como los obtenidos cuando se utilizan los métodos tradicionales.

### **52.5 Curado del hormigón**

Durante el fraguado y primer período de endurecimiento del hormigón, deberá asegurarse el mantenimiento de la humedad del mismo mediante un adecuado curado. Éste se prolongará durante el plazo necesario en función del tipo y clase del cemento, de la temperatura y grado de humedad del ambiente, etc. El curado podrá realizarse manteniendo húmedas las superficies de los elementos de hormigón, mediante riego directo que no produzca deslavado. El agua empleada en estas operaciones deberá poseer las cualidades exigidas en el Artículo 29 de este Código.

El curado por aportación de humedad podrá sustituirse por la protección de las superficies mediante recubrimientos plásticos, agentes filmógenos u otros tratamientos adecuados, siempre que tales métodos, especialmente en el caso de masas secas, ofrezcan las garantías que se estimen necesarias para lograr, durante el primer período de endurecimiento, la retención de la humedad inicial de la masa, y no contengan sustancias nocivas para el hormigón.

Si el curado se realiza empleando técnicas especiales (curado al vapor, por ejemplo) se procederá con arreglo a las normas de buena práctica propias de dichas técnicas, previa autorización de la dirección facultativa.

## **Artículo 53 Procesos posteriores al hormigonado**

### **53.1 Desencofrado y desmoldeo**

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

Se tendrán también en cuenta las condiciones ambientales (por ejemplo, heladas) y la necesidad de adoptar medidas de protección una vez que el encofrado, o los moldes, hayan sido retirados.

### **53.2 Descimbrado y desapuntalado**

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

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

De manera previa al hormigonado deberá disponerse de un plan de descimbrado específico para la obra, propuesto por el constructor, que contemple, en su caso, las prescripciones de proyecto. Este plan se someterá a la aprobación de la dirección facultativa.

Cuando se trate de obras de importancia y no se posea experiencia de casos análogos, o cuando los perjuicios que pudieran derivarse de una fisuración prematura fuesen grandes, se realizarán ensayos de información (véase Artículo 57) para estimar la resistencia real del hormigón y poder fijar convenientemente el momento de desencofrado, desmoldeo o descimbrado.

En elementos de hormigón pretensado es fundamental que el descimbrado se efectúe de conformidad con lo dispuesto en el programa previsto a tal efecto al redactar el proyecto de la estructura. Dicho programa deberá estar de acuerdo con el correspondiente al proceso de tesado. En particular, en los puentes pretensados cuyo descimbrado se realice, al menos parcialmente, mediante el tesado de los tendones de pretensado, deberán evaluarse las acciones que la cimbra predeformada introduce sobre la estructura en el proceso de descarga de la misma.

En forjados unidireccionales el orden de retirada de los puntales será desde el centro del vano hacia los extremos y en el caso de voladizos del vuelo hacia el arranque. No se intersacarán ni retirarán puntales sin la autorización previa de la dirección facultativa. No se desapuntalará de forma súbita y se adoptarán precauciones para impedir el impacto de las sopandas y puntales sobre el forjado.

### **53.3 Acabado de superficies**

Las superficies vistas de las piezas o estructuras, una vez desencofradas o desmoldeadas, no presentarán coqueas o irregularidades que perjudiquen al comportamiento de la obra o a su aspecto exterior.

Cuando se requiera un particular grado o tipo de acabado por razones prácticas o estéticas, el proyecto deberá especificar los requisitos directamente o bien mediante patrones de superficie.

En general, para el recubrimiento o relleno de las cabezas de anclaje, orificios, entalladuras, cajetines, etc., que deba efectuarse una vez terminadas las piezas, se utilizarán morteros fabricados con masas análogas a las empleadas en el hormigonado de dichas piezas, pero retirando de ellas los áridos de tamaño superior a 4 mm. Todas las superficies de mortero se acabarán de forma adecuada.

## **Artículo 54 Elementos prefabricados**

### **54.1 Transporte, descarga y manipulación**

Además de las exigencias derivadas de la reglamentación vigente en materia de transporte, en el caso de los elementos prefabricados se deberá tener en cuenta, como mínimos, las siguientes condiciones:

- el apoyo sobre las cajas del camión no deberá introducir esfuerzos en los elementos no contemplados en el correspondiente proyecto,
- la carga deberá estar atada para evitar movimientos indeseados de la misma,
- todas las piezas deberán estar separadas mediante los dispositivos adecuados para evitar impactos entre las mismas durante el transporte,
- en el caso de que el transporte se efectúe en edades muy tempranas del elemento, deberá evitarse su desecación durante el mismo.

Para su descarga y manipulación en la obra, el constructor, o en su caso, el suministrador del elemento prefabricado, deberá emplear los medios de descarga adecuados a las dimensiones y peso del elemento, cuidando especialmente que no se produzcan pérdidas de alineación o verticalidad que pudieran producir tensiones inadmisibles en el mismo. En cualquier caso, se seguirán las instrucciones indicadas por cada fabricante para la manipulación de los elementos. Si alguno de ellos resultara dañado, pudiendo afectar a su capacidad portante, se procederá a su rechazo.

## **54.2 Acopio en obra**

En su caso, se procurará que las zonas de acopios sean lugares suficientemente grandes para que permita la gestión adecuada de los mismos sin perder la necesaria trazabilidad, a la vez que sean posibles las maniobras de camiones o grúas, en su caso.

Los elementos deberán acopiarse sobre apoyos horizontales que sean lo suficientemente rígidos en función de las características del suelo, de sus dimensiones y del peso. En el caso de viguetas y losas alveolares, se apilarán limpias sobre durmientes que coincidirán en la misma vertical, con vuelos, en su caso, no mayores que 0,50 m, ni alturas de pila superiores a 1,50 m, salvo que el fabricante indique otro mayor.

En su caso, las juntas, fijaciones, etc., deberán ser también acopiadas en un almacén, de manera que no se alteren sus características y se mantenga la necesaria trazabilidad.

## **54.3 Montaje de elementos prefabricados**

El montaje de los elementos prefabricados deberá ser conforme con lo establecido en el proyecto y, en particular, con lo indicado en los planos y detalles de los esquemas de montaje, con la secuencia de operaciones del programa de ejecución así como con las instrucciones de montaje que suministre el fabricante de producto prefabricado.

En función del tipo de elemento prefabricado, puede ser necesario que el montaje sea efectuado por personal especializado y con la debida formación.

### **54.3.1 Viguetas y losas alveolares**

#### **54.3.1.1 Colocación de viguetas y piezas de entrevigado**

El apuntalado se efectuará de acuerdo con lo establecido al efecto en el apartado 48.2 de este Código. Una vez niveladas las sopandas, se procederá a la colocación de

las viguetas con el intereje que se indique en los planos, mediante las piezas de entrevigado extremas. Finalizada esta fase, se ajustarán los puntales y se procederá a la colocación de las restantes piezas de entrevigado.

#### **54.3.1.2 Desapuntalado**

Los plazos de desapuntalado serán los indicados en el Artículo 53.2. Para modificar dichos plazos, el constructor presentará a la dirección facultativa para su aprobación un plan de desapuntalado acorde con los medios materiales disponibles, debidamente justificado y donde se establezcan los medios de control y seguridad apropiados.

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

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

#### **54.3.1.3 Realización de tabiques divisorios**

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

#### **54.3.2 Otros elementos prefabricados lineales**

En el montaje de vigas prefabricadas, se adoptarán las medidas oportunas para evitar que se produzcan corrimientos de los apoyos.

El proyecto deberá incluir, en su caso, un estudio del montaje de los elementos prefabricados que requieran arriostramientos provisionales para evitar posibles problemas de inestabilidad durante el montaje de la estructura.

### **54.4 Uniones de elementos prefabricados**

Las uniones entre las distintas piezas prefabricadas que constituyen una estructura, o entre dichas piezas y los otros elementos estructurales construidos in situ, deberán asegurar la correcta transmisión de los esfuerzos entre cada pieza y las adyacentes a ella.

Se construirán de tal forma que puedan absorberse las tolerancias dimensionales normales de prefabricación, sin originar solicitaciones suplementarias o concentración de esfuerzos en los elementos prefabricados.

Las testas de los elementos que vayan a quedar en contacto, no podrán presentar irregularidades tales que impidan que las compresiones se transmitan uniformemente sobre toda la superficie de aquéllas. El límite admisible para estas irregularidades depende del tipo y espesor de la junta; y no se permite intentar corregirlas mediante enfoscado de las testas con mortero de cemento, o cualquier otro material que no garantice la adecuada transmisión de los esfuerzos sin experimentar deformaciones excesivas.

En las uniones por soldadura deberá cuidarse que el calor desprendido no produzca daños en el hormigón o en las armaduras de las piezas.

Las uniones mediante armaduras postesas exigen adoptar precauciones especiales si estas armaduras son de pequeña longitud. Su empleo es recomendable para rigidizar nudos y están especialmente indicadas para estructuras que deban soportar acciones sísmicas.

En las uniones roscadas, se atenderá especialmente tanto a las calibraciones de los equipos dinamométricos utilizados, como a que la tensión de apriete aplicada en cada tornillo se corresponde con la especificada en el proyecto.

# **Capítulo 12**

## **Gestión de la calidad del proyecto de estructuras de hormigón**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 55</b>	<b>CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA EL DESARROLLO DEL CONTROL DE PROYECTO EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.....</b>	<b>3</b>
55.1	NIVELES DEL CONTROL DE PROYECTO.....	3
55.2	DOCUMENTACIÓN DEL CONTROL DE PROYECTO .....	4

## Artículo 55 Criterios específicos para el desarrollo del control de proyecto en las estructuras de hormigón

### 55.1 Niveles del control de proyecto

Cuando la propiedad decida la realización del control de proyecto, independientemente del nivel de supervisión adoptado (supervisión normal o supervisión ampliada), acorde el apartado B.4 del Apéndice B del Anejo 18, elegirá uno de los siguientes niveles de control:

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

La entidad de control identificará los aspectos que deben comprobarse y desarrollará, según el tipo de obra, una pauta de control como la que, a título orientativo, se recoge en el Anejo 3.

La frecuencia de comprobación, según el nivel de control adoptado, no debe ser menor que el indicado en la tabla 55.1.

Tabla 55.1 Frecuencia de comprobación

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
Zapatas	10%	20%	Al menos 3 zapatas
Losas de cimentación	10%	20%	Al menos 3 recuadros
Encepados	10%	20%	Al menos 3 encepados
Muros de contención	10%	20%	Al menos 3 secciones diferentes
Muros de sótano	10%	20%	Al menos 3 secciones diferentes
Estribos	10%	20%	Al menos 1 de cada tipo
Pilares y pilas de puente	15%	30%	Mínimo 3 tramos
Muros portantes	10%	20%	Mínimo 3 tramos
Jácenas	10%	20%	Mínimo 3 jácenas de al menos dos vanos
Zunchos	10%	20%	Mínimo dos zunchos
Tableros de vigas y losa superior	10%	20%	Mínimo dos vanos En cada vano mínimo una viga interior y una viga de borde
Tableros con losa maciza o aligerada	10%	20%	Mínimo dos vanos. En losas continuas, mínimo un vano extremo y otro interior.
Tableros con sección cajón	10%	20%	Mínimo dos vanos. Uno extremo y otro interior.

Tabla 55.1 Frecuencia de comprobación (continuación)

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
Puentes pórtico	15%	30%	Mínimo un tramo
Arcos y bóvedas	15%	30%	Mínimo un tramo
Mamparos, diafragmas o riostras sobre pilas y estribos	15%	30%	Al menos 1 por tipo
Costillas de voladizos	15%	30%	Al menos 1 de borde y una intermedia.
Brochales	10%	20%	Mínimo 3 brochales
Escaleras	10%	20%	Al menos dos tramos
Losas y forjados bidireccionales	15%	30%	Al menos 3 recuadros Mínimo uno de borde y uno en voladizo
Forjados unidireccionales	15%	30%	Al menos 3 paños
Elementos singulares: anclajes de pretensado, anclajes de tirantes o péndolas, nudos de empalme de elementos prefabricados, etc...	15%	30%	Al menos 1 por tipo
Elementos auxiliares provisionales necesarios durante la ejecución: apeos, pilonos de atirantamiento, etc...	15%	30%	Al menos 1 por tipo y supervisión de afección a la estructura definitiva

Nota: No obstante lo anterior, se comprobará el 100% de los elementos sometidos a torsión principal y, en general, los elementos que sean susceptibles de roturas frágiles o que contengan detalles con posibles empujes al vacío, nudos complejos, transiciones complicadas en geometría o armaduras, cabezas de anclaje, riostras, regiones de discontinuidad, etc.

## 55.2 Documentación del control de proyecto

Cualquiera que sea el nivel de control aplicado, la entidad de control entregará a la propiedad un informe escrito y firmado por persona física, con indicación de su cualificación y cargo dentro de la entidad, en el que, congruentemente con la pauta de control adoptada, se reflejarán, al menos, los siguientes aspectos:

- a) propiedad peticionaria,
- b) identificación de la entidad de control de calidad u organismo que lo suscribe,
- c) identificación precisa del proyecto objeto de control,
- d) identificación del nivel de control adoptado,
- e) plan de control de acuerdo con las pautas adoptadas,

- f) comprobaciones realizadas,
- g) resultados obtenidos,
- h) relación de no conformidades detectadas, indicando si éstas se refieren a la adecuada definición del proyecto para la ejecución, o si afectasen a la seguridad, funcionalidad o durabilidad,
- i) valoración de las no conformidades,
- j) conclusiones, y en particular conclusión explícita sobre la existencia de reservas que pudieran provocar incidencias indeseables si se procediese a licitar las obras o a ejecutar las mismas.

La propiedad, a la vista del informe anterior, tomará las decisiones oportunas y previas a la licitación o, en su caso, a la ejecución de las obras. En el caso de la existencia de no conformidades, antes de la toma de decisiones, la propiedad comunicará el contenido del informe de control al autor del proyecto, quien procederá a:

- a) subsanar, en su caso, las no conformidades detectadas en el control de proyecto; o
- b) presentar un informe escrito, en el que se ratifiquen y justifiquen las soluciones y definiciones adoptadas en el mismo, acompañando cualquier documentación complementaria que se estime necesaria.

# **Capítulo 13**

## **Gestión de la calidad de los productos en estructuras de hormigón**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 56</b>	<b>CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA EL CONTROL DE LOS PRODUCTOS.....</b>	<b>5</b>
56.1	CONTROL DOCUMENTAL .....	5
56.2	INSPECCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	6
56.3	TOMA DE MUESTRAS Y REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	6
56.4	CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA CONFORMIDAD DE LOS PRODUCTOS .....	6
56.4.1	<i>Cementos.....</i>	6
56.4.2	<i>Áridos.....</i>	6
56.4.3	<i>Aditivos.....</i>	7
56.4.4	<i>Adiciones.....</i>	7
56.4.5	<i>Agua .....</i>	7
56.4.6	<i>Productos para la protección, reparación y refuerzo .....</i>	7
<b>ARTÍCULO 57</b>	<b>CONTROL DEL HORMIGÓN .....</b>	<b>8</b>
57.1	CRITERIOS GENERALES PARA EL CONTROL DE LA CONFORMIDAD DE UN HORMIGÓN .....	8
57.2	TOMA DE MUESTRAS.....	8
57.3	REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS .....	9
57.3.1	<i>Ensayos de docilidad del hormigón .....</i>	9
57.3.2	<i>Ensayos de resistencia del hormigón.....</i>	9
57.3.3	<i>Ensayos de durabilidad.....</i>	11
57.4	CONTROL PREVIO AL SUMINISTRO .....	11
57.4.1	<i>Comprobación documental previa al suministro .....</i>	11
57.4.2	<i>Comprobación de las instalaciones .....</i>	11
57.4.3	<i>Comprobaciones experimentales previas al suministro .....</i>	12
57.4.3.1	<i>Posible exención de ensayos .....</i>	12
57.5	CONTROL DURANTE EL SUMINISTRO .....	12
57.5.1	<i>Control documental durante el suministro .....</i>	12
57.5.2	<i>Comprobación de la conformidad de la docilidad del hormigón durante el suministro</i>	13
57.5.2.1	<i>Realización de los ensayos.....</i>	13
57.5.2.2	<i>Criterios de aceptación o rechazo .....</i>	13
57.5.3	<i>Modalidades de control de la conformidad de la resistencia del hormigón durante el suministro</i>	14
57.5.4	<i>Control estadístico de la resistencia del hormigón durante el suministro .....</i>	15
57.5.4.1	<i>Lotes y ensayos de control de la resistencia.....</i>	15
57.5.4.2	<i>Criterios de identificación de la resistencia del hormigón.....</i>	17
57.5.4.3	<i>Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón .....</i>	18
57.5.5	<i>Control de la resistencia del hormigón al 100 por 100 .....</i>	19
57.5.5.1	<i>Realización de los ensayos.....</i>	19
57.5.5.2	<i>Criterios de aceptación o rechazo .....</i>	19
57.5.6	<i>Control indirecto de la resistencia del hormigón .....</i>	19
57.5.6.1	<i>Realización de los ensayos.....</i>	20
57.5.6.2	<i>Criterios de aceptación o rechazo .....</i>	20
57.5.7	<i>Comprobación de la conformidad de la durabilidad del hormigón durante el suministro.</i>	20
57.6	CERTIFICADO DEL HORMIGÓN SUMINISTRADO .....	21
57.7	DECISIONES DERIVADAS DEL CONTROL .....	22
57.7.1	<i>Decisiones derivadas del control previo al suministro .....</i>	22

57.7.2	<i>Decisiones derivadas del control previas a su puesta en obra.....</i>	22
57.7.3	<i>Decisiones derivadas del control experimental tras su puesta en obra.....</i>	22
57.7.3.1	Decisiones derivadas del control de la resistencia .....	22
57.7.3.2	Actuaciones consecuentes a las decisiones derivadas del control de la resistencia .....	23
57.7.3.3	Decisiones derivadas del control de la durabilidad .....	23
57.8	ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DEL HORMIGÓN .....	24
57.9	CONTROL DEL HORMIGÓN PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	24
57.9.1	<i>Control de la conformidad en la docilidad del hormigón.....</i>	25
57.9.1.1	Realización de los ensayos.....	25
57.9.1.2	Criterio de aceptación .....	25
57.9.2	<i>Control estadístico de la resistencia .....</i>	25
57.9.2.1	Realización de los ensayos.....	25
57.9.2.2	Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón .....	26
57.9.2.3	Decisiones derivadas del control de la resistencia del hormigón .....	27
<b>ARTÍCULO 58</b>	<b>CONTROL DEL ACERO PARA ARMADURAS PASIVAS.....</b>	<b>27</b>
<b>ARTÍCULO 59</b>	<b>CONTROL DE LAS ARMADURAS PASIVAS.....</b>	<b>30</b>
59.1	CONTROL DE LAS ARMADURAS NORMALIZADAS (MALLAS ELECTROSOLDADAS Y ARMADURAS BÁSICAS ELECTROSOLDADAS EN CELOSÍA).....	30
59.1.1	<i>Toma de muestras .....</i>	31
59.1.2	<i>Realización de ensayos .....</i>	31
59.1.3	<i>Control previo al suministro.....</i>	31
59.1.4	<i>Control durante el suministro .....</i>	32
59.1.4.1	Control documental durante el suministro .....	32
59.1.4.2	Control experimental durante el suministro .....	32
59.1.5	<i>Certificado de suministro.....</i>	33
59.2	CONTROL DE LA FERRALLA (ELABORADA Y ARMADA) .....	34
59.2.1	<i>Toma de muestras .....</i>	34
59.2.2	<i>Realización de los ensayos.....</i>	35
59.2.2.1	Ensayos para la comprobación de la conformidad de las características mecánicas .....	35
59.2.2.2	Ensayos para la comprobación de la conformidad de las características de adherencia ...	35
59.2.2.3	Ensayos para la comprobación de la conformidad de las dimensiones .....	35
59.2.3	<i>Control previo al suministro.....</i>	36
59.2.3.1	Comprobación documental previa al suministro .....	36
59.2.3.2	Comprobación de las instalaciones de ferralla .....	37
59.2.4	<i>Control durante el suministro .....</i>	37
59.2.4.1	Control documental durante el suministro o su fabricación en obra .....	37
59.2.4.2	Comprobaciones experimentales: criterios generales .....	38
59.2.4.3	Comprobaciones experimentales: características mecánicas y de adherencia .....	38
59.2.4.4	Comprobaciones experimentales: dimensiones.....	40
59.2.4.5	Comprobaciones experimentales: procesos de elaboración con soldadura resistente .....	41
59.2.5	<i>Certificado del suministro .....</i>	41
<b>ARTÍCULO 60</b>	<b>CONTROL DEL ACERO PARA ARMADURAS ACTIVAS .....</b>	<b>41</b>
<b>ARTÍCULO 61</b>	<b>CONTROL DE LOS ELEMENTOS Y SISTEMAS DE APLICACIÓN DEL PRETENSADO ..</b>	<b>43</b>
61.1	CRITERIOS GENERALES PARA EL CONTROL .....	43
61.2	TOMA DE MUESTRAS.....	44
61.3	REALIZACIÓN DE ENSAYOS .....	44
61.4	CONTROL PREVIO A LA APLICACIÓN DEL PRETENSADO.....	45
61.5	CONTROL DURANTE LA APLICACIÓN DEL PRETENSADO .....	45
61.5.1	<i>Comprobación documental durante el suministro y aplicación del pretensado.....</i>	45
61.5.2	<i>Control experimental durante el suministro y aplicación del pretensado .....</i>	45

61.5.2.1	Control experimental de la conformidad de las unidades de pretensado.....	46
61.5.2.2	Control experimental de la conformidad de los dispositivos de anclaje y empalme.....	46
61.5.2.3	Control de las vainas y accesorios de pretensado .....	46
61.5.2.4	Control de los productos de inyección .....	47
61.6	CERTIFICADO DEL SUMINISTRO .....	47
<b>ARTÍCULO 62 CONTROL DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS.....</b>		<b>47</b>
62.1	CRITERIOS GENERALES PARA EL CONTROL DE LA CONFORMIDAD DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS .....	47
62.2	TOMA DE MUESTRAS.....	49
62.3	REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS .....	49
62.3.1	<i>Comprobación de la conformidad de los procesos de prefabricación .....</i>	<i>49</i>
62.3.2	<i>Ensayos para la comprobación de la conformidad de los productos empleados para la prefabricación de los elementos estructurales .....</i>	<i>50</i>
62.3.3	<i>Ensayos para la comprobación de la conformidad de la geometría de los elementos prefabricados .....</i>	<i>50</i>
62.3.4	<i>Comprobación de la conformidad del recubrimiento de la armadura .....</i>	<i>50</i>
62.3.5	<i>Otros ensayos .....</i>	<i>50</i>
62.4	CONTROL PREVIO AL SUMINISTRO .....	50
62.4.1	<i>Comprobación documental .....</i>	<i>50</i>
62.4.2	<i>Comprobación de las instalaciones .....</i>	<i>51</i>
62.4.3	<i>Posible exención de comprobaciones previas.....</i>	<i>51</i>
62.5	CONTROL DURANTE EL SUMINISTRO .....	52
62.5.1	<i>Control documental durante el suministro .....</i>	<i>52</i>
62.5.2	<i>Comprobación de la conformidad de los productos empleados.....</i>	<i>52</i>
62.5.3	<i>Comprobaciones experimentales durante el suministro .....</i>	<i>52</i>
62.5.3.1	<i>Posible exención de las comprobaciones experimentales .....</i>	<i>53</i>
62.5.3.2	<i>Lotes para la comprobación de la conformidad de los elementos prefabricados .....</i>	<i>53</i>
62.5.3.3	<i>Comprobación experimental de los procesos de prefabricación .....</i>	<i>53</i>
62.5.3.4	<i>Comprobación experimental de la geometría de los elementos prefabricados.....</i>	<i>54</i>
62.5.3.5	<i>Certificado del suministro .....</i>	<i>55</i>

## **Artículo 56 Criterios específicos para el control de los productos**

Siguiendo las bases generales para la gestión de la calidad, definidas en el Capítulo 5, a continuación se describen los criterios y consideraciones específicas a tener en cuenta, para el control de los productos componentes de las estructuras de hormigón.

En el caso de productos que deban disponer del marcado CE según el Reglamento (UE) 305/2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán ser conformes con la norma armonizada que le sea aplicable. Tal y como se recoge en el citado Reglamento, el fabricante del producto será el responsable de la conformidad del producto con las prestaciones declaradas. El fabricante deberá estar en condiciones de aportar garantía de la adecuación de su producto al uso previsto y de ponerlas a disposición de quien las solicite con el fin de que, a su vez, pueda pasar estas garantías al usuario final de la obra o del producto en que se incorporen, facilitando para ello la documentación que incluya la información que avale dichas garantías.

El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas. La dirección facultativa, conforme a las obligaciones recogidas en el apartado 17.2.1 de este Código y una vez validado el control de recepción, será la responsable de velar porque el producto incorporado en la obra es adecuado a su uso y cumple con las especificaciones requeridas. En el caso de efectuarse ensayos para comprobar la conformidad del producto, se seguirán los criterios que estuvieran definidos en el programa de control o en el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra o, en su caso, el plan de control.

En el caso de productos que no deban disponer de marcado CE la comprobación de su conformidad comprenderá:

- a) un control documental,
- b) en su caso, un control mediante distintivos de calidad oficialmente reconocidos conformes con lo indicado en el Artículo 18, y
- c) en su caso, un control experimental, mediante la realización de ensayos.

Sin perjuicio de lo establecido al respecto en este Código, el pliego de prescripciones técnicas particulares o, en su caso, el plan de control podrá fijar los ensayos que considere pertinentes.

### **56.1 Control documental**

Con carácter general, el suministro de los materiales recogidos en este artículo deberá cumplir las exigencias documentales recogidas en el apartado 21.1.

Siempre que se produzca un cambio en el suministrador de los materiales recogidos en este artículo, será preceptivo presentar la documentación correspondiente al nuevo producto.

#### **56.2 Inspección de las instalaciones**

En el caso de instalaciones propias de la obra, la dirección facultativa las inspeccionará antes del inicio del suministro para comprobar la idoneidad para la fabricación y la implantación de un control de producción conforme con la legislación vigente y con este Código. En caso de que el constructor haya optado por suministrarse de instalaciones externas de tercero, la dirección facultativa podrá efectuar visita a las mismas.

De igual modo, podrá ordenar la realización de ensayos de recepción a los productos suministrados, a fin de garantizar la conformidad con las especificaciones requeridas.

#### **56.3 Toma de muestras y realización de los ensayos**

En el caso de que fuera necesaria la realización de ensayos para la recepción, éstos deberán efectuarse por un laboratorio de control conforme a lo indicado en el apartado 17.2.2.1.

Cuando la toma de muestras no se efectúe directamente en la obra o en la instalación donde se recibe el material, deberá hacerse a través de una entidad de control de calidad conforme a lo indicado en el apartado 17.2.2.2, o, en su caso, mediante un laboratorio de ensayo conforme a lo indicado en el apartado 17.2.2.1.

Tanto la toma de muestra como los ensayos de recepción se realizarán mediante personal competente.

#### **56.4 Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los productos**

A los efectos de este artículo, se entiende por componentes del hormigón todos aquellos materiales para los que este Código contempla su utilización como materia prima en la fabricación del hormigón. Se entiende por materiales para protección, reparación y refuerzo, aquellos descritos en los artículos 39, 40 y 41.

El control será efectuado por el responsable de la recepción en la instalación industrial de prefabricación y en la central de hormigón, ya sea de hormigón preparado o de obra, salvo en el caso de centrales de obra, que se llevará a cabo por la dirección facultativa.

##### **56.4.1 Cementos**

La comprobación de la conformidad del cemento se efectuará de acuerdo con la reglamentación específica vigente.

##### **56.4.2 Áridos**

Salvo en el caso al que se refiere el párrafo siguiente, los áridos deberán disponer del marcado CE. El responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

En el caso de áridos de autoconsumo, el constructor o, en su caso, el suministrador de hormigón o de los elementos prefabricados, deberá aportar un certificado de ensayo, con antigüedad inferior a tres meses, realizado por un laboratorio de control según el apartado 17.2.2.1 que demuestre la conformidad del árido respecto a las especificaciones contempladas en el proyecto y en el Artículo 30 de este Código. Las frecuencias de los ensayos serán equivalentes a las exigidas para los áridos con marcado CE. Para aquellos áridos que no cumplan el huso granulométrico definido en el Artículo 30 de este Código, deberán presentar un estudio de finos que justifique experimentalmente su uso.

#### **56.4.3 Aditivos**

Salvo en el caso al que se refiere el párrafo siguiente, los aditivos deberán disponer del marcado CE. El responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

#### **56.4.4 Adiciones**

Aquellas adiciones contempladas en las correspondientes normas armonizadas deberán disponer del marcado CE.

El responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

#### **56.4.5 Agua**

Se podrá eximir de la realización de los ensayos cuando se utilice agua potable de red de suministro.

En otros casos, la dirección facultativa, o el responsable de la recepción en el caso de centrales de hormigón preparado o de la instalación de prefabricación, dispondrá la realización de los correspondientes ensayos en un laboratorio de los contemplados en el apartado 17.2.2.1, que permitan comprobar el cumplimiento de las especificaciones del Artículo 29 con una periodicidad semestral.

#### **56.4.6 Productos para la protección, reparación y refuerzo**

Salvo en el caso al que se refiere el párrafo siguiente, los materiales para protección, reparación y refuerzo deberán disponer del marcado CE. El responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y que se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que se considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

En el caso de materiales para protección, reparación y refuerzo que, por no estar incluidos en las normas armonizadas, no dispongan de marcado CE, el suministrador

deberá demostrar su conformidad con las especificaciones contempladas en el proyecto y en los Artículos 39, 40 y 41 de este Código.

## **Artículo 57 Control del hormigón**

### **57.1 Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón**

La conformidad de un hormigón con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en la obra, e incluirá su comportamiento en relación con la docilidad, la resistencia y la durabilidad, además de cualquier otra característica que, en su caso, establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares.

El control de recepción se aplicará tanto al hormigón preparado, como al fabricado en central de obra e incluirá una serie de comprobaciones de carácter documental y experimental, según lo indicado en este artículo.

Con objeto de garantizar la durabilidad, conforme se recoge en el apartado 43.2.1 de este Código, el hormigón se fabricará en plantas automatizadas de tal manera que se asegure que la dosificación (contenido mínimo de cemento y relación a/c) cumple con los requisitos de durabilidad de este Código. Con este fin el fabricante deberá disponer de un dispositivo asociado a la báscula que registre la pesada o estará en posesión de un Certificado del Fabricante de Software de dosificación y carga, así como un Certificado del Fabricante de Hormigón en el que se garantice la trazabilidad de los datos aportados.

### **57.2 Toma de muestras**

La toma de muestras se realizará de acuerdo con lo indicado en UNE-EN 12350-1, pudiendo estar presentes en la misma los representantes de la dirección facultativa, del constructor y del suministrador del hormigón.

Cada determinación constará del número mínimo suficiente de probetas, de las cuales se ensayarán a 28 días como mínimo dos de ellas y cuya media será la base para la comprobación de resistencia. También se reservarán al menos dos probetas para ensayar si fuera necesario a edades superiores a 28 días. Transcurridos 60 días sin que nadie autorizado haya dispuesto de las probetas, se desecharan definitivamente.

Salvo en los ensayos previos, la toma de muestras se realizará en el punto de vertido del hormigón (obra o instalación de prefabricación), a la salida de éste del correspondiente elemento de transporte y entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{3}{4}$  de la descarga.

El representante del laboratorio levantará un acta de toma de muestras, que deberá estar suscrita como mínimo por un representante del constructor y por él.

Su contenido obedecerá a un modelo de acta conforme lo establecido en la norma UNE-EN 12350-1, aprobado por la dirección facultativa al comienzo de la obra y cuyo contenido mínimo se recoge en el Anejo 4.

El constructor o el suministrador de hormigón podrán requerir la realización, a su costa, de una toma de contraste.

#### **57.3 Realización de los ensayos**

En general, la comprobación de las especificaciones de este Código para el hormigón endurecido, se llevará a cabo mediante ensayos realizados a la edad de 28 días.

Cualquier ensayo del hormigón diferente de los contemplados en este apartado, se efectuará según lo establecido en el programa de control o en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas o, en su caso, el plan de control, o de acuerdo con las indicaciones de la dirección facultativa y pactadas y conocidas por el suministrador.

##### **57.3.1 Ensayos de docilidad del hormigón**

La docilidad del hormigón se comprobará mediante la determinación de la consistencia del hormigón fresco por el método del asentamiento, según UNE-EN 12350-2. En el caso de hormigones autocompactantes, se llevará a cabo lo indicado para los mismos en el Artículo 33 de este Código.

El resultado del ensayo de asentamiento del hormigón se obtiene como la media de dos determinaciones conformes a la Norma UNE-EN 12350-2, sobre la misma muestra de hormigón.

El resultado de los ensayos de autocompactabilidad se obtiene como el valor de una única determinación conforme a las Normas UNE-EN 12350-8, UNE-EN 12350-9, UNE-EN 12350-10, UNE-EN 12350-11 o UNE-EN 12350-12, sobre la misma muestra de hormigón.

##### **57.3.2 Ensayos de resistencia del hormigón**

La resistencia del hormigón se comprobará mediante ensayos de resistencia a compresión realizados conforme a la Norma UNE-EN 12390-3 efectuados sobre probetas fabricadas y curadas según UNE-EN 12390-2.

Todos los métodos de cálculo y las especificaciones de este Código se refieren a características del hormigón endurecido obtenidas mediante ensayos sobre probetas cilíndricas de 150x300 mm de diámetro y altura nominales, con tolerancias conformes a lo especificado en la Norma UNE-EN 12390-1. No obstante, para la determinación de la resistencia a compresión, podrán emplearse también:

- probetas cúbicas de 100 mm de dimensión nominal con tolerancias conformes a lo especificado en la Norma UNE-EN 12390-1, en el caso de hormigones con  $f_{ck} \geq 50 \text{ N/mm}^2$  y siempre que el tamaño máximo del árido sea inferior a 12 mm. Podrán utilizarse estas probetas, siempre que el laboratorio tenga la aceptación de la dirección facultativa y disponga de coeficientes de conversión obtenidos a partir de correlaciones fiables con probetas cilíndricas de 150x300 mm. Las correlaciones se referirán a la misma tipificación de hormigón, con un número mínimo de parejas de resultados correlacionados recomendado superior a 18 y un coeficiente de correlación R2 recomendado superior a 0,9.
- probetas cúbicas de 150 mm de dimensión nominal con tolerancias conformes a lo especificado en la Norma UNE-EN 12390-1,

en cuyo caso los resultados, a efectos de control de calidad, deberán transformarse según la siguiente expresión:

$$f_c = \lambda_{cil,cub15} \cdot f_{c,cúbica}$$

donde:

$f_c$  Resistencia a compresión, en N/mm<sup>2</sup>, referida a probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura nominales.

$f_{c,cúbica}$  Resistencia a compresión, en N/mm<sup>2</sup>, obtenida a partir de ensayos realizados en probetas cúbicas de 150 mm.

$\lambda_{cil,cub15}$  Coeficiente de conversión

Tabla 57.3.2 Coeficientes de conversión

Resistencia en probeta cúbica, $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\lambda_{cil,cub15}$
$f_c < 60$	0.90
$60 \leq f_c < 80$	0.95
$f_c \geq 80$	1.00

Durante el periodo de permanencia en obra o en instalaciones de prefabricados las probetas deberán estar protegidas de impactos, vibraciones, soleamiento directo, deshidratación o exposición al viento. Con objeto de evitar la desecación, tras la fabricación de las probetas la superficie expuesta debe cubrirse con una arpillera húmeda o similar, y los moldes deben permanecer en una bolsa sellada.

La temperatura exterior alrededor de las probetas deberá permanecer en el intervalo de 20°C±5°C (25°C ±5°C en tiempo caluroso). En caso de no poder cumplir las condiciones de temperatura durante un periodo superior a 2 horas mientras las probetas se encuentran en la obra, el constructor deberá disponer una habitación o recinto donde depositar las probetas y que sea capaz de mantener las temperaturas de conservación establecidas. La existencia de dicho recinto deberá quedar debidamente documentada en los correspondientes partes de fabricación de probetas.

El periodo de permanencia de las probetas en la obra será de al menos 16 horas, sin superar las 72 horas hasta la entrada en la cámara de curado. Es recomendable que el periodo máximo de permanencia hasta la entrada en la cámara de curado no supere las 48 horas, especialmente en los meses de verano. En los meses de invierno, el periodo mínimo de permanencia de las probetas en la obra será de 24 horas.

Para su consideración al aplicar los criterios de aceptación para la resistencia del hormigón, del apartado 57.5.3, el recorrido relativo de un grupo de tres probetas obtenido mediante la diferencia entre el mayor resultado y el menor, dividida por el valor medio de las tres, tomadas de la misma amasada, no podrá exceder el 20%. En el caso de dos probetas, el recorrido relativo no podrá exceder el 13%.

#### **57.3.3 Ensayos de durabilidad**

La comprobación, en los casos indicados en el apartado 57.5.7, de la profundidad de penetración de agua bajo presión en el hormigón, se ensayará según UNE-EN 12390-8. El curado de las probetas se realizará en cámara a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y humedad relativa  $\geq 95\%$ .

Antes de iniciar el ensayo, se someterá a las probetas a un período de secado previo de 72 horas en una estufa de tiro forzado a una temperatura de  $50 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Se procederá a la fabricación de tres probetas de la misma muestra para su ensayo. Los ensayos se realizarán conforme a lo establecido en el apartado 57.3 de este Código. Se elaborará un informe con los resultados obtenidos. Se indicará también la dosificación real empleada en el hormigón ensayado, así como la identificación de sus materias primas.

Los resultados de los ensayos de profundidad de penetración de agua se ordenarán de acuerdo con el siguiente criterio:

- Las profundidades máximas de penetración:  $Z_1 \leq Z_2 \leq Z_3$
- Las profundidades medias de penetración:  $T_1 \leq T_2 \leq T_3$

La comprobación, en los casos indicados en el apartado 57.5.7, del contenido de aire ocluido, se ensayará según UNE-EN 12350-7.

#### **57.4 Control previo al suministro**

Las comprobaciones previas al suministro del hormigón tienen por objeto verificar la conformidad de la dosificación e instalaciones que se pretenden emplear para su fabricación.

En el caso de cambio de suministrador de hormigón durante la obra, será preceptivo volver a realizar las comprobaciones recogidas en este artículo.

##### **57.4.1 Comprobación documental previa al suministro**

Además de la documentación general a la que hace referencia el apartado 57.5.1, que sea aplicable al hormigón, en el caso de hormigones que no estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, según el Anejo 4 el suministrador, o en su caso el constructor, deberá presentar a la dirección facultativa una copia firmada por persona física con representación suficiente, de la declaración responsable cuyo modelo se adjunta en el citado anejo, y en su caso el resto de los ensayos previos y característicos, con una antigüedad máxima de seis meses.

##### **57.4.2 Comprobación de las instalaciones**

La dirección facultativa valorará la conveniencia de efectuar, directamente o a través de una entidad de control de calidad, y preferiblemente antes del inicio del suministro, una visita de inspección a la central de hormigón al objeto de comprobar su idoneidad para fabricar el hormigón que se requiere para la obra. En particular, se atenderá al cumplimiento de las exigencias establecidas en el Artículo 51.

En su caso, se comprobará que se ha implantado un control de producción conforme con la reglamentación vigente que sea de aplicación y que está correctamente documentado, mediante el registro de sus comprobaciones y resultados de ensayo en los

correspondientes documentos de autocontrol.

La dirección facultativa podrá comprobar que la central de hormigón garantiza la durabilidad conforme a lo indicado al apartado 57.1 de este Código.

Además se comprobará que la central de hormigón dispone de un sistema de gestión de los acopios de materiales componentes, según lo establecido en el apartado 51.2.2, que permita establecer la trazabilidad entre los suministros de hormigón y los materiales empleados para su fabricación.

#### **57.4.3 Comprobaciones experimentales previas al suministro**

Las comprobaciones experimentales previas al suministro consistirán, en su caso, en la realización de ensayos previos y de ensayos característicos, de conformidad con lo indicado en el Anejo 13.

Los ensayos previos tienen como objeto comprobar la idoneidad de los materiales componentes y las dosificaciones a emplear mediante la determinación de la resistencia a compresión de hormigones fabricados en laboratorio.

Los ensayos característicos tienen la finalidad de comprobar la idoneidad de los materiales componentes, las dosificaciones y las instalaciones a emplear en la fabricación del hormigón, en relación con su capacidad mecánica y su durabilidad. Para ello, se efectuarán ensayos de resistencia a compresión y, en su caso, de profundidad de penetración de agua bajo presión de hormigones fabricados en las mismas condiciones de la central y con los mismos medios de transporte con los que se hará el suministro a la obra.

En el caso que el hormigón se fabrique en obra o no se puedan aplicar las exenciones previstas en el apartado 57.4.3.1, la dirección facultativa podrá exigir la documentación acreditativa de los ensayos previos y característicos, con antigüedad máxima de 6 meses.

##### **57.4.3.1 Posible exención de ensayos**

No serán necesarios los ensayos previos, ni los característicos en el caso de que un hormigón esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente.

Cuando el hormigón proceda de una central que tenga documentada su experiencia de uso anterior en otras obras de la dosificación, con las mismas materias primas, igual naturaleza y origen, y se utilicen las mismas instalaciones no serán necesarios los ensayos previos, ni los característicos de resistencia.

#### **57.5 Control durante el suministro**

##### **57.5.1 Control documental durante el suministro**

Cada partida de hormigón empleada en la obra deberá ir acompañada de una hoja de suministro, cuyo contenido mínimo se establece en el Anejo 4.

La Dirección Facultativa comprobará que los valores reflejados en la hoja de suministro son conformes con las especificaciones de este Código, y se corresponden con las del proyecto.

### 57.5.2 Comprobación de la conformidad de la docilidad del hormigón durante el suministro

#### 57.5.2.1 Realización de los ensayos

Los ensayos de consistencia del hormigón fresco se realizarán, de acuerdo con lo indicado en el apartado 57.3.1, cuando se produzca alguna de las siguientes circunstancias:

- a) cuando se fabriquen probetas para controlar la resistencia,
- b) en todas las amasadas que se coloquen en obra con un control indirecto de la resistencia, según lo establecido en el apartado 57.5.6, y
- c) siempre que lo indique la dirección facultativa o lo establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares.

En el caso de hormigones autocompactantes, la dirección facultativa, en función de la aplicación a la que esté destinado el hormigón, decidirá las características de autocompactabilidad a controlar de las definidas en 33.5 y la frecuencia de control de las mismas. Como mínimo, deberían controlarse:

- la fluidez, mediante la determinación del escurrimiento conforme a la Norma UNE-EN 12350-8, con las mismas frecuencias establecidas anteriormente para la consistencia de los hormigones convencionales;
- la capacidad de paso, mediante el ensayo del anillo japonés conforme a la Norma UNE-EN 12350-12, realizando una determinación cada cuatro ensayos de escurrimiento.

#### 57.5.2.2 Criterios de aceptación o rechazo

La especificación para la consistencia será la recogida en el pliego de prescripciones técnicas particulares o, en su caso, la indicada por la dirección de obra. Se considerará conforme cuando el asentamiento obtenido en los ensayos se encuentre dentro de los límites definidos en la tabla 57.5.2.2.

Tabla 57.5.2.2 Tolerancias para la consistencia del hormigón

Consistencia definida por su clase conforme a la Tabla 33.5.a		
Tipo de consistencia	Tolerancia en mm	Intervalo resultante en mm
Seca (S)	±10	0 - 30
Plástica (P)		20 - 50
Blanda (B)		40 - 100
Fluida (F)		90 - 160

Líquida (L)		150 - 220
-------------	--	-----------

El ensayo será satisfactorio cuando el resultado, conforme a lo indicado en el apartado 57.3.1, esté comprendido en el intervalo correspondiente a la clase especificada definido en la tabla 57.5.2.2.

En el caso del hormigón autocompactante, los ensayos serán satisfactorios cuando los resultados, conforme a lo indicado en el apartado 57.3.1, estén comprendidos en los intervalos de la tabla 33.5b.

En el caso de que se tipifique una clase concreta de autocompactabilidad conforme al apartado 33.6 de este Código, los ensayos serán satisfactorios cuando los resultados estén comprendidos en los intervalos correspondientes de las tablas 33.6a, 33.6b, 33.6c o 33.6d.

Para hormigones autocompactantes no se permitirá ninguna tolerancia respecto a los valores especificados en la tabla 33.5b y las tablas del apartado 33.6 de este Código.

El incumplimiento de los criterios de aceptación, implicará la adopción de medidas necesarias para garantizar la aptitud de la amasada o, si esto no fuera posible, el rechazo de la amasada.

### **57.5.3 Modalidades de control de la conformidad de la resistencia del hormigón durante el suministro**

El control de la resistencia del hormigón tiene la finalidad de comprobar que la resistencia del hormigón realmente suministrado a la obra es conforme a la resistencia característica especificada en el proyecto, de acuerdo con los criterios de seguridad y garantía para el usuario definidos por este Código. La modalidad de control que se adopte en el proyecto podrá ser:

- modalidad 1. Control estadístico, según 57.5.4;
- modalidad 2. Control al 100 por 100, según 57.5.5; y
- modalidad 3. Control indirecto, según 57.5.6.

Los ensayos de resistencia a compresión se realizarán de acuerdo con el apartado 57.3.2. Su frecuencia y los criterios de aceptación aplicables serán función de:

- la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- que el hormigón tenga certificada la dispersión dentro del alcance de certificación de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- la modalidad de control que se adopte

En caso de centrales de hormigón en las que sus productos posean distintivos de calidad oficialmente reconocidos, aquellos hormigones de condiciones de fabricación especial (principalmente aquellos de muy baja producción o producidos esporádicamente) podrán tener certificada la dispersión. Será imprescindible, entre otros requisitos, que la certificación de la dispersión se incluya en el alcance de la certificación del distintivo de calidad.

**57.5.4 Control estadístico de la resistencia del hormigón durante el suministro**

Esta modalidad de control es la de aplicación general a todas las obras de hormigón estructural.

**57.5.4.1 Lotes y ensayos de control de la resistencia**

Antes de iniciar el suministro del hormigón, la dirección facultativa comunicará al constructor, y éste al suministrador, el criterio de aceptación aplicable.

Para el control de su resistencia, el hormigón de la obra se dividirá en lotes, previamente al inicio de su suministro, de acuerdo con lo indicado en la tabla 57.5.4.1, salvo excepción justificada bajo la responsabilidad de la dirección facultativa.

Todas las amasadas de un lote procederán del mismo suministrador, estarán elaboradas con los mismos materiales componentes y tendrán la misma dosificación nominal. Además, no se mezclarán en un lote hormigones que pertenezcan a filas distintas de la tabla 57.5.4.1.

La conformidad del lote en relación con la resistencia se comprobará a partir de los valores medios de los resultados obtenidos sobre dos probetas tomadas para cada una de las  $N$  amasadas controladas, de acuerdo con la tabla 57.5.4.1.

Tabla 57.5.4.1. Tamaño máximo de los lotes de control de la resistencia y número de amasadas a ensayar por lote ( $N$ )

Tipo de elemento	Volumen de hormigón	Tiempo de hormigonado	Nº de elementos o dimensión	Nº de amasadas a controlar en cada lote Hormigón sin distintivo oficialmente reconocido	Nº de amasadas a controlar en cada lote Hormigón con distintivo oficialmente reconocido
Cimentaciones con elementos de volumen superior a 200 m <sup>3</sup>	- V. vertido de forma continua	1 semana	- 1 elemento	$N \geq V/35$ - $N \geq 3$	$N \geq V/105$ $N \geq 1$
Cimentaciones superficiales con elementos de volumen inferior a 200 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	1 semana		$N \geq 3$	$N=1$
Otros elementos de cimentación profunda	100 m <sup>3</sup>	1 semana	- 50 m de pantalla.	- (edificación) - $N \geq 3$ - (puentes) - $N \geq 4$ -	- $N=1$
Vigas, forjados losas para pavimentos y otros	100 m <sup>3</sup>	2 semanas	- 1000 m <sup>2</sup> de superficie	- $N \geq 3$	- $N=1$

## CÓDIGO ESTRUCTURAL

### Capítulo 13. Gestión de la calidad de los productos en estructuras de hormigón

Tipo de elemento	Volumen de hormigón	Tiempo de hormigonado	Nº de elementos o dimensión	Nº de amasadas a controlar en cada lote Hormigón sin distintivo oficialmente reconocido	Nº de amasadas a controlar en cada lote Hormigón con distintivo oficialmente reconocido
elementos trabajando a flexión			construida. - 2 plantas (**).		
Losa superior o inferior en marcos	- 200 m <sup>3</sup> - V. vertido de forma continua	2 días	- totalidad del elemento (losa superior o losa inferior).	- $N \geq V/30$ - $N \geq 3$	- N=1
Pilares y muros portantes de edificación	100 m <sup>3</sup>	2 semanas	- 500 m <sup>2</sup> de superficie construida (*) - 2 plantas (**)	- $N \geq 3$	- N=1
Pilas y estribos de puente (con encofrado convencional)	50 m <sup>3</sup>	1 día	- 1 pila / 1 estribo.	- $N \geq 3$	- N=1
Pilas de puente construidas por trepado y deslizado	-100 m <sup>3</sup>	-2 días	- 1 pila.	$N \geq V/20$ - $N \geq 4$	N=1
Tableros de puente en general y losas in situ de tableros con elementos prefabricados y mixtos	300 m <sup>3</sup>	1 día	- 1 vano. - 50 m de longitud.	$N \geq V/20$ $N \geq 4$	$N \geq V/60$ N≥1
Tableros construidos por fases <sup>(1)</sup>	600 m <sup>3</sup>	--	- 1 fase.	$N \geq V/30$ - $N \geq 4$	$N \geq V/90$ N≥1
Otros elementos o grupos de elementos que funcionan fundamentalmente a compresión	100 m <sup>3</sup>	2 semanas	- 500 m <sup>2</sup> de superficie construida - 2 plantas.	- $N \geq 3$	- N=1
Soleras de túneles	100 m <sup>3</sup>	1 día	- 1 fase	- $N \geq 1$	- N=1
Contrabóvedas de túneles	100 m <sup>3</sup>	1 día	- 1 fase	- $N \geq 3$	N=1

(1) A los efectos de la definición de lotes, se entiende por fase aquella parte de la estructura que se hormigona de una sola vez, de acuerdo con lo previsto en el

proyecto y de manera que transcurra el tiempo suficiente para que desarrolle la resistencia requerida antes de que se ejecute la siguiente fase.

(2) (\*) En el caso de que el número de amasadas necesarias para ejecutar los pilares de un lote sea igual o inferior a tres, el límite de 500 m<sup>2</sup> se podrá elevar a 1000 m<sup>2</sup>,

(\*\*) En el caso de que un lote esté constituido por elementos de dos plantas, se deberán tener resultados de ambas plantas.

Cuando un lote esté constituido por amasadas de hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se aumentará su tamaño multiplicando los valores de la tabla 57.5.4.1 por cinco.

En el caso de que un lote esté constituido por amasadas de hormigones pertenecientes a centrales cuya dispersión esté certificada, se aumentará su tamaño multiplicando por dos los valores de la tabla 57.5.4.1.

En estos casos de tamaño ampliado del lote, el número mínimo de lotes será de tres, correspondiendo, si es posible, cada lote a elementos incluidos en filas distintas de la tabla 57.5.4.1 y en caso de obras de edificación los tres lotes mínimos corresponderían a cimentación, elementos sometidos a compresión y elementos sometidos a flexión.

En el caso de que se produjera un incumplimiento al aplicar el criterio de aceptación correspondiente, la dirección facultativa no aplicará la consideración especial de ampliación del tamaño del lote y reducción del número de amasadas de ensayo por lote, definida para hormigón con distintivo de calidad oficialmente reconocido, para los seis lotes siguientes a partir de la detección del incumplimiento. Si en dichos lotes se cumplen las exigencias del distintivo, la dirección facultativa, en el séptimo lote volverá a aplicar las consideraciones para tamaño de lote y número de amasadas de ensayo, definido para hormigones con distintivo de calidad oficialmente reconocido. Si por el contrario, se produjera algún nuevo incumplimiento en los seis lotes mencionados, la comprobación de la conformidad, (tamaño del lote, número de amasadas por lote y criterio de aceptación) durante el resto del suministro se efectuará como si el hormigón no estuviera en posesión del distintivo de calidad o no tuviera la dispersión certificada en la central.

En ningún caso, un lote podrá estar formado por amasadas suministradas a la obra durante un período de tiempo superior a seis semanas.

En el caso de que un lote esté ejecutado con hormigón de resistencia  $f_{ck} \geq 50$  N/mm<sup>2</sup>, deberá cumplir además, que:

$$N \geq 6$$

#### **57.5.4.2 Criterios de identificación de la resistencia del hormigón**

Esta modalidad se aplica únicamente a hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, ya que su objeto es detectar si un determinado volumen de hormigón pertenece a la misma población ya verificada como conforme con la resistencia característica mediante la evaluación de la conformidad realizada por la entidad que otorga el distintivo.

Se procederá a la aceptación del lote cuando se cumpla el siguiente criterio:

$$x_i \geq f_{ck}$$

donde:

$x_i$  Resistencia a la compresión obtenida en las determinaciones de resistencia para cada una de las amasadas.

### 57.5.4.3 Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón

Los criterios de aceptación de la resistencia del hormigón para esta modalidad de control, se definen a partir de la siguiente casuística:

- Caso 1 hormigones con la dispersión certificada.
- Caso 2: hormigones sin distintivo de calidad oficialmente reconocido suministrados de forma continua por la misma central de hormigón preparado en los que se controlan en la obra más de treinta y seis amasadas del mismo tipo de hormigón.
- Caso 3 hormigones sin distintivo de calidad oficialmente reconocido, fabricados de forma continua en central de obra o suministrados de forma continua por la misma central de hormigón preparado.

Para cada caso, se procederá a la aceptación del lote cuando se cumplan los criterios establecidos en la tabla 57.5.4.3.a.

Tabla 57.5.4.3.a. Criterios de aceptación de los lotes de hormigón

Caso de control estadístico	Criterio de aceptación	Observaciones
1	$f(\bar{x}) = \bar{x}(1 - 1.66\delta^*) \geq f_{ck}$	Hormigones con la dispersión certificada
2	$f(\bar{x}) = \bar{x} - 1.66s_{35}^* \geq f_{ck}$	Se han suministrado más de 36 amasadas
3	$f(x_{(1)}) = x_{(1)} K_n \geq f_{ck}$	Hasta la 36ª amasada

donde:

$f(\bar{x}); f(x_{(1)})$  Funciones de aceptación.

$\bar{x}$  Valor medio de los resultados obtenidos en las  $N$  amasadas ensayadas por lote de obra.

$x_{(1)}$  Valor mínimo de los resultados obtenidos en las últimas  $N$  amasadas controladas del lote de obra.

$f_{ck}$  Valor de la resistencia característica especificada en el proyecto.

$K$  y  $K_n$  Coeficientes que toman los valores reflejados en la tabla 57.5.4.3.b.

$s_{35}^*$  Valor de la desviación típica muestral, correspondiente a las últimas 35 amasadas.

$$s_{35}^* = \sqrt{\frac{1}{34} \sum_{i=1}^{35} (x_i - \bar{x}_{35})^2}$$

$\delta^*$  Coeficiente de variación certificado.

Tabla 57.5.4.3.b. Número de amasadas controladas

Coeficiente	Número de amasadas controladas (N)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_n$	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98

### 57.5.5 Control de la resistencia del hormigón al 100 por 100

#### 57.5.5.1 Realización de los ensayos

Esta modalidad de control es de aplicación a cualquier estructura, siempre que se adopte antes del inicio del suministro del hormigón.

La conformidad de la resistencia del hormigón se comprueba determinando la misma en todas las amasadas sometidas a control y calculando, a partir de sus resultados, el valor de la resistencia característica real,  $f_{c,real}$ .

#### 57.5.5.2 Criterios de aceptación o rechazo

Cuando el número N de amasadas que se vayan a controlar sea igual o menor que 20,  $f_{c,real}$  será el valor de la resistencia de la amasada más baja encontrada en la serie.

Cuando el número N de amasadas que se vayan a controlar sea mayor que 20, el valor de  $f_{c,real}$  corresponde a la resistencia de la amasada que, una vez ordenadas las N determinaciones de menor a mayor, ocupa el lugar  $n = 0,05 N$ , redondeándose  $n$  por exceso.

El criterio de aceptación se define por las siguientes expresiones:

$$f_{c,real} \geq f_{ck}$$

$$f_1 \geq 0,9 \cdot f_{ck}$$

Donde  $f_1$  es el valor mínimo de los resultados obtenidos en las N amasadas controladas.

#### 57.5.6 Control indirecto de la resistencia del hormigón

En el caso de elementos de hormigón estructural, esta modalidad de control solo podrá aplicarse para hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, que se empleen en uno de los siguientes casos:

- elementos de edificios de viviendas de una o dos plantas, con luces inferiores a 6,00 metros, o

- elementos de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas, que trabajen a flexión, con luces inferiores a 6,00 metros.

Además, será necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- a) que el ambiente en el que está ubicado el elemento sea X0 o XC según lo indicado en el Artículo 27,
- b) que en el proyecto se haya adoptado una resistencia de cálculo a compresión  $f_{cd}$  no superior a 15 N/mm<sup>2</sup>.

#### **57.5.6.1 Realización de los ensayos**

Se realizarán, al menos, cuatro determinaciones de la consistencia espaciadas a lo largo de cada jornada de suministro, además de cuando así lo indique la dirección facultativa o lo exija el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Para la realización de estos ensayos será suficiente que se efectúen bajo la supervisión de la dirección facultativa, archivándose en obra los correspondientes registros, que incluirán tanto los valores obtenidos como las decisiones adoptadas en cada caso.

#### **57.5.6.2 Criterios de aceptación o rechazo**

Se aceptará el hormigón suministrado si se cumplen simultáneamente las tres condiciones siguientes:

- a) los resultados de los ensayos de consistencia cumplen lo indicado en el apartado 57.5.2;
- b) se mantiene, en su caso, la vigencia del distintivo de calidad para el hormigón empleado durante la totalidad del período de suministro a la obra;
- c) se mantiene, en su caso, la vigencia del reconocimiento oficial del distintivo de calidad.

#### **57.5.7 Comprobación de la conformidad de la durabilidad del hormigón durante el suministro.**

En los hormigones que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, se realizará el ensayo de penetración de agua en el hormigón, de acuerdo con lo indicado en el apartado 57.3.3, al inicio y posteriormente una vez cada seis meses a lo largo del suministro para cada tipo de dosificación, para los hormigones de ambientes XA, XS, XD, XFo XM..

La Dirección Facultativa o el plan de control, pueden extender este ensayo a hormigones de otros ambientes. En este caso se considerará como "característica adicional" en la designación del hormigón, siendo de aplicación lo previsto en este caso en el apartado 51.3.4 de este Código.

El ensayo será satisfactorio cuando el resultado, conforme a lo indicado en el apartado 57.3.3 cumpla simultáneamente las siguientes condiciones.

Tabla 57.5.7. Especificaciones para las profundidades máxima y media en el ensayo de penetración de agua

Clase de exposición ambiental	Especificaciones para las profundidades máxima	Especificaciones para las profundidades medias
XS3, XA3 XA2 (solo en el caso de elementos pretensados)	$Z_m = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{3} \leq 30 \text{ mm}$ $Z_3 \leq 40 \text{ mm}$	$T_m = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \leq 20 \text{ mm}$ $T_3 \leq 27 \text{ mm}$
XS1, XS2, XD2, XA1, XM1, XM2, XM3, XF3, XF2, XF4, XA2 (en el caso de elementos en masa o armados)	$Z_m = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{3} \leq 50 \text{ mm}$ $Z_3 \leq 65 \text{ mm}$	$T_m = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \leq 30 \text{ mm}$ $T_3 \leq 40 \text{ mm}$
X0, XC1, XC2, XC3, XC4	No requiere esta comprobación	No requiere esta comprobación

En los hormigones que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, se realizará el ensayo de contenido de aire en el hormigón, de acuerdo con lo indicado en el apartado 57.3.3, al inicio y posteriormente una vez cada seis meses a lo largo del suministro para cada tipo de dosificación, cuando un hormigón esté sometido a una clase de exposición XF2 y XF4.

La Dirección Facultativa o el Pliego de prescripciones técnicas de la obra pueden extender este ensayo a otros ambientes. En este caso se considerará "característica adicional" en la designación del hormigón, siendo de aplicación lo previsto para este caso en el apartado 51.3.4 de este Código.

El ensayo será satisfactorio cuando el resultado, conforme a lo indicado en el apartado 57.3.3 cumpla con la limitación indicada en el apartado 43.3.2 de este Código.

### 57.6 Certificado del hormigón suministrado

Al finalizar el suministro de un hormigón a la obra, el constructor facilitará a la dirección facultativa un certificado de los hormigones suministrados, con indicación de los tipos y cantidades de los mismos, elaborado por el fabricante y firmado por persona física con representación suficiente, cuyo contenido será conforme a lo establecido en el Anejo 4 de este Código.

## 57.7 Decisiones derivadas del control

La decisión de aceptación de un hormigón estará condicionada a la comprobación de su conformidad, aplicando los criterios establecidos para ello en este Código o, en su caso, mediante las conclusiones extraídas de los estudios especiales que proceda efectuar, de conformidad con lo indicado en este apartado en el caso de incumplimiento en los referidos criterios.

### 57.7.1 Decisiones derivadas del control previo al suministro

Para aceptar que se inicie el suministro de un hormigón a la obra, se comprobará previamente que se han subsanado los incumplimientos referentes al apartado 57.4. En caso contrario, no podrá comenzarse el suministro del hormigón a la obra.

### 57.7.2 Decisiones derivadas del control previas a su puesta en obra

La dirección facultativa, o en quién ésta delegue, no aceptará la puesta en obra de una amasada de hormigón en la que se detectan incumplimientos referentes a los apartados 57.5.1 y 57.5.2 de este Código.

### 57.7.3 Decisiones derivadas del control experimental tras su puesta en obra

#### 57.7.3.1 Decisiones derivadas del control de la resistencia

En el caso de un hormigón en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, que no cumpla el criterio de aceptación definido en la tabla 57.5.4.3.a para el control de identificación, la dirección facultativa aceptará el lote cuando los valores individuales obtenidos en dichos ensayos sean superiores a  $0,90.f_{ck}$  y siempre que, además, tras revisar los resultados de control de producción correspondientes al período más próximo a la fecha de suministro del mismo, se cumpla:

$$\bar{x} - 1,645.\sigma \geq 0,90.f_{ck}$$

donde:

- $\bar{x}$  Valor medio del conjunto de valores que resulta al incorporar el resultado no conforme a los catorce resultados del control de producción que sean temporalmente más próximos al mismo, y
- $\sigma$  Valor de la desviación típica correspondiente a la producción del tipo de hormigón suministrado, en  $N/mm^2$ , y certificado en su caso por el distintivo de calidad

En otros casos, la dirección facultativa, sin perjuicio de las sanciones que fueran contractualmente aplicables y conforme a lo previsto en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas particulares, valorará la aceptación, refuerzo o demolición de los elementos construidos con el hormigón del lote a partir de la información obtenida mediante la aplicación gradual de los procedimientos que se detallan en los apartados siguientes.

#### **57.7.3.2 Actuaciones consecuentes a las decisiones derivadas del control de la resistencia**

De forma general, la dirección facultativa dispondrá de los siguientes instrumentos de actuación que se exponen en este apartado, una vez que el lote ha resultado no conforme.

Estos criterios son válidos tanto para edificación u obra civil, aunque en el primer caso, en el que los proyectos tienen una misma tipología estructural (cimentación, pilares y elementos horizontales) se puede precisar un criterio específico de actuación posterior.

Los criterios en cuestión son:

- a) Para hormigones que no dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se podrá disponer de las dos probetas no ensayadas de las amasadas del lote no conforme y hacer una nueva estimación de la resistencia. La dirección facultativa en el caso de ensayar probetas con más de 28 días, valorará el incremento de la resistencia con la edad de la probeta.
- b) Además la dirección facultativa podrá disponer la realización de ensayos de información complementaria, conforme a lo dispuesto en el apartado 57.8, al objeto de comprobar si la resistencia característica del hormigón real de la estructura, se corresponde con la especificada en el proyecto. Dichos ensayos serán realizados por un laboratorio acordado por las partes y conforme con el apartado 17.2.2.
- c) En el caso de que a partir de los ensayos de información se deduzca que la resistencia característica estimada del hormigón de la estructura es inferior a la especificada en el proyecto, por iniciativa propia o a petición de cualquiera de las partes, la dirección facultativa podrá encargar la realización de un estudio específico de seguridad de los elementos afectados por el hormigón del lote sometido a aceptación, en el que se compruebe que es admisible el nivel de seguridad que se obtiene con el valor de resistencia del hormigón realmente colocado en la obra estimado a partir de los ensayos de información. El estudio de seguridad lo realizará la propia dirección facultativa u otro técnico habilitado en quien delegue,
- d) En casos muy específicos y una vez realizado el estudio de seguridad, la dirección facultativa podrá ordenar el ensayo del comportamiento estructural del elemento realmente construido, mediante la realización de pruebas de carga, de acuerdo con el apartado 23.2 de este Código.

#### **57.7.3.3 Decisiones derivadas del control de la durabilidad**

En el caso de que se detectase que un hormigón colocado en la obra presenta cualquier incumplimiento de las exigencias de durabilidad que contempla este Código, la dirección facultativa valorará la realización de comprobaciones experimentales específicas y, en su caso, la adopción de medidas de protección superficial para compensar los posibles efectos potencialmente desfavorables del incumplimiento.

En particular, la dirección facultativa valorará cuidadosamente el control establecido en el apartado 57.5.7.

#### **57.8 Ensayos de información complementaria del hormigón**

Estos ensayos sólo son preceptivos en los casos previstos por este Código en el apartado 57.7, cuando lo contemple el pliego de prescripciones técnicas particulares o cuando así lo exija la dirección facultativa. Su objeto es estimar la resistencia del hormigón de una parte determinada de la obra, a una cierta edad o tras un curado en condiciones análogas a las de la obra.

La dirección facultativa podrá decidir su empleo por solicitud de cualquiera de las partes, cuando existan dudas justificadas sobre la representatividad de los resultados obtenidos en el control experimental a partir de probetas de hormigón fresco.

Los ensayos de información del hormigón pueden consistir en:

- a) la rotura de probetas testigo extraídas del hormigón endurecido, conforme a UNE-EN 12504-1. Este ensayo no deberá realizarse cuando la extracción pueda afectar de un modo sensible a la capacidad resistente del elemento en estudio, hasta el punto de resultar un riesgo inaceptable. En estos casos puede estudiarse la posibilidad de realizar el apeo del elemento, previamente a la extracción;
- b) el empleo de métodos no destructivos fiables, como complemento de los anteriormente descritos y debidamente correlacionados con los mismos.

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

#### **57.9 Control del hormigón para la fabricación de elementos prefabricados**

En el caso de elementos prefabricados que tengan marcado CE, su control del hormigón deberá realizarse conforme a los correspondientes criterios establecidos en la correspondiente norma europea armonizada.

En el caso de productos para los que no sea de aplicación el marcado CE o para aquéllos en los que el prefabricador desee voluntariamente que, de acuerdo con el apartado 62.1, le sea aplicado un coeficiente parcial de seguridad de 1,50 para el hormigón, deberá seguirse lo indicado en este apartado.

Esta modalidad de control es de aplicación general a los hormigones de autoconsumo fabricados en centrales fijas ubicadas en instalaciones destinadas a la fabricación industrial de elementos prefabricados estructurales.

Son de aplicación los criterios específicos establecidos para los materiales en el Artículo 56 y los ensayos indicados en el apartado 57.3.

El control descrito en los apartados siguientes deberá ser realizado por el fabricante de los elementos en su propia planta, pudiendo la dirección facultativa disponer la comprobación de la conformidad de dicho control, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 62.

### 57.9.1 Control de la conformidad en la docilidad del hormigón

#### 57.9.1.1 Realización de los ensayos

Los ensayos de consistencia del hormigón fresco se realizarán, de acuerdo con lo indicado en el apartado 57.3.1, cuando se fabriquen probetas para controlar la resistencia.

#### 57.9.1.2 Criterio de aceptación

El ensayo será satisfactorio cuando el resultado esté dentro de las tolerancias marcadas en el proyecto, o en su defecto, en el Código Estructural.

### 57.9.2 Control estadístico de la resistencia

Para el control de la resistencia, de acuerdo al apartado 62.5.3 se considera como lote el conjunto del mismo tipo de hormigón con el que se ha fabricado la totalidad de elementos prefabricados de una misma tipología en un período de tiempo. El período máximo de tiempo será de un mes natural para fabricaciones continuas de un tipo de hormigón, o de una semana, en el caso de hormigones con bajas producciones. Se entenderá como baja producción aquella que no alcance las 16 tomas mensuales exigidas para la producción continua.

Todas las amasadas del mismo lote estarán elaboradas con los mismos materiales componentes y tendrán la misma dosificación nominal.

El control estadístico de la resistencia deberá obtenerse a partir de los resultados de los ensayos acumulados del mismo tipo de hormigón en la misma planta durante un mes, con independencia de que los elementos prefabricados con las amasadas de ese lote pertenezcan a más de una obra.

Tabla 57.9.2 Lote de control de la resistencia para hormigones empleados en la fabricación de elementos prefabricados.

	Producción continua	Baja producción
Frecuencia de ensayo (hasta 300 m <sup>3</sup> por tipo) (*)	diaria	diaria
Nº de ensayos mínimos	16/mes	2/semana

(\*) En producciones superiores a 300 m<sup>3</sup> por tipo y día, se incrementará en una toma diaria más.

#### 57.9.2.1 Realización de los ensayos

El proyecto o, en su caso, el prefabricador identificará la resistencia característica que debe cumplir cada tipo de hormigón que se utilice en la realización de los elementos prefabricados estructurales.

La conformidad de la resistencia del hormigón de cada lote se comprobará determinando la misma en todas las amasadas sometidas a control, mediante la aplicación de los criterios de conformidad establecidos en 57.9.2.

Las tomas de muestras se realizarán aleatoriamente entre las amasadas del mismo tipo de hormigón dentro del período considerado.

Se realizará un control de contraste externo de la resistencia del hormigón con una frecuencia nunca inferior a 2 determinaciones al mes para el total de la producción, cuando existan varios tipos de hormigón fabricados en el mes, procurando un muestreo equitativo de los hormigones a lo largo de los meses. En caso de darse la circunstancia de producir un solo tipo de hormigón durante el mes se efectuará un control mensual de dicho tipo de hormigón

### 57.9.2.2 Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón

El criterio de aceptación de la resistencia del hormigón fabricado en central y destinado a elementos prefabricados estructurales con producción continua de un tipo de hormigón se define según la expresión siguiente:

$$f(\bar{x}) = \bar{x} - 1,66\sigma \geq f_{ck}$$

donde:

$\bar{x}$  Valor medio de los resultados obtenidos en las  $N$  amasadas ensayadas por lote.

$s_{35}^*$  Valor de la desviación típica correspondiente a la producción del tipo de hormigón suministrado en  $N/\text{mm}^2$ , obtenida a partir de los 35 últimos resultados.

$$s_{35}^* = \sqrt{\frac{1}{34} \sum_{i=1}^{35} (x_i - \bar{x}_{35})^2}$$

$f_{ck}$  Valor de la resistencia característica especificada para el tipo de hormigón utilizado.

Cuando no exista producción continua de un tipo de hormigón, dando lugar a baja producción de un tipo de hormigón, se comprobarán los lotes establecidos en la tabla 57.9.2 con periodicidad semanal mediante el criterio siguiente:

$$f(\bar{x}) = \bar{x} - K_2 r_n \geq f_{ck}$$

donde:

$\bar{x}$  Valor medio de los resultados obtenidos en la  $N$  amasadas ensayadas por lote.

$K_2$  Valor del coeficiente reflejado en la tabla 57.9.2.2 según el número de amasadas  $N$ .

$r_n$  Valor del recorrido muestral definido como  $r_n = X_{(N)} - X_{(1)}$ .

- $x_{(1)}$  Valor mínimo de los resultados obtenidos en las últimas  $N$  amasadas ensayadas por lote
- $x_{(N)}$  Valor máximo de los resultados obtenidos en las últimas  $N$  amasadas ensayadas por lote
- $f_{ck}$  Valor de la resistencia característica especificada para el tipo de hormigón utilizado.

Tabla 57.9.2.2. Coeficiente  $K_2$ 

Coeficiente	Número de amasadas ensayadas/lote				
	2	3	4	5	6
$K_2$	1,66	1,02	0,82	0,72	0,66

El criterio de aceptación del control de contraste externo de la resistencia del hormigón se define según la expresión:

$$x_i \geq f_{ck}$$

donde:

- $x_i$  Valor de cada uno de los resultados obtenidos en los ensayos de contraste externo.
- $f_{ck}$  Valor de la resistencia característica especificada para el tipo de hormigón utilizado.

### 57.9.2.3 Decisiones derivadas del control de la resistencia del hormigón

En el caso de producirse alguna no conformidad del hormigón tanto en los ensayos de autocontrol como de contraste externo, el prefabricador deberá comunicarlo a las correspondientes direcciones facultativas, que valorarán la oportunidad de aplicar los criterios establecidos para el hormigón fabricado en central, de acuerdo con el apartado 57.7.3.

## Artículo 58 Control del acero para armaduras pasivas

En el caso de que el acero deba de disponer de marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

Mientras no esté vigente el marcado CE para los aceros soldables destinados a la elaboración de armaduras pasivas, deberán ser conformes con el Artículo 34 de este

Código. La comprobación de su conformidad, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 56 comprenderá:

- a) un control documental conforme al apartado 21.1,
- b) en su caso, un control mediante distintivos de calidad oficialmente reconocidos conformes con lo indicado en el Artículo 18, y
- c) en su caso, un control experimental, mediante la realización de ensayos (dicho control experimental no será preceptivo en el caso de que el acero presente un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18).

Sin perjuicio de lo establecido al respecto en este Código, el plan de control podrá fijar los ensayos que considere pertinentes.

El control del acero para armaduras pasivas será efectuado por el responsable de la recepción del mismo en la instalación industrial (armadura normalizada o ferralla), de prefabricación o en la obra para el caso de que las armaduras se elaboren en la propia obra.

En los productos que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, para la realización de los ensayos, control experimental, se procederá a la división en lotes de la cantidad de acero suministrado. El tamaño máximo del lote será de 30 toneladas, procedentes del mismo fabricante de acero, marca comercial, tipo de acero, forma de suministro y serie de diámetros.

Las series de diámetros se clasifican como sigue a continuación:

- Serie fina: diámetros hasta 10 mm
- Serie media: diámetros desde 12 mm hasta 20 mm
- Serie gruesa: diámetros 25 mm y 32 mm
- Serie muy gruesa: diámetros desde 40 mm

De cada lote se tomará una muestra representativa formada por dos barras diferentes y sobre cada una de ellas se realizarán los siguientes ensayos de acuerdo con la norma UNE EN ISO 15630-1:

- Ensayo de tracción, con envejecimiento artificial de las probetas, para la determinación de  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $R_m/R_{p0,2}$ ,  $R_{p0,2\text{real}}/R_{p0,2\text{nominal}}$ ,  $A$ ,  $A_{gt}$ . El ensayo será satisfactorio cuando cumpla las especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 34 de este Código.
- Ensayo de doblado-desdoblado o, alternativamente, el ensayo de doblado simple, con los mandriles especificados en el Artículo 34 de este Código. El resultado se considerará satisfactorio si tras el ensayo no se detectan fisuras o grietas en el acero a simple vista.
- Determinación de la masa por metro (m/m). El ensayo será satisfactorio cuando cumpla las especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 34 de este Código.
- Determinación de las características geométricas para las corrugas (altura, separación, inclinación, ángulo, índice de corrugas, perímetro sin corrugas y altura de aleta longitudinal) o para las grafilas (profundidad, anchura, separación, suma de espacio y ángulo de inclinación con el eje longitudinal), según sea de aplicación. El ensayo será satisfactorio cuando cumpla las

especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 34 de este Código o del certificado específico de homologación de adherencia, en función de las longitudes de anclaje y solape empleadas en el proyecto.

Se aceptará el lote en el caso de no detectarse ningún incumplimiento de las especificaciones en los ensayos o comprobaciones citadas en este punto. En caso contrario, si únicamente se detectaran no conformidades sobre un único ensayo, se tomará un serie adicional de cinco probetas correspondientes al mismo lote, sobre las se realizará una nueva serie de ensayos o comprobaciones en relación con las propiedades sobre la que se haya detectado la no conformidad. En el caso de aparecer algún nuevo incumplimiento, se procederá a rechazar el lote.

Adicionalmente, en el caso de suministros de acero superiores a 300 toneladas, se deberá determinar la composición química sobre uno de cada cuatro lotes, dejando constancia escrita de la agrupación de los lotes de cuatro en cuatro. Se llevarán a cabo un mínimo de cinco ensayos sobre el lote seleccionado, en coladas de acero diferentes. El resultado será conforme, para la agrupación de cuatro lotes, cuando se cumplan las especificaciones del Artículo 34 de este Código y presente una variación respecto a los valores del certificado de inspección del fabricante del acero "tipo 3.1" según UNE EN 10204 que sea conforme con los siguientes criterios:

- Para productos de acero conforme a la norma UNE-EN 10080:

$$\%C_{\text{ensayo}} = \% C_{\text{certificado}} \pm 0,03$$

$$\%C_{\text{eq ensayo}} = \% C_{\text{eq certificado}} \pm 0,03$$

$$\%P_{\text{ensayo}} = \% P_{\text{certificado}} \pm 0,008$$

$$\%S_{\text{ensayo}} = \% S_{\text{certificado}} \pm 0,008$$

$$\%N_{\text{ensayo}} = \% N_{\text{certificado}} \pm 0,002$$

$$\%Cu_{\text{ensayo}} = \% Cu_{\text{certificado}} \pm 0,07$$

- Para productos de acero soldable inoxidable conforme al apartado 34.4 de este Código:

Desviación máxima establecida en la norma UNE-EN 10088.

En caso de detectarse un incumplimiento, se procederá a ensayar tres coladas diferentes de los restantes lotes que forman la agrupación (en total, 9 ensayos más). En caso de aparecer algún nuevo incumplimiento, se procederá a rechazar los cuatro lotes agrupados.

En el caso de aceros de característica SD, se verificará además el comportamiento frente a fatiga y cargas cíclicas como se indica a continuación:

- en el caso de estructuras sometidas a fatiga, el comportamiento de los productos de acero para hormigón armado frente a la fatiga podrá demostrarse mediante la presentación de un informe de ensayos, realizados conforme a la UNE EN ISO 15630-1, que garantice el cumplimiento de las exigencias definidas en el Artículo 34, con una antigüedad no superior a un año y realizado por un laboratorio de los recogidos en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

- en el caso de estructuras situadas en zona sísmica, el comportamiento frente a cargas cíclicas con deformaciones alternativas podrá demostrarse, salvo indicación contraria de la dirección facultativa, mediante la presentación de un informe de ensayos, que garantice las exigencias al respecto del Artículo 34, con una antigüedad no superior a un año y realizado por un laboratorio de los recogidos en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

## **Artículo 59 Control de las armaduras pasivas**

Este artículo tiene por objeto definir los procedimientos para comprobar la conformidad, antes de su montaje en la obra, de las armaduras normalizadas (mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía) y de la ferralla (elaborada y armada).

La conformidad de las armaduras con lo establecido en el proyecto incluirá su comportamiento en relación con las características mecánicas, las de adherencia, las relativas a su forma y dimensiones y cualquier otra característica que establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares o decida la dirección facultativa.

Las consideraciones de este artículo son de aplicación tanto en el caso en el que se hayan suministrado desde una instalación industrial ajena a la obra, como en el caso de que se hayan preparado en las propias instalaciones de la misma.

### **59.1 Control de las armaduras normalizadas (mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía)**

En el caso de que la armadura deba disponer de marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

Mientras no esté vigente el marcado CE para las armaduras normalizadas, deberán ser conformes con este Código (entre otros, las comprobaciones experimentales indicadas en este artículo), así como con la norma UNE EN 10080. La comprobación de su conformidad, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 56 comprenderá:

- a) un control documental conforme al apartado 21.1,
- b) en su caso, un control mediante distintivos de calidad oficialmente reconocidos conformes con lo indicado en el Artículo 18, y
- c) en su caso, un control experimental, mediante la realización de ensayos (dicho control experimental no será preceptivo en el caso de que el acero presente un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18).

Sin perjuicio de lo establecido al respecto en este Código, el plan de control podrá fijar los ensayos que considere pertinentes.

El control de las armaduras normalizadas será efectuado por el responsable de la recepción del mismo en la instalación industrial, de prefabricación, o en la propia obra.

#### **59.1.1 Toma de muestras**

La dirección facultativa, por sí misma, a través de una entidad de control o un laboratorio de control, efectuará la toma de muestras sobre las armaduras normalizadas. Podrán estar presentes durante la misma, representantes del constructor y del suministrador de las armaduras.

La entidad o el laboratorio de control de calidad velarán por la representatividad de la muestra. Una vez extraídas las muestras, el constructor procederá, en su caso, al reemplazamiento de las armaduras que hubieran sido alteradas durante la toma.

La entidad o el laboratorio de control de calidad redactarán un acta para cada toma de muestras, que deberá ser suscrita por todas las partes presentes, quedándose con una copia de la misma. Su redacción obedecerá a un modelo de acta, aprobado por la dirección facultativa al comienzo de la obra y cuyo contenido mínimo se recoge en el Anejo 4.

Se podrán tomar muestras de control, preventivas y de contraste. Las muestras de contraste se tomarán en los casos en que el representante del suministrador de las armaduras o del constructor, en su caso, así lo requiera.

El tamaño de las muestras deberá ser suficiente para la realización de la totalidad de las comprobaciones y ensayos contemplados en este Código. Todas las muestras se enviarán para su ensayo al laboratorio de control tras ser correctamente precintadas e identificadas.

#### **59.1.2 Realización de ensayos**

Cualquier ensayo sobre las armaduras, diferente de los contemplados en este apartado, se efectuará según lo establecido en el programa de control o en el correspondiente plan de control, o de acuerdo con las indicaciones de la dirección facultativa.

Para mallas electrosoldadas, los ensayos se realizarán conforme a la norma de ensayo UNE EN ISO 15630-2 y conforme a la UNE EN ISO 15630-1 cuando se ensayen sus elementos constituyentes.

Para armaduras básicas electrosoldadas en celosía, los ensayos se realizarán conforme al Anexo B de la norma UNE EN 10080 y conforme a la UNE EN ISO 15630-1 cuando se ensayen sus elementos constituyentes.

Para ambas armaduras normalizadas, los ensayos de las propiedades mecánicas se realizarán con envejecimiento artificial de las probetas, según se indica en la UNE EN 10080.

#### **59.1.3 Control previo al suministro**

Además de la documentación general a la que hace referencia el apartado 21.1 que sea aplicable a las armaduras normalizadas que se pretende suministrar a la obra, el suministrador deberá presentar a la dirección facultativa una copia firmada por persona física de la siguiente documentación:

- a) en su caso, documento que acredite que la armadura se encuentra en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido;
- b) en su caso, documentos que acrediten que la armadura dispone del marcado CE,
- c) en el caso de que el proyecto haya dispuesto unas longitudes de anclaje y solape que exijan el empleo de acero con un certificado de adherencia, éste deberá incorporarse a la correspondiente documentación previa al suministro, dicho certificado deberá presentar una antigüedad inferior a 36 meses, desde la fecha de fabricación del acero. Para la renovación trienal del certificado de adherencia, el laboratorio oficial o acreditado conforme a la UNE-EN ISO/IEC 17025 para la realización de estos ensayos debe realizar una comprobación de las características de adherencia mediante la realización del ensayo de la viga sobre 5 barras de un diámetro de entre los incluidos en el certificado de adherencia.
- d) en el caso de estructuras sometidas a fatiga, el comportamiento frente a la fatiga de las mallas electrosoldadas con característica SD, podrá demostrarse mediante la presentación de un informe de ensayos que garantice el cumplimiento de las exigencias definidas en el Artículo 34, con una antigüedad no superior a un año y realizado por un laboratorio de los referidos en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

#### **59.1.4 Control durante el suministro**

##### **59.1.4.1 Control documental durante el suministro**

La dirección facultativa deberá comprobar que cada suministro de armadura normalizada que se recibe en la obra va acompañado de la correspondiente hoja de suministro, de acuerdo con lo indicado en el apartado 21.1.

De acuerdo con lo indicado en el Artículo 21, en el caso de armaduras que se encuentren en posesión del marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto que está sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

Asimismo, deberá comprobar que el suministro de las armaduras se corresponde con la identificación del acero declarada por el fabricante y facilitada por el suministrador, de acuerdo con lo indicado en el apartado 49.1.1. En caso de detectarse algún problema de trazabilidad, se procederá al rechazo de las armaduras afectadas.

La dirección facultativa aceptará la documentación del suministro de las armaduras, tras comprobar que es conforme con lo especificado en el proyecto.

##### **59.1.4.2 Control experimental durante el suministro**

En los productos que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, se procederá a la división en lotes de la cantidad de armaduras normalizadas suministradas. El tamaño máximo del lote será

de 30 toneladas, procedentes del mismo fabricante de armaduras, marca comercial, tipo de acero y serie de diámetros.

De cada lote se tomará una muestra representativa formada por dos mallas o paneles y sobre cada uno de ellos se realizarán los siguientes ensayos:

- Ensayo de tracción, con envejecimiento artificial de las probetas, para la determinación de  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $R_m/R_{p0,2}$ ,  $R_{p0,2real}/R_{p0,2nominal}$ ,  $A$ ,  $A_{gt}$ . El ensayo será satisfactorio cuando cumplan las especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 35 de este Código.
- Ensayo de doblado-desdoblado o, alternativamente, el ensayo de doblado simple, con los mandriles especificados en la UNE 10080. El resultado se considerará satisfactorio si tras el ensayo no se detectan fisuras o grietas en el acero a simple vista.
- Determinación de la masa por metro (m/m). El ensayo será satisfactorio cuando se cumplan las especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 35 de este Código.
- Determinación de las características geométricas para las corrugas (altura, separación, inclinación, ángulo, índice de corrugas, perímetro sin corrugas y altura de aleta longitudinal) o para las grafilas (profundidad, anchura, separación, suma de espacio y ángulo de inclinación con el eje longitudinal), según sea de aplicación. El ensayo será satisfactorio cuando se cumplan las especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 35 de este Código o del certificado específico de homologación de adherencia, en función de las longitudes de anclaje y solape empleadas en el proyecto.
- Determinación del cortante en cizalladura o despegue de nudo. El ensayo se considerará satisfactorio. cumplan las especificaciones que le sean de aplicación en el Artículo 35 de este Código.
- Determinación de las dimensiones de la mallas electrosoldadas (longitud, anchura y separación entre elementos) y de la armadura básica electrosoldada en celosía (longitud, altura, anchura y paso de celosía). El ensayo será satisfactorio cuando cumpla las especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 35 de este Código.
- Para mallas electrosoldadas, determinación del número de elementos: se comprobará que el número de elementos longitudinales y transversales de cada panel o malla es el indicado en la documentación de suministro y aceptado por el cliente.

Se aceptará el lote en el caso de no detectarse ningún incumplimiento de las especificaciones en los ensayos o comprobaciones citadas en este punto. En caso contrario, si únicamente se detectaran no conformidades sobre un único ensayo, se tomará un serie adicional de cinco probetas correspondientes al mismo lote, sobre las se realizará una nueva serie de ensayos o comprobaciones en relación con las propiedades sobre las que se hayan detectado las no conformidades. En el caso de aparecer algún nuevo incumplimiento, se procederá a rechazar el lote.

#### 59.1.5 Certificado de suministro

El constructor archivará un certificado firmado por persona física y preparado por el suministrador de las armaduras normalizadas, que trasladará a la dirección facultativa al final de la obra, en el que se exprese la conformidad con este Código de

la totalidad de las armaduras suministradas, con expresión de las cantidades reales correspondientes a cada tipo, así como su trazabilidad hasta los fabricantes, de acuerdo con la información disponible en la documentación que establece la UNE EN 10080.

En el caso de que un mismo suministrador efectuara varias remesas durante varios meses, se podrán presentar certificados mensuales con las cantidades realmente suministradas cada mes.

Cuando entre en vigor el marcado CE para los productos de acero, el suministrador de las mismas facilitará al constructor copia de la declaración de prestaciones y el marcado CE.

#### **59.2 Control de la ferralla (elaborada y armada)**

En el caso de ferralla según lo indicado en el apartado 35.2, la dirección facultativa o, en su caso, el constructor, deberá comunicar por escrito al elaborador de la ferralla el cronograma de obra, marcando pedidos de las armaduras y fechas límite para su recepción en obra, tras lo que el elaborador de las mismas deberá comunicar por escrito a la dirección facultativa su programa de fabricación, con identificación de los procesos que va a utilizar (enderezado y/o soldadura) y si el acero que va a utilizar o alguno de los procesos para la elaboración de la ferralla disponen de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, ello al objeto de posibilitar la elaboración del Programa de control, la realización de toma de muestras y las actividades de comprobación que, preferiblemente, deben efectuarse en la instalación de ferralla.

El control de recepción se aplicará también tanto a las armaduras que se reciban en la obra procedente de una instalación industrial ajena a la misma, así como a cualquier armadura elaborada directamente por el constructor en la propia obra.

Las comprobaciones y ensayos establecidos en este apartado no serán preceptivos en el caso de que la ferralla esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

##### **59.2.1 Toma de muestras**

La dirección facultativa, por sí misma, a través de una entidad de control o un laboratorio de control, efectuará la toma de muestras sobre los acopios destinados a la obra. Podrán estar presentes durante la misma, representantes del constructor y del elaborador de la armadura. En el caso de ferralla armada, la toma de muestras se efectuará preferiblemente en la propia instalación donde se estén fabricando y sólo, si la dirección facultativa lo autoriza se podrá efectuar la toma de muestras en la propia obra.

La entidad o el laboratorio de control de calidad velarán por la representatividad de la muestra no aceptando en ningún caso, que se tome sobre armaduras que no se correspondan al despiece del proyecto, ni sobre armaduras específicamente destinadas a la realización de ensayos salvo que sean fabricadas en su presencia y bajo su directo control. Una vez extraídas las muestras, se procederá, en su caso, al reemplazamiento de las armaduras que hubieran sido alteradas durante la toma.

La entidad o el laboratorio de control de calidad redactarán un acta para cada toma de muestras, que deberá ser suscrita por todas las partes presentes,

quedándose con una copia de la misma. Su redacción obedecerá a un modelo de acta, aprobado por la dirección facultativa al comienzo de la obra y cuyo contenido mínimo se recoge en el Anejo 4.

Se podrán tomar muestras de control, preventivas y de contraste. Las muestras de contraste se tomarán en los casos en que el representante del suministrador de la armadura o del constructor, en su caso, así lo requiera.

El tamaño de las muestras deberá ser suficiente para la realización de la totalidad de las comprobaciones y ensayos contemplados en este Código. Todas las muestras se enviarán para su ensayo al laboratorio de control tras ser correctamente precintadas e identificadas.

#### **59.2.2 Realización de los ensayos**

Cualquier ensayo sobre la ferralla, diferente de los contemplados en este apartado, se efectuará según lo establecido en el programa de control o en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas, o de acuerdo con las indicaciones de la dirección facultativa.

##### **59.2.2.1 Ensayos para la comprobación de la conformidad de las características mecánicas**

Las características mecánicas de la ferralla se determinarán de acuerdo con lo establecido en UNE EN ISO 15630-1. En el caso de que fuera necesario la determinación de las características mecánicas sobre ferralla fabricada con mallas electrosoldadas, se efectuará de acuerdo con UNE EN ISO 15630-2.

El ensayo de tracción se realizará sobre probetas envejecidas artificialmente, según se indica en la norma UNE-EN 10080. Además, se tendrá en cuenta en el caso de la ferralla armada mediante soldadura no resistente, que el ensayo de tracción se realizará sobre probetas que contengan, al menos, una unión soldada, llevándose a cabo la tracción sobre el diámetro más fino de la probeta.

Los ensayos de doblado-desdoblado y de doblado simple se efectuarán según la UNE-EN ISO 15630 correspondiente, sobre los mandriles indicados en la UNE-EN 10080.

##### **59.2.2.2 Ensayos para la comprobación de la conformidad de las características de adherencia**

Las características de la geometría superficial de las armaduras relacionadas con su adherencia se comprobarán mediante la aplicación de los métodos contemplados al efecto en UNE-EN ISO 15630-1.

##### **59.2.2.3 Ensayos para la comprobación de la conformidad de las dimensiones**

La conformidad de las dimensiones de la ferralla se comprobará mediante el correspondiente equipo de medida, que deberá cumplir los siguientes requisitos:

- la determinación de sus dimensiones longitudinales, con una resolución de medida no inferior a 1 mm.

- la determinación de sus diámetros reales de doblado mediante la aplicación de las correspondientes plantillas de doblado.
- la determinación de sus alineaciones geométricas, con una resolución de las mismas no inferior a 1°.

#### **59.2.3 Control previo al suministro**

Las comprobaciones previas al suministro de la ferralla tienen por objeto verificar la conformidad de los procesos y de las instalaciones que se pretenden emplear.

##### **59.2.3.1 Comprobación documental previa al suministro**

Además de la documentación general a la que hace referencia el apartado 21.1 que sea aplicable a la ferralla que se pretende suministrar a la obra, el suministrador o, en su caso, el constructor, deberá presentar a la dirección facultativa una copia firmada por persona física designada por el suministrador de la siguiente documentación:

- a) en su caso, documento que acredite que la ferralla que se suministrará se encuentra en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido;
- b) en su caso, documento que acredite que el acero que se utilizará para la fabricación de la armadura se encuentra en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido;
- c) en el caso de que se trate de ferralla armada mediante soldadura no resistente, certificados de cualificación del personal que realizará dicha soldadura, que avale su formación específica para dicho procedimiento;
- d) en el caso de que se pretenda emplear procesos de soldadura resistente, certificados de homologación de soldadores, según UNE-EN ISO 9606-1 y del proceso de soldadura, según UNE-EN ISO 15614-1;
  - e) en el caso de que el proyecto haya dispuesto unas longitudes de anclaje y solape que exijan el empleo de acero con un certificado de adherencia, éste deberá incorporarse a la correspondiente documentación previa al suministro. Dicho certificado deberá presentar una antigüedad inferior a 36 meses, desde la fecha de fabricación del acero. Para la renovación trienal del certificado de adherencia, el laboratorio oficial o acreditado conforme a la UNE-EN ISO/IEC 17025 para la realización de estos ensayos debe realizar una comprobación de las características de adherencia mediante la realización del ensayo de la viga sobre 5 barras de un diámetro de entre los incluidos en el certificado de adherencia.

En el caso de que la ferralla esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, en función de su alcance, la comprobación documental comprenderá:

- Ferralla elaborada en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido: no será preceptiva la documentación a la que se refiere el apartado b).

- Ferralla armada mediante soldadura no resistente en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido: no será preceptiva la documentación a la que se refieren los apartados b) y c).
- Ferralla armada mediante soldadura resistente en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido: no será preceptiva la documentación referida en los apartados b) y d).

Además, previamente al inicio del suministro de la ferralla según proyecto, la dirección facultativa podrá revisar las planillas de despiece que se hayan preparado específicamente para la obra. Esta revisión será obligatoria en los casos indicados en el apartado 49.3.1. Cuando se produzca un cambio de suministrador de la ferralla, será preceptivo presentar nuevamente la documentación correspondiente.

#### **59.2.3.2 Comprobación de las instalaciones de ferralla**

La dirección facultativa valorará la conveniencia de efectuar, directamente o a través de una entidad de control de calidad, y preferiblemente antes del inicio del suministro, una visita de inspección a la instalación de ferralla donde se elabora la ferralla, al objeto de comprobar su idoneidad para fabricar las armaduras que se requieren para la obra. En particular, se atenderá al cumplimiento de las exigencias establecidas en el apartado 49.2.

Estas inspecciones serán preceptivas en el caso de instalaciones que pertenezcan a la obra, en las que se comprobará que se ha delimitado un espacio mínimo para las labores del proceso de ferralla con espacio predeterminado para el acopio de materia prima, espacio fijo para la maquinaria y procesos de elaboración y armado, así como recintos específicos para acopiar la ferralla elaborada y, en su caso, la ferralla armada.

La dirección facultativa podrá recabar del suministrador de la ferralla o del constructor, la información que demuestre la existencia de un control de producción, conforme con lo indicado en el apartado 49.2.4 y correctamente documentado, mediante el registro de sus comprobaciones y resultados de ensayo en los correspondientes documentos de autocontrol, que incluirán al menos todas las características especificadas por este Código.

#### **59.2.4 Control durante el suministro**

##### **59.2.4.1 Control documental durante el suministro o su fabricación en obra**

La dirección facultativa deberá comprobar que cada remesa de ferralla que se suministre a la obra va acompañada de la correspondiente hoja de suministro, de acuerdo con lo indicado en el apartado 21.1.

Asimismo, deberá comprobar que el suministro de la ferralla se corresponde con la identificación del acero declarada por el fabricante y facilitada por el suministrador de la ferralla, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 58. En caso de detectarse algún problema de trazabilidad, se procederá al rechazo de la ferralla afectada.

Para ferralla elaborada en las instalaciones de la obra, se comprobará que el constructor mantiene un registro de fabricación en el que se recoge, para cada partida

de elementos fabricados, la misma información que en las hojas de suministro a las que hace referencia este apartado.

La dirección facultativa aceptará la documentación de la remesa de ferralla, tras comprobar que es conforme con lo especificado en el proyecto.

#### **59.2.4.2 Comprobaciones experimentales: criterios generales**

El control experimental de la ferralla comprenderá la comprobación de sus características mecánicas, la de sus características de adherencia y la de sus dimensiones, así como la de otras características adicionales cuando se utilicen procesos de soldadura resistente.

Las comprobaciones experimentales a las que hace referencia este apartado no serán preceptivas en el caso de que la ferralla esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

En la ferralla que no posea un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, para la realización de los ensayos, control experimental, se define como lote aquel que cumple las siguientes condiciones:

- el tamaño del lote no será superior a 25 toneladas
- en el caso de ferralla fabricada en una instalación industrial fija ajena a la obra, deberá haber sido suministrada en remesas consecutivas desde la misma instalación,
- en el caso de ferralla fabricada en instalaciones de la obra, la producida en períodos de un mes,
- corresponder a la misma designación de armadura pasiva, según Artículo 35 de este Código.

#### **59.2.4.3 Comprobaciones experimentales: características mecánicas y de adherencia**

Las características mecánicas y de adherencia de la ferralla elaborada y armada serán objeto de comprobación de su conformidad por parte de la dirección facultativa.

En el caso de que los productos a suministrar estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la dirección facultativa podrá eximir las comprobaciones experimentales que se indican en este apartado.

Los tipos de ensayos a realizar en función de los procesos utilizados para la fabricación de la ferralla se indican en la Tabla 59.2.4.3.

Tabla 59.2.4.3. Comprobación de las características mecánicas y de adherencia mediante ensayos

Comprobación de las características mecánicas y de adherencia mediante ensayos		
PROCESOS	Sin enderezado	Con enderezado
Sin soldadura (ferralla elaborada y ferralla armada mediante atado con alambre)	La dirección facultativa podrá eximir los ensayos	Tracción Geometría superficial
Con soldadura (ferralla armada mediante soldadura no resistente)	Tracción Doblado simple o doblado-desdoblado	Tracción Doblado simple o doblado-desdoblado Geometría superficial

En cada lote se tomará una muestra representativa formada por un número de probetas suficiente para la realización de los ensayos que correspondan de acuerdo con la Tabla 59.2.4.3. Se recomienda obtener un número de probetas de reserva suficiente para posibles contraensayos.

En el caso de que en un mismo lote existan armaduras fabricadas con barras de acero corrugado con y sin procesos de enderezado, las probetas para la realización de los ensayos de tracción y geometría superficial procederán de las barras enderezadas. Si además se han utilizado procesos de soldadura, las probetas contendrán un punto de soldadura.

De acuerdo con los procesos utilizados en la elaboración de la ferralla indicados en la Tabla 59.2.4.3, en cada lote se realizarán los siguientes ensayos según corresponda:

- Cuatro ensayos de tracción sobre probetas preferentemente de diámetros de las series fina y media, para la determinación de  $R_m$ ,  $R_{p0.2}$ ,  $R_m/R_{p0.2}$ ,  $R_{p0.2real}/R_{p0.2nominal}$  (sólo en el caso de armaduras pasivas SD),  $A$ ,  $A_g$ . En el caso de que el acero corrugado con el que se han elaborado las armaduras esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la dirección facultativa podrá reducir el número de ensayos a la mitad. El ensayo se considerará conforme si se cumplen las especificaciones establecidas para el acero en el Artículo 35 de este Código.
- Cuatro ensayos de doblado simple o doblado-desdoblado sobre probetas de los diámetros mayores utilizados en la ferralla armada con soldadura no resistente. En el caso de que el acero corrugado con el que se han elaborado las armaduras esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la dirección facultativa podrá reducir el número de

ensayos a la mitad. El resultado se considerará conforme si tras el ensayo no se aprecian fisuras o grietas a simple vista.

- Dos ensayos de geometría superficial por diámetro de las series fina y media determinando altura, separación, inclinación, ángulo, índice de corrugas, perímetro sin corrugas y altura de aleta longitudinal. En el caso de que se trate de un acero con certificado de las características de adherencia según el Anejo C de la UNE-EN 10080, será suficiente determinar su altura de corruga. El ensayo se considerará conforme si se cumplen las especificaciones definidas en el Artículo 35 de este Código para el caso de acero suministrado en barra o en el certificado de las características de adherencia, en su caso.

En el caso de no cumplirse alguna especificación sobre las probetas de reserva para contraensayos, si se dispone de ellas o, en caso contrario y si es posible, sobre probetas extraídas del mismo lote afectado, se realizarán el doble de ensayos en relación con la propiedad sobre la que se haya detectado la no conformidad. Si volviera a producirse algún nuevo incumplimiento, se procederá a rechazar el lote.

Además, la dirección facultativa rechazará el empleo de armaduras que presenten un grado de oxidación que pueda afectar a sus condiciones de adherencia. Se entenderá como excesivo el grado de oxidación cuando, una vez procedido al cepillado mediante cepillo de púas de alambre, se compruebe que la pérdida de peso de la probeta de barra es superior al uno por ciento. Asimismo, se deberá comprobar también que, una vez eliminado el óxido, la altura de corruga cumple los límites establecidos para la adherencia con el hormigón, según el Artículo 35 de este Código o el certificado de las características de adherencia, en su caso.

#### **59.2.4.4 Comprobaciones experimentales: dimensiones**

De cada lote se verificarán como mínimo quince unidades de ferralla, preferiblemente pertenecientes a diferentes formas y tipologías, a criterio de la dirección facultativa.

Las comprobaciones a realizar en cada unidad serán, como mínimo, las siguientes:

- a) la correspondencia de los diámetros de las armaduras y del tipo de acero con lo indicado en el proyecto y en las hojas de suministro,
- b) la alineación de sus elementos rectos, sus dimensiones y, en su caso, sus diámetros de doblado, comprobándose que no se aprecian desviaciones observables a simple vista en sus tramos rectos y que los diámetros de doblado y las desviaciones geométricas respecto a las formas del despiece del proyecto son conformes con las tolerancias establecidas en el mismo o, en su caso, en el Anejo 14 de este Código.

Además, en el caso de ferralla armada, se deberá comprobar:

- a) la correspondencia del número de elementos de armadura (barras, estribos, etc.) indicado en el proyecto, las planillas y las hojas de suministro, y

b) la conformidad de las distancias entre barras según Artículo 35 de este Código.

En el caso de que se produjera un incumplimiento, se desechará la ferralla sobre la que se ha obtenido el mismo y se procederá a una revisión de todo el lote. De resultar satisfactorias las comprobaciones, se aceptará el lote, previa sustitución de la armadura defectuosa. En caso contrario, se rechazará todo el lote.

#### **59.2.4.5 Comprobaciones experimentales: procesos de elaboración con soldadura resistente**

En el caso de que se emplee soldadura resistente para la elaboración de una armadura en una instalación industrial ajena a la obra, la dirección facultativa deberá recabar las evidencias documentales de que el proceso de soldadura se realiza en una instalación de ferralla que está en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido. En el caso de armaduras elaboradas directamente en la obra, la dirección facultativa permitirá la realización de soldadura resistente sólo en el caso de control de ejecución intenso.

Además, la dirección facultativa deberá disponer la realización de una serie de comprobaciones experimentales de la conformidad del proceso, en función del tipo de soldadura, de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN ISO 17660-1.

#### **59.2.5 Certificado del suministro**

El constructor archivará un certificado firmado por persona física y preparado por el suministrador de la ferralla, que trasladará a la dirección facultativa al final de la obra, en el que se exprese la conformidad con este Código de la totalidad de la ferralla suministrada, con expresión de las cantidades reales correspondientes a cada tipo, así como su trazabilidad hasta los fabricantes, de acuerdo con la información disponible en la documentación que establece la UNE EN 10080.

En el caso de que un mismo suministrador efectuara varias remesas durante varios meses, se deberá presentar certificados mensuales el mismo mes, se podrá aceptar un único certificado que incluya la totalidad de las partidas suministradas durante el mes de referencia.

En el caso de instalaciones en obra, el constructor elaborará y entregará a la dirección facultativa un certificado equivalente al indicado para las instalaciones ajenas a la obra.

### **Artículo 60 Control del acero para armaduras activas**

En el caso de que el acero deba de disponer de marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

Mientras no esté vigente el marcado CE para los aceros para armaduras activas, deberán ser conformes con este Código. La comprobación de su conformidad, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 56 comprenderá:

- a) un control documental conforme al apartado 21.1,
- b) en su caso, un control mediante distintivos de calidad oficialmente reconocidos conformes con lo indicado en el Artículo 18, y
- c) en su caso, un control experimental, mediante la realización de ensayos (dicho control experimental no será preceptivo en el caso de que el acero presente un distintivo de calidad oficialmente reconocido, conforme a lo indicado en el Artículo 18).

Sin perjuicio de lo establecido al respecto en este Código, el pliego de prescripciones técnicas particulares podrá fijar los ensayos que considere pertinentes.

El control del acero para armaduras activas será efectuado por el responsable de la recepción del mismo en la instalación industrial, de prefabricación o en la propia obra.

En los productos que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18, para la realización de los ensayos, control experimental, se procederá a la división en lotes de la cantidad de acero suministrado. El tamaño máximo del lote será de 30 toneladas, procedentes del mismo fabricante de acero, marca comercial, tipo de acero, y producto (alambre, cordón y barra), diámetro y colada.

De cada lote se tomará una muestra representativa formada por dos alambres, cordones o barras diferentes y sobre cada una de ellas se realizarán los siguientes ensayos de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 15630-3:

- Ensayo de tracción, con envejecimiento artificial de las probetas. Se determinarán las siguientes características: Módulo elástico, Carga al límite elástico convencional al 0,1%,  $R_{p\ 0,1}$ . Carga al límite elástico convencional al 0,2%,  $R_{p\ 0,2}$ . Carga de rotura,  $R_m$ . Relación  $R_{p\ 0,2}/R_m$ . Alargamiento total bajo carga máxima,  $A_{gt}$ . Estricción,  $Z$ .
- Ensayo de doblado alternativo, sólo para alambres de diámetro igual o superior a 5 mm.
- Determinación de características geométricas: sección transversal recta o masa/metro y profundidad, longitud y separación de grafilas, si procede.

Los ensayos serán satisfactorios cuando cumplan las especificaciones que les sean de aplicación en el Artículo 36 de este Código.

Se aceptará el lote en el caso de no detectarse ningún incumplimiento de las especificaciones en los ensayos o comprobaciones citadas en este punto. En caso contrario, si únicamente se detectaran no conformidades sobre un único ensayo, se tomará una serie adicional de cinco probetas correspondientes al mismo lote, sobre las que se realizará una nueva serie de ensayos o comprobaciones en relación con las propiedades sobre la que se haya detectado la no conformidad. En el caso de aparecer algún nuevo incumplimiento, se procederá a rechazar el lote.

El comportamiento frente a relajación al 80% a 1000 horas, fatiga, corrosión bajo tensión o tensión residual, pérdida de resistencia a la tracción después de un doblado-desdoblado y tracción desviada (sólo para cordones de 7 alambres de diámetro  $\geq 13\text{mm}$ ), según UNE-EN ISO 15630-3, podrá demostrarse, salvo indicación contraria de la dirección facultativa, mediante la presentación de un informe de ensayos que garanticen las exigencias al respecto del Artículo 36, con una antigüedad no superior a un año y realizado por un laboratorio de los recogidos en el apartado 17.2.2.1 de este Código

En suministros de más de 100 toneladas, se efectuarán ensayos de contraste de la trazabilidad de la colada, mediante la determinación de las características químicas sobre uno de cada cuatro lotes, con un mínimo de cinco ensayos.

## **Artículo 61 Control de los elementos y sistemas de aplicación del pretensado**

### **61.1 Criterios generales para el control**

La conformidad de los elementos de pretensado con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en la obra, e incluirá todos aquellos componentes que fueran necesarios para materializar la fuerza de pretensado sobre la estructura. Por lo tanto, el control de recepción en relación con los elementos de pretensado podrá incluir, según el caso:

- el acero de pretensar,
- las unidades de pretensado, cualquiera que sea su tipología (alambres, cordones, barras, etc.),
- los dispositivos de anclaje, en su caso,
- los dispositivos de empalme, en su caso,
- las vainas, en su caso,
- los productos de inyección, en su caso, y
- los sistemas para aplicar la fuerza de pretensado.

En el caso de elementos o sistemas de aplicación del pretensado que dispongan de marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. El responsable de la recepción será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

Para los elementos o sistemas de aplicación del pretensado que no dispongan de marcado CE, deberán ser conformes con este Código (entre otros, comprobaciones experimentales indicadas en este artículo). La comprobación de su conformidad, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 56 comprenderá:

- a) un control documental conforme al apartado 21.1,
- b) en su caso, un control mediante distintivos de calidad oficialmente reconocidos conformes con lo indicado en el Artículo 18, y
- c) en su caso, un control experimental, mediante la realización de ensayos (dicho control experimental no será preceptivo en el caso de que el sistema de aplicación del pretensado presente un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18).

Sin perjuicio de lo establecido al respecto en este Código, el pliego de prescripciones técnicas particulares podrá fijar los ensayos que considere pertinentes.

El control de los elementos y sistemas de aplicación del pretensado será efectuado por el responsable de la recepción del mismo en la instalación de prefabricación, o en la propia obra.

#### **61.2 Toma de muestras**

La dirección facultativa, por si misma, a través de una entidad de control o un laboratorio de control, efectuará la toma de muestras sobre los elementos de pretensado, en la propia obra. Podrán estar presentes durante la misma, representantes del constructor, del aplicador del pretensado y del fabricante de acero de pretensado.

La entidad o laboratorio de control de calidad velará por la representatividad de la muestra no aceptando en ningún caso, que se tomen muestras sobre elementos que hubieran sido suministradas específicamente para la realización de ensayos.

La entidad o el laboratorio de control de calidad redactarán un acta para cada toma de muestras, que deberá ser suscrita por todas las partes presentes, quedándose con una copia de la misma. Su redacción obedecerá a un modelo de acta, aprobado por la dirección facultativa al comienzo de la obra y cuyo contenido mínimo se recoge en el Anejo 4.

Se podrán tomar muestras de control, preventivas y de contraste. Las muestras de contraste se tomarán en los casos en que el representante del suministrador, aplicador o del constructor, en su caso, así lo requiera.

El tamaño de las muestras deberá ser suficiente para la realización de la totalidad de las comprobaciones y ensayos contemplados en este Código. Todas las muestras se enviarán para su ensayo al laboratorio de control tras ser correctamente precintadas e identificadas.

#### **61.3 Realización de ensayos**

Cualquier ensayo sobre los elementos o sistemas de aplicación del pretensado, diferente de los contemplados en este apartado, se efectuará según lo establecido en el programa de control o en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas, o de acuerdo con las indicaciones de la dirección facultativa.

En el caso que la dirección facultativa decida la realización de ensayos para la caracterización mecánica de cualquier unidad de pretensado (alambre, barra o cordón), se efectuarán conforme a lo indicado en UNE EN ISO 15630-3.

#### **61.4 Control previo a la aplicación del pretensado**

Las comprobaciones previas a la aplicación del pretensado tienen por objeto verificar la conformidad documental de los materiales, sistemas y procesos empleados para la aplicación de la fuerza de pretensado.

Además de la documentación general a la que hace referencia el apartado 21.1, que sea aplicable a los elementos o sistemas de aplicación del pretensado que se pretenden suministrar a la obra, el suministrador o el aplicador deberá presentar a la dirección facultativa una copia firmada por persona física de la siguiente documentación:

- a) en su caso, documento que acredite de que el sistema de aplicación del pretensado está en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- b) aquélla que avale que los elementos de pretensado que se van a suministrar están legalmente comercializados y, en su caso, la declaración de prestaciones y el marcado CE,

Cuando se produzca un cambio de suministrador o aplicador durante la obra, será preceptivo presentar nuevamente la documentación correspondiente.

La dirección facultativa valorará la conveniencia de efectuar, directamente o a través de una entidad de control de calidad, antes del inicio del suministro, una inspección del sistema de aplicación del pretensado, al objeto de comprobar que mantiene las condiciones de idoneidad para aplicarse en la obra. En particular, se atenderá al cumplimiento de las exigencias establecidas en el Artículo 50.

#### **61.5 Control durante la aplicación del pretensado**

##### **61.5.1 Comprobación documental durante el suministro y aplicación del pretensado**

La dirección facultativa deberá comprobar que cada suministro de elementos de pretensado (alambres, barras, cordones, dispositivos de anclaje o empalme, vainas, productos de inyección o cualquier otro accesorio de pretensado) que se recibe en la obra va acompañado de la correspondiente hoja de suministro, de acuerdo con lo indicado en el apartado 21.1.

De acuerdo con lo indicado en el Artículo 21, en el caso de que el sistema de aplicación del pretensado esté en posesión del marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto que está sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas. Además, deberá suministrarse a la dirección facultativa el procedimiento de aplicación amparado por el mismo.

La dirección facultativa comprobará que la documentación del suministro de los elementos y sistemas de aplicación del pretensado, es conforme con lo especificado en el proyecto.

##### **61.5.2 Control experimental durante el suministro y aplicación del pretensado**

En los sistemas de aplicación del pretensado que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 18 se procederá a realizar las comprobaciones que contempla este Código para la recepción de los diferentes elementos de pretensado.

#### **61.5.2.1 Control experimental de la conformidad de las unidades de pretensado**

La dirección facultativa comprobará, en su caso, la conformidad de las unidades de pretensado suministradas a la obra, según lo indicado en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

#### **61.5.2.2 Control experimental de la conformidad de los dispositivos de anclaje y empalme**

El control experimental se limitará a la comprobación de las características apreciables a simple vista, tales como dimensiones e intercambiabilidad de las piezas, ausencia de fisuras o rebabas que pudieran suponer defectos en el proceso de fabricación, etc. De forma especial debe observarse el estado de las superficies que cumplan la función de retención de los tendones (dentado, rosca, etc.), y de las que deben deslizar entre sí durante el proceso de penetración de la cuña.

El número de elementos sometidos a control será, como mínimo:

- a) seis por cada partida recibida en obra,
- b) el 5% de los que hayan de cumplir una función similar en el pretensado de cada pieza o parte de obra.

Cuando las circunstancias hagan prever que la duración o condiciones de almacenamiento puedan haber afectado al estado de las superficies antes indicadas, deberá comprobarse nuevamente su estado antes de su utilización.

#### **61.5.2.3 Control de las vainas y accesorios de pretensado**

En el caso de las vainas, el control experimental se limitará a la comprobación de sus características aparentes, tales como dimensiones, rigidez al aplastamiento de las vainas, ausencia de abolladuras, ausencia de fisuras o perforaciones que puedan comprometer su estanquidad, etc.

En particular, deberá comprobarse que la curvatura de las vainas, de acuerdo con los radios con que vayan a utilizarse en obra, no produce deformaciones locales apreciables, ni roturas que pudieran afectar a la estanquidad de las vainas.

Se deberá comprobar también la estanquidad y resistencia al aplastamiento y golpes de las piezas de unión, boquillas de inyección, trompetas de empalme, etc., en función de las condiciones en que hayan de ser utilizadas.

Se comprobará asimismo que los separadores, en su caso, no producen acodamientos de las armaduras o dificultad importante al paso de la inyección.

Cuando, por cualquier causa, se haya producido un almacenamiento prolongado o en malas condiciones, deberá evaluarse minuciosamente si la oxidación, en su caso,

de los elementos metálicos pudiera producir daños para la estanquidad o de cualquier otro tipo.

#### **61.5.2.4 Control de los productos de inyección**

Cuando los materiales empleados para la preparación de la lechada de inyección (cemento, agua y, en su caso, aditivos), sean de distinto tipo o categoría que los empleados en la fabricación del hormigón de la obra, se aplicarán para su recepción los criterios establecidos para los mismos en este Código.

La dirección facultativa podrá solicitar los resultados de control de producción de los aditivos empleados, en su caso, que avalen mediante los oportunos ensayos de laboratorio, el efecto que los mismos pueden producir en las características de la lechada o mortero. Además, deberán tenerse en cuenta, en su caso, las condiciones particulares de temperatura de la obra para prevenir, si fuese necesario, la necesidad de que el aditivo tenga propiedades aireantes.

#### **61.6 Certificado del suministro**

El constructor archivará un certificado firmado por persona física y preparado por el suministrador de los elementos y sistemas de aplicación del pretensado, que trasladará a la dirección facultativa al final de la obra, en el que se exprese la conformidad con este Código.

En el caso de que un mismo suministrador efectuara varias remesas durante varios meses, se podrán presentar certificados mensuales con las cantidades realmente suministradas cada mes.

En el caso de sistemas de aplicación del pretensado con marcado CE, el suministrador de las mismas facilitará al constructor copia del certificado de conformidad incluida en la documentación que acompaña al citado marcado CE, relativo a los elementos de pretensado suministrados a la obra.

## **Artículo 62 Control de los elementos prefabricados**

### **62.1 Criterios generales para el control de la conformidad de los elementos prefabricados**

La conformidad de los elementos prefabricados con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en obra e incluirá la comprobación de la conformidad de su comportamiento tanto en lo relativo al hormigón, como a las armaduras, así como al comportamiento del propio elemento prefabricado.

En el caso de elementos prefabricados que dispongan del marcado CE, el responsable de la recepción deberá comprobar que la hoja de suministro, el etiquetado y la copia de la declaración de prestaciones están completas, reúnen los requisitos establecidos y se corresponden con el producto solicitado. Será el encargado de verificar, del modo que considere conveniente, que el producto sujeto a recepción es conforme con las especificaciones requeridas.

La dirección facultativa velará especialmente porque se mantengan los criterios suficientes para garantizar la trazabilidad entre los elementos colocados con carácter permanente en la obra y los materiales y productos empleados.

A los efectos de su control, la prefabricación de elementos estructurales de hormigón incluye, al menos, los siguientes procesos:

- elaboración de las armaduras,
- armado de la ferralla,
- montaje de la armadura pasiva,
- operaciones de pretensado, en su caso,
- fabricación del hormigón, y
- vertido, compactación y curado del hormigón.

Para los productos que no dispongan de marcado CE, el control de recepción de los elementos prefabricados podrá incluir comprobaciones tanto sobre los procesos de prefabricación, como sobre los productos empleados (hormigón, armaduras y acero de pretensado), así como sobre la geometría final del elemento.

El control de recepción debe efectuarse tanto sobre los elementos prefabricados en una instalación industrial ajena a la obra como sobre aquéllos prefabricados directamente por el constructor en la propia obra. Además, los criterios de este Código deberán aplicarse tanto a los elementos normalizados, como aquéllos que sean prefabricados específicamente para una obra, de acuerdo con un proyecto concreto.

El suministrador o, en su caso, el constructor, deberá incluir en su sistema de control de producción un sistema para el seguimiento de cada uno de los procesos aplicados durante su actividad, y definirá unos criterios de comprobación que permitan verificar a la dirección facultativa que los citados procesos se desarrollan según lo establecido en este Código. Para ello, reflejará en los correspondientes registros de autocontrol los resultados de todas las comprobaciones realizadas para cada una de las actividades que le sean de aplicación, de entre las contempladas por este Código.

La dirección facultativa podrá requerir del suministrador o, en su caso, del constructor, las evidencias documentales sobre cualquiera de los procesos relacionados con la prefabricación que se contemplan en este Código y, en particular, la información que demuestre la existencia de un control de producción, que incluya todas las características especificadas por este Código y cuyos resultados deberán estar registrados en documentos de autocontrol. Además podrá efectuar, cuando proceda, las oportunas inspecciones en las propias instalaciones de prefabricación y, en su caso, la toma de muestras para su posterior ensayo.

En el caso general de elementos prefabricados elaborados con hormigón conforme a la EN 206, se empleará en el proyecto del elemento prefabricado un coeficiente de ponderación, en situación persistente o transitoria, de 1,70 para el hormigón y de 1,15 para el acero. Dichos coeficientes podrán disminuirse hasta 1,35 y 1,10, respectivamente, en el caso de que el elemento prefabricado esté en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el artículo 18 de este Código. Además, cuando pueda presentar voluntariamente un certificado del control de producción en fábrica, elaborado por un organismo de control o una

entidad de certificación, en cualquier caso acreditados en el ámbito del Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, que demuestre que el hormigón se fabrica de conformidad con los criterios establecidos en este Código, podrá aplicarse un coeficiente parcial de seguridad de 1,50 para el hormigón.

#### **62.2 Toma de muestras**

En el caso de que así lo decidiera la dirección facultativa, por si misma, a través de una entidad de control o un laboratorio de control, efectuará la toma de muestras sobre los acopios destinados a la obra. Podrán estar presentes durante la toma los representantes de la dirección facultativa, del constructor y del suministrador de los elementos prefabricados. En el caso de elementos normalizados y, la toma de muestras se efectuará sobre materiales, productos y elementos como los de las partidas suministradas a la obra. Sólo si la dirección facultativa lo autoriza se podrá efectuar la toma de muestras en la propia obra.

La entidad o el laboratorio de control de calidad velarán por la representatividad de la muestra, no aceptando en ningún caso, que se tome sobre materiales o armaduras que no se correspondan a lo indicado en el proyecto, ni sobre elementos específicamente destinados a la realización de ensayos salvo que sean fabricados en su presencia y bajo su directo control. Una vez extraídas las muestras, se actuará de la misma forma que se indica al efecto en los Artículos 57, 59 y 61 para el hormigón y las armaduras.

La entidad o el laboratorio de control de calidad redactarán un acta para cada toma de muestras, que deberá ser suscrita por todas las partes presentes, quedándose con una copia de la misma. Su redacción obedecerá a un modelo de acta, aprobado por la dirección facultativa al comienzo de la obra y cuyo contenido mínimo se recoge en el Anejo 4.

Se podrán tomar muestras de control, preventivas y de contraste. Las muestras de contraste se tomarán en los casos en que el representante del suministrador del elemento prefabricado o del constructor, en su caso, así lo requiera.

El tamaño de las muestras deberá ser suficiente para la realización de la totalidad de las comprobaciones y ensayos contemplados en este Código. Todas las muestras se enviarán para su ensayo al laboratorio de control tras ser correctamente precintadas e identificadas.

#### **62.3 Realización de los ensayos**

Cualquier ensayo sobre los elementos prefabricados o sus componentes, diferente de los contemplados en este apartado, se efectuará según lo establecido en el programa de control o en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas, o de acuerdo con las indicaciones de la dirección facultativa.

##### **62.3.1 Comprobación de la conformidad de los procesos de prefabricación**

La comprobación de la conformidad por parte de la dirección facultativa de los procesos de prefabricación incluirá, al menos, la elaboración de la armadura pasiva, su montaje en los moldes, la fabricación del hormigón, así como su vertido, compactación y curado y, en su caso, las operaciones de aplicación del pretensado.

La comprobación de la conformidad de cada proceso se efectuará mediante la aplicación de los mismos procedimientos que se establecen en el articulado de este Código para el caso general de ejecución de la estructura en la propia obra.

#### **62.3.2 Ensayos para la comprobación de la conformidad de los productos empleados para la prefabricación de los elementos estructurales**

Los ensayos para la comprobación de las características exigibles, de acuerdo con este Código, para el hormigón, las armaduras elaboradas y los elementos de pretensado empleados en la prefabricación de elementos estructurales serán los mismos que los definidos, con carácter general, en los Artículos 57, 59 y 61.

#### **62.3.3 Ensayos para la comprobación de la conformidad de la geometría de los elementos prefabricados**

La geometría de los elementos prefabricados se comprobará mediante la determinación de sus características dimensionales, mediante cinta métrica con una apreciación no superior a 1,0 mm.

#### **62.3.4 Comprobación de la conformidad del recubrimiento de la armadura**

La conformidad de los recubrimientos respecto a lo indicado en el proyecto, se comprobará en la propia instalación, revisando la disposición adecuada de los separadores.

#### **62.3.5 Otros ensayos**

Cualquier ensayo o comprobación, diferente de los contemplados en este Código, se efectuará según lo establecido en el programa de control o en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas o de acuerdo con las indicaciones de la dirección facultativa.

### **62.4 Control previo al suministro**

El control previo al suministro tiene por objeto verificar la conformidad de las condiciones administrativas, así como de las instalaciones de prefabricación, mediante las correspondientes inspecciones y comprobaciones de carácter documental.

#### **62.4.1 Comprobación documental**

Además de la documentación general a la que hace referencia el apartado 21.1, que sea aplicable a los elementos prefabricados, el suministrador de los elementos prefabricados o el constructor deberán presentar a la dirección facultativa una copia firmada por persona física con representación suficiente, de la siguiente documentación:

- a) en su caso, documento que acredite que los elementos prefabricados que serán objeto de suministro a la obra están en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- b) en su caso, certificados de cualificación del personal que realiza la soldadura no resistente de las armaduras pasivas, que avale su formación específica para dicho procedimiento,

- c) en su caso, certificados de homologación de soldadores, según UNE-EN ISO 9606-1 y del proceso de soldadura, según UNE-EN ISO 15614-1, en caso de realizarse soldadura resistente de armaduras pasivas,
- d) en su caso, certificados de que el acero para armaduras pasivas, el acero para armaduras activas o la ferralla armada están en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

En el caso de elementos prefabricados según proyecto en los que se prevea la modificación del despiece original incluido en el proyecto, el suministrador, o en su caso, el constructor remitirá el nuevo despiece para su aceptación por escrito por parte de la dirección facultativa. En cualquier caso, previamente al inicio del suministro de elementos prefabricados según proyecto, la dirección facultativa directamente, o mediante la entidad de control de calidad, podrá revisar las plantillas de despiece que se hayan preparado específicamente para los elementos de la obra.

En el caso de que se produjera un cambio del suministrador, será preceptivo presentar nuevamente la documentación correspondiente.

#### **62.4.2 Comprobación de las instalaciones**

La dirección facultativa valorará la conveniencia de efectuar, directamente o a través de una entidad de control de calidad, una visita de inspección a la instalación donde se elaboran los elementos prefabricados al objeto de comprobar:

- que las instalaciones cumplen todos los requisitos exigidos por este Código, y en particular lo establecido en el Artículo 54,
- que los procesos de prefabricación se desarrollan correctamente, y
- que existe un sistema de gestión de acopios de materiales que permiten conseguir la necesaria trazabilidad.

Estas inspecciones serán preceptivas en el caso de instalaciones de prefabricación que pertenezca a la obra.

El prefabricador deberá poder demostrar que su gestión de acopios y el control de sus procesos garantizan la trazabilidad hasta su entrega a la obra incluyendo, en su caso, el transporte.

El prefabricador o, en su caso, el constructor deberá demostrar que su central de hormigón y sus instalaciones y equipos para la elaboración de la armadura y aplicación del pretensado cumplen todas las exigencias técnicas establecidas para las mismas, con carácter general, por este Código.

#### **62.4.3 Posible exención de comprobaciones previas**

En el caso de elementos prefabricados que dispongan de marcado CE, el responsable de la recepción deberá decidir aquellas comprobaciones que considere necesarias.

En el caso de que los elementos prefabricados estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la dirección facultativa podrá eximir de las comprobaciones documentales a las que se refieren los puntos b) y c) del apartado 66.4.1.

## **62.5 Control durante el suministro**

### **62.5.1 Control documental durante el suministro**

La dirección facultativa deberá comprobar que cada remesa de elementos prefabricados que se suministre a la obra va acompañada de la correspondiente hoja de suministro a la que hace referencia el apartado 21.1.

La dirección facultativa comprobará que la documentación aportada por el suministrador de los elementos prefabricados o, en su caso, por el constructor, es conforme con los coeficientes parciales de seguridad de los productos que hayan sido adoptados en el proyecto.

La dirección facultativa comprobará que la documentación de la partida de elementos prefabricados es conforme con este Código, así como con lo especificado en el proyecto.

### **62.5.2 Comprobación de la conformidad de los productos empleados**

La dirección facultativa comprobará que el prefabricador o, en su caso, el constructor ha controlado la conformidad de los productos directamente empleados para la prefabricación del elemento estructural y, en particular, la del hormigón, la de las armaduras elaboradas y la de los elementos de pretensado.

El control del hormigón se efectuará aplicando los criterios del Artículo 57.

El control de las armaduras elaboradas se efectuará aplicando los criterios del Artículo 59.

Para realizar las citadas comprobaciones, la dirección facultativa, podrá emplear cualquiera de los siguientes procedimientos:

- la revisión de los registros documentales en los que la persona responsable en la instalación de prefabricación debe reflejar los controles efectuados para la recepción, así como sus resultados,
- la comprobación de los procedimientos de recepción, mediante su inspección en la propia instalación industrial,
- en el caso de elementos prefabricados que no estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, mediante la realización de ensayos sobre muestras tomadas en la propia instalación de prefabricación, todo ello sin perjuicio de los ensayos cuya realización disponga la dirección facultativa.

### **62.5.3 Comprobaciones experimentales durante el suministro**

El control experimental de los elementos prefabricados incluirá la comprobación de la conformidad de los productos empleados, la de los propios procesos de prefabricación y la de sus dimensiones geométricas.

Además, se comprobará que los elementos llevan un código o marca de identificación que, junto con la documentación de suministro, permite conocer el fabricante, el lote y la fecha de fabricación de forma que se pueda, en su caso,

comprobar la trazabilidad de los productos empleados para la prefabricación de cada elemento.

#### **62.5.3.1 Posible exención de las comprobaciones experimentales**

En el caso de elementos prefabricados que dispongan de marcado CE, el responsable de la recepción deberá decidir aquellas comprobaciones que considere necesarias

Cuando aplique la comprobación experimental, en el caso de elementos prefabricados que estuvieran en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la dirección facultativa podrá eximir de la realización de cualquier comprobación experimental de las referidas en los apartados 62.5.3.3 y 62.5.3.4.

#### **62.5.3.2 Lotes para la comprobación de la conformidad de los elementos prefabricados**

En el caso de elementos normalizados, se define como lote la cantidad de elementos de la misma tipología, que forma parte de la misma remesa y procedentes del mismo fabricante.

En el caso elementos prefabricados específicamente para la obra según un proyecto concreto, se define como lote la totalidad de los elementos de la misma remesa y procedentes del mismo fabricante.

#### **62.5.3.3 Comprobación experimental de los procesos de prefabricación**

Esta comprobación se efectuará, al menos, una vez durante la obra y comprenderá tanto la revisión del control de producción del prefabricador como la realización de comprobaciones específicas sobre cada proceso, llevadas a cabo por una entidad de control de calidad.

En el caso de elementos normalizados, la dirección facultativa podrá limitar esta comprobación a la revisión del control de producción, que deberá efectuarse sobre los registros de autocontrol correspondientes al período de tiempo durante el que se hayan fabricado los elementos suministrados a la obra.

Para los productos que no dispongan de marcado CE, ni distintivo de calidad oficialmente reconocido, la comprobación experimental de los procesos se efectuará de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Proceso de elaboración de las armaduras pasivas:

Se efectuarán comprobaciones de la conformidad de las armaduras con el proyecto, de acuerdo con los criterios establecidos en el Artículo 59.

b) Proceso de montaje de las armaduras pasivas:

Antes de su colocación en el molde, se comprobará que la ferralla elaborada, una vez armada, se corresponde con lo indicado en el proyecto, tanto en lo relativo a sus dimensiones geométricas, secciones de acero y longitudes de solape.

Una vez colocadas sobre el molde, se comprobará que han dispuesto separadores de acuerdo con lo indicado en el apartado 49.8.2 que sus dimensiones permiten garantizar los correspondientes recubrimientos mínimos establecidos en el apartado 44.3.

Se efectuarán comprobaciones sobre una muestra de, al menos, cinco unidades de armadura y se aceptará la conformidad del proceso cuando en la totalidad de las muestras se obtengan diámetros de acero que se correspondan con lo establecido en el proyecto y, además, del resto de las comprobaciones se obtengan desviaciones respecto de los valores nominales menores que las tolerancias establecidas en el Anejo 14 para la clase correspondiente al coeficiente parcial de seguridad empleado en el proyecto.

c) Proceso de aplicación del pretensado:

El proceso de aplicación del pretensado se comprobará, al menos una vez, aplicando los criterios establecidos en el Artículo 61. Se efectuarán las correspondientes comprobaciones antes del tesado, antes del hormigonado y, en caso, antes de la inyección.

Se aceptará la conformidad del proceso cuando no se advierta ninguna desviación respecto a los criterios establecidos en el Artículo 61.

d) Procesos de fabricación del hormigón, vertido, compactación y curado:

En el caso de que el hormigón sea fabricado por el prefabricador, sus procesos de fabricación deberán cumplir los mismos criterios técnicos que los exigidos para las centrales de hormigón por este Código salvo en los requisitos referentes al transporte. Además, su vertido, compactación y curado deberán ser conformes con los criterios establecidos, con carácter general, por este Código.

Para ello, se efectuará, al menos una vez durante la obra, una inspección para comprobar la conformidad con la que se desarrollan dichos procesos.

#### **62.5.3.4 Comprobación experimental de la geometría de los elementos prefabricados**

En el caso de elementos prefabricados sin marcado CE ni distintivo de calidad oficialmente reconocido, para cada lote definido en el apartado 62.5.3.2, se seleccionará una muestra formada por un número suficientemente representativo de elementos, de acuerdo con la tabla 62.5.3.4, que preferiblemente sean pertenecientes a diferentes formas y tipologías. Se comprobará que las dimensiones geométricas de cada elemento presentan unas variaciones dimensionales respecto a las dimensiones nominales de proyecto, conformes con las tolerancias definidas en el Anejo 14 para la clase correspondiente al coeficiente parcial de seguridad empleado en el proyecto.

Tabla 66.5.3.4. Número mínimo de elementos prefabricados controlados por lote

Tipo de elemento suministrado	Número mínimo elementos controlados en cada partida
Elementos tipo pilotes, viguetas, bloques...	10
Elementos tipo losas, paneles, pilares, jácenas...	3
Elementos de grandes dimensiones tipo artesas, cajones...	1

En el caso de que se produjera un incumplimiento se desechará el elemento sobre el que se ha obtenido el mismo y se procederá a una nueva toma de muestras que, si resultara positiva, permitirá la aceptación del lote. En caso contrario, la dirección facultativa requerirá del suministrador una justificación técnica de que la pieza cumple los requisitos exigibles, conforme a este Código de acuerdo con lo expuesto en el punto 4.h) del Anejo 14.

#### **62.5.3.5 Certificado del suministro**

Al finalizar el suministro de los elementos prefabricados, el constructor facilitará a la dirección facultativa un certificado de los mismos, elaborado por el suministrador de los elementos prefabricados y firmado por persona física, cuyo contenido será conforme a lo establecido en el Anejo 4.

En el caso de que un mismo suministrador de elementos prefabricados efectuara varios suministros durante el mismo mes, se podrá aceptar un único certificado que incluya la totalidad de los elementos suministrados durante el mes de referencia.

# **Capítulo 14**

## **Gestión de la calidad de la ejecución de estructuras de hormigón**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 63</b>	<b>PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE EJECUCIÓN EN LAS ESTRUCTURAS DE</b>	
<b>HORMIGÓN</b>	.....	<b>3</b>
63.1	LOTES DE EJECUCIÓN .....	3
63.2	UNIDADES DE INSPECCIÓN.....	4
<b>ARTÍCULO 64</b>	<b>COMPROBACIONES PREVIAS AL COMIENZO DE LA EJECUCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>ARTÍCULO 65</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS DE EJECUCIÓN PREVIOS A LA COLOCACIÓN DE LA</b>	
<b>ARMADURA</b>	.....	<b>8</b>
65.1	CONTROL DEL REPLANTEO DE LA ESTRUCTURA .....	8
65.2	CONTROL DE LAS CIMENTACIONES .....	9
65.3	CONTROL DE LAS CIMBRAS Y APUNTALAMIENTOS .....	9
65.4	CONTROL DE LOS ENCOFRADOS Y MOLDES .....	9
<b>ARTÍCULO 66</b>	<b>CONTROL DEL PROCESO DE MONTAJE DE LAS ARMADURAS PASIVAS.....</b>	<b>10</b>
<b>ARTÍCULO 67</b>	<b>CONTROL DE LAS OPERACIONES DE PRETENSADO.....</b>	<b>12</b>
67.1	CONTROL DEL TESADO DE LAS ARMADURAS ACTIVAS.....	12
67.2	CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE LA INYECCIÓN .....	14
<b>ARTÍCULO 68</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS DE HORMIGONADO .....</b>	<b>15</b>
<b>ARTÍCULO 69</b>	<b>CONTROL DE PROCESOS POSTERIORES AL HORMIGONADO .....</b>	<b>15</b>
<b>ARTÍCULO 70</b>	<b>CONTROL DEL MONTAJE Y UNIONES DE ELEMENTOS PREFABRICADOS .....</b>	<b>16</b>
<b>ARTÍCULO 71</b>	<b>CONTROL DEL ELEMENTO CONSTRUIDO.....</b>	<b>16</b>
<b>ARTÍCULO 72</b>	<b>CONTROLES DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE ENSAYOS DE INFORMACIÓN</b>	
<b>COMPLEMENTARIA</b>	.....	<b>16</b>
72.1	GENERALIDADES .....	16
72.2	PRUEBAS DE CARGA .....	17
72.3	OTROS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	17
<b>ARTÍCULO 73</b>	<b>CONTROL DE ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES .....</b>	<b>17</b>

## Artículo 63 Programación del control de ejecución en las estructuras de hormigón

La organización del control de la ejecución de las estructuras de hormigón deberá seguir los criterios establecidos en el Capítulo 5 y, en particular, la programación del control de la ejecución deberá respetar los criterios establecidos en el Artículo 22.

El control de la ejecución estará ligado al nivel de control de la ejecución (acorde con lo definido en el apartado 22.4.1 y a la clase de ejecución (acorde con lo definido en el apartado 22.4.2).

El control de ejecución deberá adaptarse a las características de la obra y a los medios disponibles en la misma, por lo que la dirección facultativa, por iniciativa propia o a propuesta del constructor, podrá autorizar valores diferentes a los recogidos en este artículo.

### 63.1 Lotes de ejecución

El Programa de control aprobado por la dirección facultativa contemplará una división de la obra en lotes de ejecución, coherentes con el desarrollo previsto en el plan de obra para la ejecución de la misma y conformes con los siguientes criterios:

- a) se corresponderán con partes sucesivas en el proceso de ejecución de la obra,
- b) no se mezclarán elementos de tipología estructural distinta, que pertenezcan a filas diferentes en la tabla 63.1,
- c) el tamaño del lote no será superior al indicado, en función del tipo de elementos, en la tabla 63.1.

Tabla 63.1. Tamaño máximo de los lotes de ejecución

Tipo de elemento	Nº de elementos o dimensión
Cimentaciones en edificación, depósitos, chimeneas o torres	- Elementos de cimentación correspondientes a 250 m <sup>2</sup> de superficie, sin rebasar 10 elementos.
Cimentaciones de puentes	- 1 elemento de cimentación (zapata )
Vigas, forjados y otros elementos trabajando a flexión en edificación, depósitos, chimeneas o torres	- 250 m <sup>2</sup> de superficie construida - 2 plantas - 50 m de muro de contención
Alzados de depósitos, chimeneas o torres	- 500 m <sup>2</sup> de superficie de depósito - 10 m de altura
Losa superior o inferior en marcos	- totalidad del elemento (losa superior o losa inferior) - 250 m <sup>2</sup>

Tipo de elemento	Nº de elementos o dimensión
Pilares y muros portantes de edificación	- 250 m <sup>2</sup> de superficie construida - 2 plantas - 50 m de muro
Alzados de pilas, estribos en puentes o muros en obras de ingeniería civil, contruidos con encofrado convencional	- 1 pila / 1 estribo - 1 hastial, en el caso de marcos - 50 m de muro - 10 m de altura - 250 m <sup>2</sup>
Pilas u otros elementos, construidas por trepado	- 1 trepa
Pilas u otros elementos construidas por deslizado	- 1 jornada
Tableros en general ejecutados in situ	- 1 vano - 1 jornada de hormigonado - 500 m <sup>2</sup>
Losas in situ de tableros con elementos prefabricados y mixtos	- 1 vano - 1 jornada de hormigonado - 500 m <sup>2</sup>
Tableros contruidos por fases (o dovelas)	- 1 fase (o dovela)

En el caso de otros elementos diferentes de los indicados en la tabla 63.1, el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto establecerá los criterios necesarios para definir el tamaño máximo del lote de ejecución.

### 63.2 Unidades de inspección

A los efectos de este Código, se entiende por unidad de inspección el conjunto de actividades asociadas a un determinado proceso de ejecución, cuyo tamaño máximo viene definido por lo indicado en la tabla 63.2 y que puede implicar a diferentes lotes de ejecución.

Para cada lote de ejecución, el programa de control identificará cada uno de los procesos de ejecución que deben llevarse a cabo en función del tipo de elemento y sus características.

Para cada lote de ejecución y para cada uno de los procesos, el programa de control definirá las unidades de inspección sobre las que se desarrollará el control de la conformidad de la ejecución.

En función de los desarrollos de procesos y actividades previstos en el plan de obra, en cada inspección a la obra desarrollada por el constructor, por la dirección facultativa o, en su caso, por la entidad de control, podrá comprobarse un determinado número de unidades de inspección, las cuales, pueden corresponder a uno o más lotes de ejecución.

Para la definición de las posibles unidades de inspección en cada lote de ejecución, el programa de control identificará la totalidad de los procesos y actividades susceptibles de ser inspeccionadas, de acuerdo con lo previsto en este Código.

Las unidades de inspección se definirán en función del proceso de ejecución o actividad, o del tipo de elemento al que corresponden, según se indica en las tablas 63.2.a y 63.2.b.

Tabla 63.2.a Unidades de inspección en función del proceso de ejecución o actividad

Proceso de ejecución	Tamaño máximo de la unidad de inspección
Control de la gestión de acopios	- Acopio correspondiente a cada material, forma de suministro, fabricante y partida que se emplean en cada lote de ejecución <sup>(*)</sup>
Replanteos	- replanteos correspondientes a un 20% de cada planta o nivel a ejecutar en el caso de edificación, - replanteos de cada uno de los elementos (cimentaciones, alzados de pilas, alzados de estribos, tableros, etc.), en el caso de puentes
Cimbrado	- 3000 m <sup>3</sup> de cimbra
Despiece de planos de armaduras diseñadas según proyecto	- Planillas correspondientes a una remesa de armaduras.
Elaboración de las armaduras, mediante atado o soldadura no resistente (incluyendo procesos de enderezado, corte, doblado y armado,, en su caso)	- Conjunto de armaduras elaboradas en 1/4 de jornada <sup>(**)</sup>
Descimbrado	- 3.000 m <sup>3</sup> de cimbra
Uniones de los prefabricados	- Uniones ejecutadas para cada elemento prefabricado

(\*) Un mismo acopio de material, procedente del mismo suministro, fabricante y partida o remesa, puede ser destinado a diferentes elementos estructurales o a diferentes lotes de ejecución, en función de su tamaño y de acuerdo con el plan de obra. Por lo tanto, la gestión de un acopio concreto puede formar parte de diferentes lotes de ejecución y, consecuentemente, de diferentes unidades de inspección. Al programarse el control de ejecución, se evitará considerar la inspección repetida del mismo acopio para la

## CÓDIGO ESTRUCTURAL

### Capítulo 14. Gestión de la calidad de la ejecución de estructuras de hormigón

aceptación de distintos lotes de ejecución, procurando en la medida de lo posible que el conjunto de las inspecciones tenga la mayor representatividad posible de la obra.

(\*\*) Se deben inspeccionar 4 unidades de elaboración de armadura en una jornada laboral.

Tabla 63.2.b Unidades de inspección en función del tipo de elemento

Tipo de elemento	Procesos de ejecución						
	Encofrado	Montaje de armaduras pasivas	Operaciones de pretensado	Vertido y compactación	Desencofrado	Curado	Acabado
Elementos de cimentación con volúmenes inferiores a los 350 m <sup>3</sup>	Encofrado de cada elemento de cimentación	Armadura de cada elemento de cimentación	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón de cada elemento de cimentación	Desencofrado de cada elemento de cimentación	Curado del hormigón de cada elemento de cimentación	No aplica
Elementos de cimentación con volúmenes superiores a los 350 m <sup>3</sup>	Encofrado de cada elemento de cimentación	Armadura montada en media jornada	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón procedente de cinco amasadas	Desencofrado de cada elemento de cimentación	Curado correspondiente a cada una de las juntas de hormigonado o a la superficie final del elemento	No aplica

Tabla 63.2.b (cont.) Unidades de inspección en función del tipo de elemento

Tipo de elemento	Procesos de ejecución						
	Encofrado	Montaje de armaduras pasivas	Operaciones de pretensado	Vertido y compactación	Desencofrado	Curado	Acabado
Alzados de pilares, y muros en edificación	- Encofrado de cada pilar  - Encofrado de 5m de muro, en su caso	- Armadura de cada pilar  - Armadura correspondiente a 5m de muro, en su caso	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	- Hormigón correspondiente a cada pilar  - Hormigón correspondiente a 5m de muro, en su caso	- Desencofrado de cada pilar  - Desencofrado de 5m de muro, en su caso	- Curado de la superficie de cada pilar  - Curado correspondiente a 5m de muro, en su caso	- Superficie de cada pilar  - Superficie de cada 5m de muro, en su caso
Alzados de pilas, estribos y muros en el caso de puentes	- Encofrado de cada alzado de pilas o estribos  - Encofrado de 5 m de muro, en su caso	- Armadura de cada pila o estribo  - Armadura correspondiente a 5m de muro	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	- Hormigón de cada pila o estribo, con un máximo de cinco amasadas  - Hormigón correspondiente a 5 m de muro , en su caso	- Desencofrado de cada alzado de pilas o estribos  - Desencofrado de 5m de muro, en su caso	- Curado de la superficie de cada pila o estribo  - Curado correspondiente a 5m de muro, en su caso	- Superficie de cada pila o estribo  - Superficie de cada 5m de muro, en su caso
Pila hormigonada con encofrados trepantes	Unidad de encofrado colocado en cada trepa,	Armadura correspondiente a cada trepa	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón destinado a cada trepa	- Desencofrado de cada trepa	Superficie de cada trepa	Superficie de cada trepa
Pila hormigonada con encofrados deslizantes	Unidad de encofrado deslizante, operando durante el tiempo necesario para tres ciclos de hormigonado, con una duración mínima de 2 horas.	Armadura montada durante media jornada	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón destinado a ser colocado cada dos horas	No aplica	Superficie que aparece al deslizar cada dos horas	Superficie que aparece al deslizar cada jornada
Vigas, forjados y otros elementos trabajando a flexión en edificación  Losa superior e inferior de marcos	Encofrado de cada elemento	Armadura de cada elemento	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón de cada elemento	Desencofrado de cada elemento	Curado de cada superficie	Superficie de cada elemento

Tableros en general	Superficie de hormigón, correspondiente a cada vano	Armadura montada durante media jornada	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón procedente de cinco amasadas	Superficie de hormigón, correspondiente a cada vano	Superficie de hormigón, no superior a 100 m <sup>2</sup>	Superficie de hormigón, correspondiente a cada vano
Tableros ejecutados por fases	Superficie de hormigón, correspondiente a la fase (unidad de inspección única)	Armadura correspondiente a cada una de las fases	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón procedente de cinco amasadas	Superficie de hormigón, correspondiente a la fase (unidad de inspección única)	Superficie de hormigón, no superior a 100 m <sup>2</sup>	Superficie de hormigón, correspondiente a la fase (unidad de inspección única)
Tableros ejecutados por dovelas	Superficie de hormigón, correspondiente a la dovela (unidad de inspección única)	Armadura correspondiente a cada una de las dovelas	Montaje, tesado e inyección (en su caso) de cada una de las unidades de pretensado	Hormigón procedente de tres amasadas	Superficie de hormigón, correspondiente a la dovela (unidad de inspección única)	Superficie de hormigón, correspondiente a la dovela (unidad de inspección única)	Superficie de hormigón, correspondiente a la dovela (unidad de inspección única)

Una vez definidos los lotes de ejecución y las unidades de inspección, se debe definir para cada unidad de inspección las frecuencias de comprobación. De forma orientativa, el Anejo 15 define las frecuencias de comprobación para las unidades de inspección de la ejecución de estructuras de hormigón.

## Artículo 64 Comprobaciones previas al comienzo de la ejecución

Antes del inicio de la ejecución de cada parte de la obra, la dirección facultativa deberá constatar que existe un programa de control para los productos y para la ejecución, que haya sido redactado específicamente para la obra, conforme a lo indicado en el proyecto y en este Código.

Cualquier incumplimiento de los requisitos previos establecidos, provocará el aplazamiento del inicio de la obra hasta que la dirección facultativa constatare documentalmente que se ha subsanado la causa que dio origen al citado incumplimiento.

## Artículo 65 Control de los procesos de ejecución previos a la colocación de la armadura

### 65.1 Control del replanteo de la estructura

Se comprobará que los ejes de los elementos, las cotas y la geometría de las secciones presentan unas posiciones y magnitudes dimensionales cuyas desviaciones respecto al proyecto son conformes con las tolerancias indicadas en el Anejo 14, para los coeficientes parciales de los materiales adoptados en el cálculo de la estructura.

#### **65.2 Control de las cimentaciones**

En el caso de cimentaciones superficiales, deberán efectuarse al menos las siguientes comprobaciones:

- comprobar que en el caso de zapatas colindantes a medianerías, se han adoptado las precauciones adecuadas para evitar daños a las estructuras existentes,
- comprobar que la compactación del terreno sobre el que apoyará la zapata, es conforme con lo establecido en el proyecto,
- comprobar, en su caso, que se han adoptado las medidas oportunas para la eliminación del agua, y
- comprobar, en su caso, que se ha vertido el hormigón de limpieza para que su espesor sea el definido en el proyecto.

#### **65.3 Control de las cimbras y apuntalamientos**

Durante la ejecución de la cimbra, deberá comprobarse la correspondencia de la misma con los planos de su proyecto, con especial atención a los elementos de arriostramiento y a los sistemas de apoyo. Se efectuará también sendas revisiones del montaje y desmontaje, comprobando que se cumple lo establecido en el correspondiente procedimiento escrito.

En general, se comprobará que la totalidad de los procesos de montaje y desmontaje, y en su caso el de recimbrado o reapuntalamiento, se efectúan conforme a lo establecido en el correspondiente proyecto.

La dirección facultativa solicitará, comprobará y adjuntará a la documentación de la obra el certificado indicado en el apartado 48.2, que debe facilitarle el constructor.

En el caso de que se utilice, en conformidad con el apartado 48.2, un sistema de elementos sustentantes que esté en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, conforme al Artículo 18, se seguirán las indicaciones contenidas en el expediente técnico de aplicación, en lo referente a instrucciones para el montaje y, en su caso, de manipulación o manejo en la obra de los elementos sustentantes correspondientes, así como de los planos de montaje de los mismos. En este caso la dirección facultativa podrá eximir al constructor de las comprobaciones y revisiones anteriormente indicadas, siempre que éste presente la documentación del distintivo oficialmente reconocido que posee el sistema de elementos sustentantes empleado y acredite que el mismo está vigente durante todo el periodo de su utilización en la obra.

#### **65.4 Control de los encofrados y moldes**

Previamente al vertido del hormigón, se comprobará que la geometría de las secciones es conforme con lo establecido en el proyecto, aceptando la misma siempre que se encuentre dentro de las tolerancias establecidas en el proyecto o, en su defecto, por el Anejo 14. Además se comprobarán los aspectos indicados en el apartado 48.3.

En el caso de encofrados o moldes en los que se dispongan elementos de vibración exterior, se comprobará previamente su ubicación y funcionamiento,

aceptándose cuando no sea previsible la aparición de problemas una vez vertido el hormigón.

Previamente al hormigonado, deberá comprobarse que las superficies interiores de los moldes y encofrados están limpias y que se ha aplicado, en su caso, el correspondiente producto desencofrante.

En el caso de que se utilice, en conformidad con el artículo 48.3, un sistema de encofrados (superficie encofrante y estructura resistente de la misma) que esté en posesión de un distintivo oficialmente reconocido, conforme al Artículo 18, se seguirán las indicaciones contenidas en el expediente técnico de aplicación, en lo referente a instrucciones para el montaje y, en su caso, de manipulación o manejo en la obra de los encofrados correspondiente, así como de los planos de montaje de los mismos. En este caso la dirección facultativa podrá eximir al constructor de las comprobaciones y revisiones anteriormente indicadas, siempre que éste presente la documentación del distintivo oficialmente reconocido que posee el sistema de encofrados empleado y acredite que el mismo está vigente durante todo el periodo de su utilización en la obra.

### **Artículo 66 Control del proceso de montaje de las armaduras pasivas**

El proceso de ferralla no comenzará hasta que la dirección facultativa haya aceptado:

- los planos de despiece previamente aprobados por el constructor
- la totalidad de la documentación aprobada por el constructor en relación con los procesos de fabricación de las armaduras, los productos empleados para su fabricación y el suministrador

En el caso de que se vayan a emplear procesos de soldadura, tanto en instalaciones como en obra, el control del constructor deberá comprobar:

- la cualificación del coordinador de soldeo, según la norma UNE-EN ISO 14731, tanto para soldadura no resistente como resistente
- la cualificación de los soldadores, según la norma UNE-EN 287-1, para soldadura resistente
- la cualificación del procedimiento de soldeo, tanto para soldadura no resistente como resistente, de acuerdo con los apartados 49.4.3.2 y 49.5.2.5, respectivamente

En el caso de empleo de dispositivos para el empalme mecánico, se recabará del constructor el correspondiente certificado, firmado por persona física, en el que se garantice su comportamiento mecánico.

Sobre el proceso de elaboración, armado y montaje de las armaduras pasivas el control del constructor efectuará, al menos, las verificaciones siguientes acordes con el Artículo 49:

- inexistencia de defectos superficiales o grietas
- diámetros de armaduras

- despieces
- atado y posicionamiento
- longitudes de anclaje y de empalme (solapo, soldadura resistente, empalmes mecánicos, ...)
- distancias libres entre barras

Antes del inicio del suministro a la obra de las armaduras desde la instalación de ferralla, se establecerá un punto de parada hasta que, una vez efectuado el control de contraste, la dirección facultativa haya aceptado la conformidad de:

- la armadura elaborada y la ferralla armada
- la cimbra, en su caso, a partir de la documentación aportada por el constructor de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 65.3.

Para verificar la conformidad del montaje, el control del constructor efectuará al menos las comprobaciones siguientes, de las cuales dejará constancia documental:

- separadores (material, tamaño, cantidad y distribución)
- recubrimientos (mínimos y máximos)
- tolerancias de acuerdo con lo establecido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto o el Anejo 14
- estado de oxidación de la armadura pasiva, con el límite establecido en el apartado 49.8.1.
- estado de limpieza y eliminación de suciedades

En el caso de que para facilitar el armado de la ferralla, por ejemplo, para garantizar la separación entre estribos (pre-armado), se hubieran empleado cualquier tipo de elemento auxiliar de acero, se comprobará que éstos presentan también un recubrimiento no inferior al mínimo

En ningún caso se aceptará la colocación de armaduras que presenten menos sección de acero que las previstas en el proyecto, ni aun cuando ello sea como consecuencia de la acumulación de tolerancias con el mismo signo.

Antes de proceder al hormigonado, se establecerá un punto de parada hasta que la dirección facultativa haya aceptado el montaje de las armaduras pasivas.

En caso de emplearse soldaduras en la elaboración de armaduras pasivas, los criterios aplicables para su control, tanto en lo relativo a ensayos de producción como a las tareas de inspección, serán los recogidos en los capítulos 12 y 13 de la norma UNE-EN ISO 17660, partes 1 y 2, para soldaduras resistentes y no resistentes respectivamente. También será de aplicación el artículo 59 de este Código.

El control del constructor inspeccionará el 100% de las soldaduras resistentes realizadas, comprobando las longitudes y gargantas de los cordones, así como la distancia longitudinal entre cordones y la distancia a los codos, y el 50% de las soldaduras no resistentes. Deberán cumplirse las distancias definidas para cada soldadura en función de cada diámetro. El criterio de aceptación será el establecido

por la norma UNE-EN ISO 17660, en la parte que corresponda según se trate de soldadura resistente o no resistente.

Como criterio general, puede establecerse como valor indicativo que el control de contraste de la dirección facultativa comprobará un 20% de las soldaduras resistentes y un 10% de las no resistentes, de forma aleatoria y representativa.

## **Artículo 67 Control de las operaciones de pretensado**

### **67.1 Control del tesado de las armaduras activas**

El control de contraste de la dirección de facultativa comprobará que los equipos y sistemas para la aplicación del pretensado cumplen los requisitos establecidos en el apartado 50.1.2 de este Código.

Todas las comprobaciones realizadas tanto por el control del constructor como por control de contraste de la dirección facultativa deberán quedar documentadas mediante impresos firmados por persona física.

A continuación se describen los criterios de control y frecuencias de comprobación aplicables a cada uno de los procesos siguientes:

#### a) Replanteo de anclajes, trompetas y vainas

El constructor llevará a cabo un control del 100% de los puntos de replanteo de vainas y elementos de anclaje. En particular, se comprobará que no existen puntos angulosos, especialmente en la unión entre trompeta y vaina, y que se respetan los parámetros especificados en relación con:

- longitudes mínimas de tramos rectos detrás de los anclajes
- radios de curvatura en función del tipo de vaina
- distancias entre puntos de fijación de las vainas
- tolerancias del trazado
- recubrimientos y separación entre vainas

El control de contraste de la dirección facultativa comprobará, al menos, los siguientes puntos:

- situación del 100% de las trompetas y verificación de la alineación entre éstas y las vainas,
- 100% de los puntos altos y puntos bajos del trazado,
- un punto intermedio entre cada punto alto y cada punto bajo en el 50% de las vainas.

El constructor verificará que la armadura y posición de las barras correspondientes a los refuerzos en anclajes y otros puntos singulares del trazado son acordes con la definición de los planos de proyecto en el 100% de estas zonas.

El control de contraste de la dirección facultativa verificará que la cuantía y posición de las armaduras de refuerzo es acorde a la definición de los planos en el 50% de dichas zonas.

b) Sellado de juntas y verificación del estado de las vainas

Antes del hormigonado, tanto el control del constructor como el control de contraste, llevarán a cabo inspecciones visuales independientes, a lo largo de toda la longitud de las vainas para comprobar que los posibles deterioros de éstas (aplastamientos o perforaciones) se sitúan dentro de las tolerancias establecidas, y que todos los puntos de empalme de vainas y uniones entre trompetas y vainas se encuentran debidamente sellados.

c) Enfilado y corte de cordones

Se verificará que, siempre que sea posible, se hayan enfilado los cordones antes del hormigonado. Así mismo deberán respetarse las sobrelongitudes mínimas de los tendones establecidas en la Evaluación Técnica Europea (ETE), para cada tipo de anclaje, al objeto de permitir su agarre en el arrastre del cilindro de tesado.

Estas verificaciones se realizarán en el 100% de los tendones, tanto por el control del constructor como por el control de contraste.

d) Tesado

Se controlará que los procesos de tesado se lleven a cabo de acuerdo con lo especificado en el apartado 50.3.

Antes del inicio del tesado se verificará que:

- todos los elementos que forman las unidades de pretensado cumplen lo indicado en el proyecto
- los tendones deslizan libremente en sus conductos o vainas, en el caso de armaduras postesas
- la resistencia del hormigón ha alcanzado, como mínimo, el valor indicado en el proyecto para la transferencia de la fuerza de pretensado al hormigón. Para ello se efectuarán los ensayos de control de la resistencia a compresión del hormigón establecida en el programa de tesado, siguiendo los procedimientos del Artículo 57.

El control de la magnitud de la fuerza de pretensado introducida se realizará, de acuerdo con lo prescrito en el apartado 50.3, midiendo simultáneamente el esfuerzo ejercido por el gato y el correspondiente alargamiento experimentado por la armadura.

Para dejar constancia de este control, los valores de las lecturas registradas con los oportunos aparatos de medida utilizados se anotarán en la correspondiente tabla de tesado.

En las primeras diez operaciones de tesado que se realicen en cada obra y con cada equipo o sistema de pretensado, se harán las mediciones precisas para conocer, cuando corresponda, la magnitud de los movimientos originados por la penetración de cuñas u otros fenómenos, con el objeto de poder efectuar las adecuadas correcciones en los valores de los esfuerzos o alargamientos que deben anotarse.

El control del tesado de las armaduras activas será efectuado por el constructor y por el control de contraste en el 100% de las unidades de pretensado.

### **67.2 Control de la ejecución de la inyección**

Las condiciones que habrá de cumplir la ejecución de la operación de inyección serán las indicadas en el apartado 50.4.

Se controlará el plazo de tiempo transcurrido entre la terminación de la primera etapa de tesado y la realización de la inyección.

El constructor hará, cada jornada, los siguientes controles:

- del tiempo de amasado,
- de la relación agua/cemento,
- de la cantidad de aditivo utilizada,
- de la viscosidad, con el cono, en el momento de iniciar la inyección,
- de la viscosidad a la salida de la lechada por el último tubo de purga,
- de que ha salido todo el aire del interior de la vaina antes de cerrar sucesivamente los distintos tubos de purga,
- de la presión de inyección,
- de fugas,
- del registro de temperatura ambiente máxima y mínima las jornadas que se realicen inyecciones y en las dos jornadas sucesivas, especialmente en tiempo frío.

Cada diez jornadas en que se efectúen operaciones de inyección y no menos de una vez, el constructor realizarán los siguientes ensayos:

- de la resistencia de la lechada o mortero mediante la toma de 3 probetas para romper a 28 días,
- de la exudación y reducción de volumen, de acuerdo con el apartado 37.4.2.2.

El control de contraste verificará que el constructor realiza estos controles.

En el caso de sistemas de pretensado en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, la dirección facultativa podrá eximir de cualquier comprobación experimental del control de la inyección.

Una vez inyectadas las vainas, tanto el constructor como la dirección facultativa llevarán a cabo sendas inspecciones visuales, que deben ser independientes, de las protecciones ejecutadas en los anclajes del pretensado. Se efectuarán transcurridos 7 días desde el final del curado para comprobar que todos los anclajes se encuentran adecuadamente protegidos y que no existe fisuración no controlada en el mortero empleado.

## **Artículo 68 Control de los procesos de hormigonado**

El constructor comprobará, antes del inicio del suministro del hormigón, dejando constancia documental de ello, que:

- se dan las circunstancias para efectuar correctamente su vertido de acuerdo con lo indicado en este Código. Asimismo, comprobará que se dispone de los medios adecuados para la puesta en obra, compactación y curado del hormigón.
- en el caso de temperaturas extremas, según el apartado 52.3, comprobará que se han tomado las precauciones allí recogidas.

La dirección facultativa verificará que el constructor realiza dichas comprobaciones.

Durante el hormigonado, el constructor y la dirección facultativa comprobarán que no se forman juntas frías entre diferentes tongadas y que se evita la segregación durante la colocación del hormigón.

El constructor y la dirección facultativa comprobarán que el curado se desarrolla adecuadamente durante, al menos el período de tiempo indicado en el proyecto o, en su defecto, el indicado en este Código.

## **Artículo 69 Control de procesos posteriores al hormigonado**

Una vez desencofrado el hormigón, se comprobará la ausencia de defectos significativos en la superficie del hormigón. Si se detectaran coqueras, nidos de grava u otros defectos que, por sus características pudieran considerarse inadmisibles en relación con lo exigido, en su caso, por el proyecto, la dirección facultativa valorará la conveniencia de proceder a la reparación de los defectos y, en su caso, el revestimiento de las superficies.

En el caso de que el proyecto hubiera establecido alguna prescripción específica sobre el aspecto del hormigón y sus acabados (color, textura, etc.), estas características deberán ser sometidas al control, una vez desencofrado o desmoldado el elemento y en las condiciones que establezca el correspondiente pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

Además, el constructor y la dirección facultativa comprobarán que el descimbrado se efectúa de acuerdo con el plan previsto en el proyecto y verificando que se han alcanzado, en su caso, las condiciones mecánicas que pudieran haberse establecido para el hormigón.

### **69.1 Control de los trabajos de protección, reparación y refuerzo**

En los trabajos de protección, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón se deberá controlar que estas tareas se realicen conforme a las especificaciones del plan de control del proyecto. Para ello, el programa de control de la ejecución definirá los parámetros a controlar, los ensayos pertinentes, la frecuencia de realización y los criterios de aceptación.

## **Artículo 70 Control del montaje y uniones de elementos prefabricados**

Antes del inicio del montaje de los elementos prefabricados, el constructor efectuará las siguientes comprobaciones, dejando constancia documental de ello:

- a) los elementos prefabricados son conformes con las especificaciones del proyecto y se encuentran, en su caso, adecuadamente acopiados, sin presentar daños aparentes,
- b) se dispone de unos planos que definen suficientemente el proceso de montaje de los elementos prefabricados, así como las posibles medidas adicionales (arriostramientos provisionales, etc.)
- c) se dispone de un programa de ejecución que define con claridad la secuencia de montaje de los elementos prefabricados, y
- d) se dispone, en su caso, de los medios humanos y materiales requeridos para el montaje.

La dirección facultativa verificará que el constructor realice dichas verificaciones y revisará la documentación aportada.

Durante el montaje, el constructor y la dirección facultativa comprobarán que se cumple la totalidad de las indicaciones del proyecto. Se prestará especial atención al mantenimiento de las dimensiones y condiciones de ejecución de los apoyos, enlaces y uniones.

## **Artículo 71 Control del elemento construido**

Una vez finalizada la ejecución de cada fase de la estructura, el constructor efectuará una inspección del mismo, dejando constancia documental, al objeto de comprobar que se cumplen las especificaciones dimensionales del proyecto.

La dirección facultativa verificará la documentación aportada por el constructor.

## **Artículo 72 Controles de la estructura mediante ensayos de información complementaria**

### **72.1 Generalidades**

De las estructuras proyectadas y construidas con arreglo al presente Código, en las que los materiales y la ejecución hayan alcanzado la calidad prevista, comprobada mediante los controles preceptivos, sólo necesitan someterse a ensayos de

información y en particular a pruebas de carga, las incluidas en los supuestos que se relacionan a continuación:

- a) cuando así lo dispongan las instrucciones, reglamentos específicos de un tipo de estructura o el pliego de prescripciones técnicas particulares;
- b) cuando debido al carácter particular de la estructura convenga comprobar que la misma reúne ciertas condiciones específicas. En este caso el pliego de prescripciones técnicas particulares establecerá los ensayos oportunos que deben realizar, indicando con toda precisión la forma de realizarlos y el modo de interpretar los resultados;
- c) cuando a juicio de la dirección facultativa existan dudas razonables sobre la seguridad, funcionalidad o durabilidad de la estructura.

#### **72.2 Pruebas de carga**

Además de las pruebas de carga que puedan ser preceptivas en aplicación de la reglamentación vigente que sea de aplicación, la dirección facultativa podrá disponer la realización de pruebas de carga adicionales, según lo indicado en el apartado 23.2, siempre que se hayan presentado no conformidades en las operaciones normales de control de la conformidad de la estructura y, en particular, cuando se hayan presentado no conformidades relativas a los productos o a los procesos de ejecución en obra que puedan ser relevantes para la seguridad de la estructura durante su vida de servicio.

#### **72.3 Otros ensayos no destructivos**

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

### **Artículo 73 Control de aspectos medioambientales**

La dirección facultativa velará para que se observen las condiciones específicas de carácter medioambiental que, en su caso, haya definido el proyecto para la ejecución de la estructura.

En el caso de que la propiedad hubiera establecido exigencias relativas a la contribución de la estructura a la sostenibilidad, de conformidad con el Capítulo 2, la dirección facultativa deberá comprobar durante la fase de ejecución que, con los medios y procedimientos reales empleados en la misma, se satisfacen las condiciones indicadas en el proyecto.

# **Capítulo 15**

## **Gestión de las estructuras de hormigón durante su vida de servicio**

## Contenidos del capítulo

<b>74.</b>	<b>EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE HORMIGÓN .....</b>	<b>3</b>
74.1	OBJETO Y PLANTEAMIENTO .....	3
74.2	PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS DE CONSTRUCCIONES EXISTENTES DE HORMIGÓN .....	3
74.3	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	4
74.4	ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	5
<b>75.</b>	<b>CRITERIOS GENERALES PARA LA REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....</b>	<b>5</b>
75.1	CONTEXTO GENERAL Y OBJETO.....	5
75.2	CLASIFICACIÓN DE LOS DETERIOROS Y DAÑOS OBJETO DE REPARACIÓN .....	5
75.3	PROYECTO DE REPARACIÓN .....	5
75.3.1	<i>Catálogo de daños y mapa de daños .....</i>	<i>6</i>
75.3.2	<i>Catálogo de soluciones de reparación.....</i>	<i>6</i>
75.4	PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO .....	7
<b>76.</b>	<b>CRITERIOS GENERALES PARA EL REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.....</b>	<b>7</b>
76.1	CONTEXTO GENERAL Y OBJETO.....	7
76.2	CLASIFICACIÓN DE LOS REFUERZOS ESTRUCTURALES EN PIEZAS DE HORMIGÓN .....	7
76.3	PROCEDIMIENTOS DE REFUERZO DE PIEZAS DE HORMIGÓN .....	8
76.3.1	<i>Refuerzo sin alterar la sección de la pieza.....</i>	<i>8</i>
76.3.2	<i>Refuerzo aplicado a la sección de la pieza .....</i>	<i>8</i>
76.4	PROYECTO DE REFUERZO .....	8
76.5	PLAN DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO .....	9

## **Artículo 74. Evaluación de estructuras existentes de hormigón**

### **74.1 Objeto y planteamiento**

La evaluación de estructuras existentes de hormigón persigue el objetivo de cuantificar los niveles de seguridad y funcionalidad de las estructuras y estimar la vida útil residual. Eso permite también identificar las zonas más sensibles o de mayores riesgos y, consiguientemente, orientar las actuaciones de reparación y refuerzo a las que se refieren los Artículos 75 y 76 siguientes.

En paralelo con el formato de proyecto y comprobación de estructuras de nueva planta, se mantiene, para la evaluación de estructuras existentes de hormigón, el marco de los Estados Límite.

La comprobación de los Estados Límites de Servicio (ELS) no precisa, salvo que se plantee un cambio de uso, de evaluación analítica, puesto que puede deducirse de los resultados del conjunto de inspecciones que se haya llevado a cabo en la estructura (rutinarias, principales y, en su caso, especiales).

Por lo tanto, la evaluación de las estructuras existentes de hormigón se ciñe al ámbito de los Estados Límite Últimos (ELU). La satisfacción de cualquiera de los estados límite últimos obedece a la comprobación de la inecuación

$$E_d \leq R_d$$

como en el proyecto de obra nueva. En caso contrario, salvo que se plantee otro criterio de análisis estructural deberá plantearse una intervención de refuerzo o, en su caso, de limitación de cargas o, incluso, de sustitución de la estructura.

Por su parte, la determinación de la vida útil residual de una estructura de hormigón consistirá en deducir el período de tiempo, desde el instante de la evaluación, en el que la estructura o alguna de sus partes tarda en alcanzar alguno de los ELS o ELU identificados ya en la fase de proyecto o bien en el instante de evaluación. Los umbrales de aceptación, tanto en ELS como en ELU, están implícitos en las bases de proyecto y, en su caso, en el Programa de Inspección y Mantenimiento, como se explicita en el Capítulo 6.

### **74.2 Principios básicos del análisis de construcciones existentes de hormigón**

Dado que la modificación, reparación y el refuerzo de una estructura existente puede resultar muy costosa, cabe plantearse la alternativa, no tan frecuente en la fase de proyecto de obra nueva, de utilizar criterios y procedimientos más sofisticados, manteniéndose una lógica proporcionalidad entre la ingeniería asociada a estos refinamientos, el coste previsible y los beneficios esperables.

Para el análisis de construcciones existentes de hormigón, como señala el Artículo 25, es posible utilizar tanto un formato semi-probabilista con coeficientes parciales modificados, como un planteamiento probabilista.

El procedimiento de análisis estructural en estado límite último para la deducción de esfuerzos puede ser realizado a partir de modelos que se basan en el comportamiento elástico lineal de los materiales, en la teoría de la plasticidad (también denominado “análisis límite”) o procedimientos de análisis no lineal, como los que se plantea en el capítulo 5 de los Anejos 19 y 21. En todo caso, cualquiera de los análisis estructurales mencionados, deberán incluir los deterioros o daños detectados en la estructura. Este planteamiento responderá al criterio clásico de comprobación planteado en la ecuación.

La comprobación estructural de elementos sometidos a esfuerzos que provocan tensiones tangenciales, como esfuerzo cortante, rasante, torsión, punzonamiento, etcétera, puede ser también llevada a efecto con modelos más generales, además de los clásicamente conocidos de bielas y tirantes.

Los aspectos particulares correspondientes a detalles como, anclajes y empalmes de barras, así como tendones de pretensado, podrán basarse en los planteamientos análogos a los considerados para obra nueva, debiéndose comprobar que se corresponden con las bases en las que se sustentan dichos modelos.

### **74.3 Propiedades de los materiales**

Las propiedades de los materiales admiten tres niveles de definición:

- a) Valores tomados de la documentación del proyecto (resultados de los ensayos de control, valores definidos en los planos y en las bases de cálculo, resultados de ensayo posteriores en el contexto de inspecciones especiales realizadas, etc.).
- b) Valores deducidos de una campaña de ensayos no destructivos (ultrasonidos, etc.) para el hormigón y la identificación de la armadura (tipo, límite elástico, diámetro y distribución) mediante la realización de catas adecuadamente planificadas y ejecutadas.
- c) Extracción de probetas y ensayos en laboratorio, tanto del hormigón como de barras de acero.

El alcance de la investigación necesaria para caracterizar los materiales dependerá de la respuesta obtenida en el análisis previo, del tipo de mecanismo de fallo previsible y de lo determinante que resulte la caracterización del material en la capacidad portante general de la estructura o la pieza.

Será necesario asimismo considerar eventuales modificaciones a los valores de la resistencia del hormigón para tener en cuenta aspectos como la función del hormigón en el mecanismo resistente, esto es, si pertenece a un cordón comprimido, al alma de una pieza sometida a tensiones tangenciales o a una situación de estados múltiples de tensión, tal y como se establece en el Artículo 45.

Los cambios en el comportamiento de la estructura debidos al deterioro se deberían incorporar en los modelos teniendo en cuenta la forma en la que el deterioro influye en las variables asociadas.

## 74.4 Análisis estructural

Los criterios y procedimientos de análisis estructural responderán a los principios establecidos en el Capítulo 10.

## Artículo 75. Criterios generales para la reparación de estructuras de hormigón

### 75.1 Contexto general y objeto

El proyecto de reparación debe ser el resultado de un trabajo previo de estudio de la información disponible, de un análisis adecuado de evaluación estructural y de vida útil residual y, por tanto, de un diagnóstico preciso, que dictamine la causa o causas que explican los daños observados y que, eventualmente, condicionan su nivel de seguridad y vida útil residual.

Consiguientemente, la definición de cualquier tipo de reparación exige la detección previa de los tipos de deterioros presentes, la comprensión de los mecanismos que han dado lugar a cada deterioro o daño y las actuaciones correspondientes, incluyendo la prognosis de durabilidad de las mismas, aspecto asociado a la vida útil adicional que exija la propiedad.

El objeto de este artículo es presentar la sistemática que debe seguirse para proyectar y ejecutar la reparación de elementos estructurales de hormigón.

### 75.2 Clasificación de los deterioros y daños objeto de reparación

A los efectos de las estructuras existentes, los deterioros objeto de reparación se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Deterioros y daños producidos por los procesos de degradación del propio hormigón: acciones mecánicas, físico-ambientales, químicas, etc.
- b) Deterioros producidos por la corrosión de las armaduras, fundamentalmente asociados a la carbonatación del hormigón o a la presencia de cloruros.

### 75.3 Proyecto de reparación

Para la redacción del proyecto de reparación, se seguirá el siguiente procedimiento:

1. **Inspección especial previa** que, con carácter general, se habrá realizado antes de concluir en la necesidad de acometer un proyecto de reparación, como prevé el Artículo 24.
2. Elaboración de un **mapa de daños o deterioros**, como resultado de la inspección especial, asociado a un **catálogo de daños o deterioros** preparado desde la perspectiva de la solución de reparación y no tanto desde la etiología de los deterioros o daños. Dicho mapa representará, sobre planos, la ubicación y la identificación de los diferentes tipos de daño, con referencia explícita al catálogo de daños.

3. Formulación de un **catálogo de soluciones** que describa, para cada uno de los daños y deterioros identificados en ese catálogo, la solución prevista para su reparación.

En función de los criterios de vida útil adicional que se desee otorgar a la estructura de hormigón, de la importancia del elemento objeto de reparación, de su accesibilidad o de otras consideraciones (estéticas, históricas o patrimoniales), la propiedad convendrá con el proyectista si las soluciones de reparación tienen carácter

- activo o preventivo, asociado a la idea de impedir el deterioro, en lo sucesivo, del elemento en cuestión, lo que implica estrategias de protección con elementos de sacrificio o con sistemas de tan lento deterioro que, en la práctica, su degradación sea irrelevante; o
- pasivo, asociado a la idea de que, al cabo de un cierto tiempo, será necesario de nuevo proceder a una reparación, cuando se haya agotado la vida útil adicional conferida tras la reparación.

En el proyecto de reparación, los planos podrán incluir una síntesis del método de reparación propuesto por el proyectista. El pliego de condiciones técnicas particulares contendrá la identificación de las unidades correspondientes, las especificaciones de los materiales, la forma de ejecución y la definición de la forma de medición y abono.

#### **75.3.1 Catálogo de daños y mapa de daños**

Con el fin de identificar de manera inequívoca el estado de la estructura, el proyecto de reparación contendrá un catálogo de daños que, orientado a la elaboración del mapa de daños, incluirá:

- una denominación abreviada (un código corto de letras y números) para que se pueda incorporar al mapa de daños;
- una descripción sucinta pero suficiente del deterioro o daño objeto de reparación;
- unas fotografías o croquis suficientemente descriptivos del deterioro o daño correspondiente; y
- una identificación de la causa o causas que han producido estos deterioros o daños, aunque tengan orígenes diferentes pero manifestaciones similares y, sobre todo, se traten con la misma solución terapéutica.

El mapa de daños deberá incluir asimismo las referencias suficientes como para realizar la medición correspondiente y, en función de la posición de la zona objeto de reparación y de su accesibilidad, elaborar el correspondiente presupuesto.

#### **75.3.2 Catálogo de soluciones de reparación**

El proyecto contendrá una definición pormenorizada de los procedimientos de reparación de los elementos de hormigón estructural afectados por todos y cada uno de los daños y deterioros tipificados en el catálogo de daños y localizado en el correspondiente mapa de daños.

En el Artículo 40 se recogen los sistemas de reparación de estrategia de hormigón.

### **75.4 Plan de inspección y mantenimiento**

En consonancia con los principios establecidos en el Artículo 24, el proyecto de reparación contendrá, como el de obra nueva, un Plan de Inspección y Mantenimiento con los contenidos referidos a las actuaciones de reparación emprendidas, con mención específica a:

- la vida útil prevista para la estructura reparada;
- la frecuencia deseable de las inspecciones de seguimiento de la estructura reparada;
- los criterios de inspección específicos que, en su caso, deban seguir los inspectores;
- las actuaciones de mantenimiento ordinario o especializado que, en su caso, deban realizarse.

De manera igualmente similar al caso de proyecto de obra nueva, una vez concluidos los trabajos, la dirección facultativa será responsable de la redacción de la actualización del plan de mantenimiento incluido en el proyecto de reparación. Dicho plan se entregará a la propiedad para la gestión de la conservación de la obra.

## **Artículo 76. Criterios generales para el refuerzo de estructuras de hormigón**

### **76.1 Contexto general y objeto**

Las actuaciones de refuerzo de estructuras de hormigón comparten con las de reparación la necesidad de haber desarrollado un trabajo previo de estudio de la información disponible, de un análisis adecuado de evaluación estructural y de vida útil residual y, por tanto, del punto de partida, en términos de prestaciones y vida útil residual, para el correcto planteamiento del alcance y procedimiento de refuerzo.

El objeto de este artículo es establecer la sistemática que debe seguirse a la hora de proyectar y ejecutar el refuerzo de elementos estructurales de hormigón.

### **76.2 Clasificación de los refuerzos estructurales en piezas de hormigón**

A los efectos de las estructuras existentes, los trabajos de refuerzo que cabe emprender se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Incremento de la capacidad de carga sin modificación de las secciones del elemento estructural.
- b) Incremento de la capacidad resistente de la sección o de la pieza.

#### **76.3 Procedimientos de refuerzo de piezas de hormigón**

A partir de la clasificación realizada en el apartado 76.2, se plantean los dos procedimientos siguientes de refuerzo de estructuras existentes de hormigón.

La valoración estructural de todos los estados posibles, el inicial, los de las fases constructivas y el final requieren de un pormenorizado estudio, normalmente más complejo que el de las estructuras de nueva ejecución, que incorpora la necesidad de modelizar adecuadamente nuevos materiales y procesos constructivos o estados de sollicitación que es preciso considerar cuidadosamente.

##### **76.3.1 Refuerzo sin alterar la sección de la pieza**

Es una estrategia que afecta al esquema estático global de la estructura y conduce a disminuir las sollicitaciones del elemento afectado. Ello puede lograrse, por ejemplo, disminuyendo la carga muerta o sustituyéndola por soluciones ligeras, disponiendo apoyos intermedios en los vanos, o bien haciendo uso del pretensado exterior.

Esta forma de proceder obliga al proyectista a identificar los modos de fallo previsible, distintos, en general, de los correspondientes al esquema estático de partida, y a justificar la idoneidad de la solución, tanto en ELS como en ELU.

##### **76.3.2 Refuerzo aplicado a la sección de la pieza**

Se suele materializar con recrecidos de hormigón o micro-hormigón, con chapas o perfiles de acero, conectadas mecánicamente o adheridas. También pertenecen a este grupo las actuaciones de refuerzo con materiales compuestos.

También esta solución exige la identificación de los modos de fallo previsible y sus correspondientes implicaciones en ELS y ELU, tanto en los materiales originales, en los materiales y dispositivos añadidos o en su conexión.

Para la elección de procedimiento más idóneo de refuerzo, se deberán tener en cuenta aspectos como:

- La entrada en carga y los mecanismos de transferencia.
- Confinamiento del hormigón existente y el correspondiente incremento de sus prestaciones resistentes y de deformabilidad.
- La historia de cargas previa y la derivada del proceso constructivo.
- Otros condicionantes de ejecución.

#### **76.4 Proyecto de refuerzo**

La redacción de los proyectos de refuerzo seguirá, como criterio general, el siguiente orden, coherente con los principios establecidos en este Código Estructural:

1. **Inspección especial previa** que, con carácter general, se habrá realizado antes de concluir en la necesidad de acometer un proyecto de refuerzo, como prevé el Artículo 24. Especialmente importante en este punto es valorar el nivel de seguridad, porque de éste depende el alcance y magnitud del refuerzo.

2. **Estudio de alternativas** de refuerzo, con el fin de disponer de distintas posibilidades de refuerzo, con sus ventajas e inconvenientes, incluidas las fases de construcción y de mantenimiento posterior.
3. **Redacción**, propiamente dicha, **de los documentos del proyecto**, cuyo carácter es ya relativamente convencional.

#### **76.5 Plan de inspección y mantenimiento**

En consonancia con los principios establecidos en el Artículo 24, el proyecto de refuerzo contendrá, como el de obra nueva, un Plan de Inspección y Mantenimiento con los contenidos referidos a las actuaciones de refuerzo emprendidas, con mención específica a:

- la vida útil adicional prevista para la estructura reforzada en su conjunto y la de sus elementos parciales, en su caso;
- la frecuencia deseable de las inspecciones de seguimiento de la estructura reforzada;
- la necesidad, eventualmente, de disponer un sistema de auscultación de seguimiento;
- los criterios de inspección específicos que, en su caso, deban seguir los inspectores;
- las actuaciones de mantenimiento ordinario o especializado que, en su caso, deban realizarse.

De manera igualmente similar al caso de proyecto de obra nueva, una vez concluidos los trabajos, la dirección facultativa será responsable de la redacción de un Programa de Inspección y mantenimiento que complete o actualice las previsiones del Plan de Inspección y mantenimiento incluido en el proyecto de reparación. Dicho Programa se entregará a la propiedad para la gestión de la conservación de la obra.

# **Capítulo 16**

## **Demolición y deconstrucción de estructuras de hormigón**

## Contenidos del capítulo

<b>ARTÍCULO 77. DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.....</b>	<b>3</b>
77.1 GENERALIDADES.....	3
77.2 TRABAJOS PREVIOS A LA DEMOLICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN .....	3
77.3 PROCESO DE DEMOLICIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	4
<b>ARTÍCULO 78. DECONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....</b>	<b>5</b>
78.1 GENERALIDADES.....	5
78.2 MEDIDAS ADICIONALES PARA LA DECONSTRUCCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	6

## **Artículo 77 Demolición de estructuras de hormigón**

### **77.1 Generalidades**

A los efectos de este Código se entiende por demolición de una estructura de hormigón el conjunto de procesos de desmontaje o desmantelamiento de la estructura, en su totalidad o de una parte de misma, por decisión de la propiedad y como consecuencia de la finalización de su vida de servicio.

La propiedad será responsable de disponer de un proyecto específico para las actividades de demolición incluidas en este artículo, siempre que se den cualquiera de las siguientes circunstancias:

- se trate de la demolición de una estructura como consecuencia de un accidente, incendio o sismo;
- se trate de la demolición de una estructura que incluya elementos a flexión con luces de más de 10 m, o con elementos verticales a compresión con alturas entre niveles superiores a 10 m;
- en cualquier caso, cuando se trate de estructura de hormigón pretensado; y
- en cualquier caso, cuando se vaya a emplear explosivos.

Sin perjuicio de lo establecido en la legislación vigente que sea de aplicación, la demolición deberá ser objeto de un proyecto específico por parte de técnicos competentes con suficientes conocimientos estructurales, de forma que se garantice la seguridad durante los procesos de ejecución de la misma.

Se deberá cuidar especialmente la seguridad del personal involucrado en las tareas de demolición, especialmente en el caso de elementos estructurales que puedan ser especialmente frágiles (como por ejemplo, puede ser el caso de algunas cubiertas), o cuando la intervención sobre la estructura sea consecuencia de una circunstancia que haya podido disminuir especialmente su nivel de seguridad (como por ejemplo, un incendio, un sismo, etc.).

El manual de mantenimiento de la estructura entregado por el autor del proyecto a la propiedad deberá recoger aquellos criterios relacionados con la tipología y solución estructural adoptada que requieran, en su caso, de consideraciones especiales en el momento de su demolición.

### **77.2 Trabajos previos a la demolición de la estructura de hormigón**

Antes del inicio de los trabajos de demolición de la estructura, la propiedad deberá disponer la realización de una inspección in situ de la estructura, al objeto de valorar:

- su estado actual, identificando en su caso los puntos en los que la demolición deberá plantearse con mayor cuidado para evitar riesgos que puedan conllevar accidentes durante la demolición,
- valoración de la posible afección a otras construcciones adyacentes, e

- identificación de posibles servicios públicos afectados por la demolición.

La propiedad deberá facilitar al proyectista los planos y la documentación disponible, en su caso, tanto de la estructura como del resto de la construcción.

A partir de la información disponible y de la inspección realizada, se elaborará el proyecto de demolición que deberá contemplar, entre otros, los siguientes aspectos:

- descripción de la estructura e identificación de las características del resto de la construcción, en su caso (por ejemplo, del edificio), con especial detalle de su esquema estructural resistente y de los materiales existentes,
- identificación de los servicios públicos que potencialmente pudieran verse afectados por la demolición,
- identificación de potenciales productos tóxicos o peligrosos para la salud generados durante la demolición, tales como asbestos, polvo de fibras sintéticas minerales, polvo de plomo, etc., así como la definición de procedimientos de gestión de dichos residuos, en su caso,
- evaluación de los riesgos de afección a las construcciones adyacentes y, en su caso, medidas para evitarlos,
- definición de la secuencia de demolición prevista para la estructura,
- definición de los medios previstos para demolición de cada parte,
- definición de los sistemas necesarios, en su caso, para garantizar la estabilidad del conjunto durante la demolición como, por ejemplo, apuntalamientos, apoyos provisionales, etc.,
- memoria y cálculos de las comprobaciones estructurales realizadas, en su caso,
- medidas de protección específicas tanto para el personal involucrado en las tareas de demolición, como para terceras personas que pudieran verse afectadas por la misma,
- sistema previsto para la gestión de los residuos generados durante la demolición.

### **77.3 Proceso de demolición de la estructura**

Todas las actividades de demolición estructural deberán realizarse conforme al proyecto y estar encaminadas a:

- a) preservar la seguridad del personal, evitando situaciones imprevistas que puedan afectar a la seguridad, y
- b) gestionar los residuos producidos de la manera más eficiente posible.

Dado que la demolición de una estructura puede comportar, en función del procedimiento elegido, diferentes riesgos para personas y bienes, será necesario hacer, complementariamente a lo establecido en la legislación sectorial, un estudio pormenorizado de dichos riesgos y de las medidas para combatirlos. Por tal motivo, previamente al inicio de la demolición, el constructor deberá presentar a la propiedad

el correspondiente estudio de seguridad y salud del personal involucrado en las actividades de demolición, que contemple las medidas específicas a tener en cuenta a la vista de las particularidades de la estructura y de las consideraciones del proyecto.

En general, el constructor podrá utilizar cualquiera de los métodos recogidos como aceptables en el proyecto de demolición. Entre ellos, cabe destacar los siguientes:

- técnicas manuales,
- técnicas de percusión (por ejemplo, martillo neumático),
- técnicas de impacto (por ejemplo, bola de demolición),
- técnicas de abrasión (por ejemplo, chorro de agua a alta presión),
- uso de maquinaria pesada (por ejemplo, retroexcavadoras, pinzas de demolición, etc.),
- uso de explosivos, etc.

Asimismo, previamente al inicio de la propia demolición de la estructura se valorará la conveniencia de realizar otra serie de tareas de desmantelamiento de la construcción que, sin afectar a la estructura, pudieran provocar accidentes durante la demolición como, por ejemplo, desmontaje de vidrios en ventanas de edificios, desmontaje de celosías de cubierta, etc.

En el caso de uso de explosivos para la demolición, se estará a lo dispuesto en la legislación vigente que sea de aplicación.

Se procurará evitar situaciones provisionales como consecuencia de demoliciones parciales que pudieran llegar a comprometer el comportamiento global de la estructura, por ejemplo, en caso de sismo. Asimismo, en dichos casos de demolición parcial, deberá asegurarse que no quedan afectadas aquellas partes de la estructura que no sean objeto de demolición, protegiéndolas adecuadamente, si ello fuera necesario.

## **Artículo 78 Deconstrucción de estructuras de hormigón**

### **78.1 Generalidades**

Se entiende por deconstrucción de la estructura de hormigón al proceso ordenado de demolición de la estructura, de acuerdo con el correspondiente proyecto y con la finalidad de optimizar la reutilización de los propios elementos estructurales, en su caso, así como la separación, recogida selectiva y reciclado de los residuos generados.

Con carácter general serán de aplicación en estos casos, las prescripciones establecidas en el Artículo 77 para la demolición de las estructuras, si bien en este caso será necesario adoptar algunas medidas adicionales encaminadas a posibilitar la reutilización de los elementos y el reciclado de los materiales, según el caso, de acuerdo con lo indicado en el apartado 78.2.

## **78.2 Medidas adicionales para la deconstrucción de las estructuras de hormigón**

En el caso de deconstrucción de estructuras, el proyecto deberá contemplar medidas específicas orientadas a optimizar la reutilización y reciclado de la estructura existente. Para ello, además de lo indicado en el apartado 77.2, deberá incluir al menos los siguientes aspectos adicionales:

- identificación de los elementos estructurales potencialmente reutilizables,
- identificación de los residuos generados por la demolición,
- elaboración de un plan de gestión de los residuos generados por la demolición, orientado al reciclado de los mismos.

La ejecución de la deconstrucción de la estructura deberá llevarse a cabo por un constructor que esté en posesión de una certificación medioambiental de conformidad con la norma UNE-EN ISO 14001.