

## I. DISPOSICIONES GENERALES

### MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA, RELACIONES CON LAS CORTES Y MEMORIA DEMOCRÁTICA

**13681** *Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural.*

Las estructuras constituyen un elemento fundamental para conseguir la necesaria seguridad de las construcciones que en ellas se sustentan, tanto de edificación como de ingeniería civil, y, en consecuencia, la de los usuarios que las utilizan.

Entre los diferentes materiales que se emplean en su construcción, el hormigón y el acero son los más habituales, por lo que el proyecto y la construcción de estructuras tanto de hormigón, como de acero y mixtas (de hormigón y acero) cobra una especial relevancia en orden a la consecución de dicha seguridad.

La Instrucción de hormigón estructural (EHE-08), aprobada por Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, ha venido constituyendo, desde su entrada en vigor, el marco en el que se establecen los requisitos a tener en cuenta en el proyecto y ejecución de estructuras de hormigón, tanto de edificación como de ingeniería civil, con el objeto de lograr los niveles de seguridad adecuados a su finalidad.

Asimismo, la Instrucción de Acero Estructural (EAE), aprobada por Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, constituye el marco reglamentario por el que se establecen las exigencias que deben cumplir las estructuras de acero para satisfacer los requisitos de seguridad estructural y seguridad en caso de incendio, además de la protección del medio ambiente, proporcionando procedimientos que permiten demostrar su cumplimiento con suficientes garantías técnicas. Estas exigencias deben cumplirse en el proyecto y la construcción de las estructuras de acero, así como en su mantenimiento.

Sin embargo, no existe marco reglamentario para el proyecto y ejecución de estructuras mixtas de hormigón y acero.

El nuevo Código Estructural que se aprueba es de carácter eminentemente técnico y adopta un enfoque prestacional, en línea con el empleado en otras instrucciones y códigos, como el Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, o las Instrucciones EHE-08 y EAE que quedan derogadas mediante la aprobación de este real decreto, lo que permite no limitar la gama de posibles soluciones y fomenta el uso de nuevos productos y técnicas innovadoras. En el Código se establecen y cuantifican unas exigencias de forma que puedan ser objeto de comprobación y cuyo cumplimiento acredita la satisfacción de los requisitos exigibles a las estructuras, y en especial el relativo a la seguridad.

La presente norma responde a la necesidad de actualizar la reglamentación vigente relativa a las estructuras de hormigón y a las estructuras de acero, de acuerdo a las novedades de carácter técnico y reglamentario que afectan al contenido de dicha reglamentación, así como incluir una nueva reglamentación para las estructuras mixtas de hormigón y acero.

En el Código Estructural se regulan las cuestiones relativas a bases de proyecto y análisis estructural, así como a los requisitos técnicos exigibles a los materiales componentes, a la durabilidad y vida útil de las estructuras, a la acción de incendio, al control y la ejecución de las estructuras, actualizando las Instrucciones EHE-08 y EAE que se derogan, conforme a las citadas novedades de carácter técnico y reglamentario. Además, los principales aspectos incluidos en la nueva norma son:

a) Regular las siguientes materias que no regula la reglamentación actual:

1. La gestión de las estructuras existentes durante su vida útil, que actualmente quedan fuera del ámbito de aplicación de las Instrucciones de hormigón y acero.

2. Los sistemas de protección, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón.
3. Las estructuras realizadas con acero inoxidable.
4. Las estructuras mixtas de hormigón y acero.

b) Modificar las menciones a la Directiva 89/106/CEE del Consejo, de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción, que se contenían en la reglamentación vigente, sustituyéndolas por el Reglamento (UE) n.º 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo, cuya principal novedad es que desaparece el concepto de idoneidad al uso de los productos con marcado CE, y se sustituye por la presunción de veracidad de la expresión de los valores de las prestaciones de las características de los productos amparados por dicho marcado.

c) Evaluar la sostenibilidad de las estructuras considerando las características prestacionales, ambientales, sociales y económicas que aportan los agentes que participan en su proyecto y ejecución.

d) Establecer recomendaciones para la utilización del hormigón proyectado estructural.

e) Incorporar los aspectos más relevantes de la normativa europea para el cálculo de las estructuras, de acuerdo a los procedimientos establecidos en los Eurocódigos Estructurales.

Dado el carácter marcadamente técnico del contenido del Código Estructural, se adopta un real decreto para su aprobación, de conformidad con lo establecido en el fundamento jurídico 2.º de la Sentencia del Tribunal Constitucional 131/1996, de 11 de julio, donde se señala que se permite que, en ciertas circunstancias, se pueda regular por real decreto aspectos básicos de una determinada materia por cuanto que la ley formal no es el instrumento idóneo para regular exhaustivamente todos los aspectos básicos de la materia debido al «carácter marcadamente técnico» de los mismos.

Este real decreto se adecúa a los principios de necesidad, eficacia, proporcionalidad, seguridad jurídica, transparencia, y eficiencia establecidos en el artículo 129 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

Cumple con los principios de necesidad y eficacia, ya que la aplicación del nuevo Código Estructural representa, respecto a las reglamentaciones anteriores, una clarificación de los requisitos exigibles a las estructuras de hormigón y de acero, además de incluir por primera vez los correspondientes a las estructuras mixtas de hormigón y acero. El proyecto no distorsiona la competencia en el mercado, sino que la favorece al regular aspectos no recogidos en la reglamentación actual. Es acorde también con el principio de proporcionalidad, ya que la norma contiene la regulación imprescindible para atender la necesidad descrita anteriormente, sin que existan otras medidas menos restrictivas de derechos o que impongan menos obligaciones a los destinatarios, y con el principio de seguridad jurídica dada su integración en el ordenamiento jurídico, con plena coherencia con la reglamentación nacional y europea vigente. Asimismo, cumple con el principio de transparencia, dado que se han cumplido todos los trámites de información indicados en la Ley 50/1997, de 27 de noviembre, del Gobierno, y se ha divulgado en el portal de transparencia del Gobierno de España. Por último, es coherente con el principio de eficiencia, siendo una norma que no supone un incremento de cargas administrativas ni un incremento de gasto público.

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en la regla 13.ª del artículo 149.1 de la Constitución, que atribuye al Estado la competencia en materia de bases y coordinación de la planificación general de la actividad económica.

En la tramitación de este real decreto se han cumplido los trámites establecidos en la Ley 50/1997, de 27 de noviembre, del Gobierno, y en la Directiva (UE) 2015/1535 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de septiembre de 2015, por la que se establece un procedimiento de información en materia de reglamentaciones técnicas y de reglas relativas a

los servicios de la sociedad de la información, así como en el Real Decreto 1337/1999, de 31 de julio, por el que se regula la remisión de información en materia de normas y reglamentaciones técnicas y reglamentos relativos a los servicios de la sociedad de la información.

Este real decreto se adopta a iniciativa de la Comisión Permanente del Hormigón y de la Comisión Interministerial Permanente de Estructuras de Acero.

En su virtud, a propuesta del Ministro de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y de la Ministra de Industria, Comercio y Turismo, y previa deliberación del Consejo de Ministros en su reunión del día 29 de junio de 2021,

#### DISPONGO:

Artículo único. Aprobación del Código Estructural.

Se aprueba el Código Estructural, que se inserta a continuación.

Disposición adicional primera. *Normativa de prevención de riesgos laborales.*

En lo relativo a los aspectos de prevención de riesgos laborales que deben tenerse en cuenta en el contenido del proyecto, en la ejecución de las estructuras y elementos estructurales de hormigón, de acero o mixtas de hormigón y acero, y en los trabajos de mantenimiento de la estructura y en su demolición o deconstrucción, se estará a lo dispuesto en la normativa específica de seguridad y salud sobre la materia y, en particular, a lo establecido en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, en el marco de lo dispuesto en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

Disposición adicional segunda. *Sector público.*

En los proyectos desarrollados para los órganos o entidades del sector público, como alternativa a las tres opciones previstas en el artículo 3 del Código Estructural para justificar que la estructura cumple las exigencias establecidas en dicho Código, se podrán adoptar soluciones técnicas de acuerdo con los procedimientos que contemplen los Eurocódigos estructurales, constituidos por las normas de la serie EN 1990 a 1999 que se refieran al ámbito de este Código y en la versión en vigor en el momento de aprobación de este Código, cuya aplicación puede considerarse un medio para demostrar el cumplimiento de las exigencias establecidas en el Código Estructural, respetando en cualquier caso su ámbito de aplicación. Cuando se publiquen actualizaciones de dichos Eurocódigos, podrán utilizarse una vez que sus correspondientes Anejos Nacionales estén publicados en la página web del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Además, se cumplirán las prescripciones recogidas en este Código relativas a los materiales, la durabilidad, la ejecución, el control de calidad y el mantenimiento de la estructura.

Disposición transitoria única. *Aplicación a proyectos y obras.*

Lo dispuesto en este real decreto no será de aplicación a los proyectos cuya orden de redacción o de estudio, en el ámbito de las Administraciones públicas, o encargo, en otros casos, se hubiese efectuado con anterioridad a su entrada en vigor, ni a las obras de ellos derivadas, siempre que estas se inicien en un plazo no superior a un año para las obras de edificación, ni de tres años para las de ingeniería civil, desde dicha entrada en vigor, salvo que por el correspondiente órgano competente, o en su caso por el promotor, se acordase acomodar el proyecto al contenido del «Código estructural».

Disposición derogatoria única. Derogación normativa.

1. Quedan derogados el Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08), y el Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE).

2. Asimismo, quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o inferior rango se opongan a lo dispuesto en este real decreto.

Disposición final primera. *Título competencial.*

Este real decreto se dicta al amparo de lo dispuesto en la regla 13.<sup>a</sup> del artículo 149.1 de la Constitución, que atribuye al Estado la competencia en materia de bases y coordinación de la planificación general de la actividad económica.

Disposición final segunda. *Desarrollo, ejecución y aplicación.*

El titular del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana dictará las disposiciones necesarias para el desarrollo, ejecución y aplicación de este real decreto.

Disposición final tercera. *Autorización para la actualización de la relación de normas del anejo 1.*

Se autoriza al titular del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana para actualizar la relación de normas referenciada en el anejo 1 del Código Estructural cuando dicha actualización tenga por objeto acomodar su contenido al progreso de la técnica o a la normativa comunitaria.

Disposición final cuarta. *Entrada en vigor.*

El presente real decreto entrará en vigor a los tres meses de su publicación en el «Boletín Oficial del Estado».

Dado en Madrid, el 29 de junio de 2021.

FELIPE R.

La Vicepresidenta Primera del Gobierno y Ministra de la Presidencia,  
Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática,  
CARMEN CALVO POYATO

## CÓDIGO ESTRUCTURAL

- Título 1. Bases generales.
  - Capítulo 1. Principios generales.
    - Artículo 1. Objeto.
    - Artículo 2. Ámbito de aplicación.
    - Artículo 3. Consideraciones generales.
    - Artículo 4. Condiciones generales.
      - 4.1 Condiciones administrativas.
      - 4.2 Condiciones técnicas para la conformidad con este Código.
        - 4.2.1 Condiciones técnicas de los productos, equipos y sistemas.
        - 4.2.2 Condiciones técnicas del proyecto.
        - 4.2.3 Condiciones técnicas de la ejecución.
    - Artículo 5. Requisitos de las estructuras.
      - 5.1 Requisitos.
        - 5.1.1 Vida útil.
      - 5.2 Exigencias.
        - 5.2.1 Exigencias relativas al requisito de seguridad y de funcionalidad estructural.
          - 5.2.1.1 Exigencia de resistencia y estabilidad.
          - 5.2.1.2 Exigencia de aptitud al servicio.
          - 5.2.1.3 Exigencia de robustez y redundancia.
          - 5.2.1.4 Exigencias relativas a la durabilidad.
        - 5.2.2 Exigencias relativas al requisito de seguridad en caso de incendio.
          - 5.2.2.1 Exigencia de resistencia de la estructura frente al fuego.
        - 5.2.3 Exigencias relativas al requisito de higiene, salud y medio ambiente.
          - 5.2.3.1 Exigencia de calidad medioambiental de la ejecución.
          - 5.2.3.2 Exigencia de reutilización y reciclabilidad.
  - Capítulo 2. Bases generales para la contribución de la estructura a la sostenibilidad.
    - Artículo 6. Contribución a la sostenibilidad.
      - 6.1 Introducción.
      - 6.2 Criterios generales.
      - 6.3 Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad.
      - 6.4 Estrategia para la sostenibilidad.
    - Artículo 7. Distintivo de Sostenibilidad Oficialmente Reconocido (DSOR).
      - 7.1 Procedimiento de reconocimiento oficial de distintivos de sostenibilidad.
      - 7.2 Distintivos de sostenibilidad concedidos por entidades de certificación en otros Estados.
  - Capítulo 3. Bases generales para el proyecto y criterios de seguridad.
    - Artículo 8. Criterios de seguridad.
      - 8.1 Bases generales para el proyecto y criterios de seguridad.
      - 8.2 Comprobación estructural mediante cálculo.
      - 8.3 Comprobación estructural mediante ensayos.

- Artículo 9. Situaciones de proyecto.
- Artículo 10. Método de los Estados Límite.
  - 10.1 Estados Límite y Estados Límite de Servicio.
  - 10.2 Cumplimiento de los Estados Límite durante la vida útil.
- Artículo 11. Bases para la comprobación de los Estados Límite asociados a la durabilidad.
  - 11.1 General.
  - 11.2 Identificación del tipo de ambiente.
  - 11.3 Estrategia de durabilidad.
    - 11.3.1 Criterios generales.
    - 11.3.2 Fases de la estrategia de durabilidad.
  - 11.4 Comprobación de los Estados Límite asociados a la durabilidad.
- Capítulo 4. Bases generales para la ejecución de las estructuras.
  - Artículo 12. Criterios generales para la ejecución de las estructuras.
  - Artículo 13. Adecuación del proceso constructivo al proyecto.
  - Artículo 14. Gestión de los procesos constructivos.
    - 14.1 Instalaciones ajenas a la obra.
    - 14.2 Gestión medioambiental de la ejecución.
    - 14.3 Nivel de control y clases de ejecución.
  - Artículo 15. Gestión de los acopios de materiales en obra.
  - Artículo 16. Actuaciones asociadas a la ejecución.
    - 16.1 Actuaciones previas al comienzo de la ejecución.
    - 16.2 Actuaciones durante el desarrollo de la ejecución.
- Capítulo 5. Bases generales para la gestión de la calidad de las estructuras.
  - Artículo 17. Criterios generales para la gestión de la calidad de las estructuras.
    - 17.1 Definiciones.
    - 17.2 Agentes del control de la calidad.
      - 17.2.1 Dirección facultativa.
      - 17.2.2 Laboratorios y entidades de control de calidad.
        - 17.2.2.1 Laboratorios de control.
        - 17.2.2.2 Entidades de control de calidad.
  - Artículo 18. Garantía de la conformidad de productos y procesos de ejecución, distintivos de calidad.
    - 18.1 Procedimiento de reconocimiento oficial de distintivos de calidad.
    - 18.2 Distintivos de calidad concedidos por entidades de certificación en otros Estados.
  - Artículo 19. Plan y programa de control.
  - Artículo 20. Control de la conformidad del proyecto.
  - Artículo 21. Control de la conformidad de los productos.
    - 21.1 Control documental de los suministros.
      - 21.1.1 Documentación del mercado CE.
    - 21.2 Control de recepción mediante ensayos.

Artículo 22. Control de la conformidad de los procesos de ejecución.

22.1 Control de la ejecución mediante comprobación del control de producción del constructor.

22.2 Control de la ejecución mediante inspección de los procesos.

22.3 Programación del control de ejecución.

22.4 Niveles de control de la ejecución.

Artículo 23. Control de la comprobación de la conformidad de la estructura terminada.

23.1 Documentación generada para la comprobación de la conformidad.

23.2 Pruebas de carga.

Capítulo 6. Bases generales para la gestión de las estructuras durante su fase de servicio.

Artículo 24. Criterios generales para el mantenimiento de las estructuras.

24.1 Definición de mantenimiento.

24.2 Estrategia de mantenimiento.

24.3 Plan de mantenimiento.

24.4 Plan de mantenimiento tras el fin de obra.

Artículo 25. Criterios generales para la evaluación de estructuras existentes.

25.1 Contexto general y objeto.

25.2 Ámbito de aplicación.

25.3 Fases del proceso de evaluación.

25.4 Niveles de análisis.

25.5 Evaluación cualitativa.

25.5.1 Capacidad portante.

25.5.2 Aptitud al servicio.

Título 2. Estructuras de hormigón.

Capítulo 7. Criterios generales para las estructuras de hormigón.

Artículo 26. Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras de hormigón.

Artículo 27. Criterios específicos para las estructuras de hormigón.

27.1 Clases de exposición de los elementos de hormigón.

27.2 Exigencias específicas de las estructuras de hormigón.

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

Artículo 28. Cementos.

Artículo 29. Agua.

Artículo 30. Áridos.

30.1 Generalidades.

30.2 Designación de los áridos.

30.3 Tamaños máximo y mínimo de un árido.

30.3.1 Limitaciones del árido grueso para la fabricación del hormigón.

30.4 Granulometría de los áridos.

30.4.1 Contenido de finos.

30.4.2 Calidad de los finos de los áridos.

- 30.5 Forma del árido grueso.
  - 30.6 Requisitos físico-mecánicos.
  - 30.7 Requisitos químicos.
    - 30.7.1 Cloruros.
    - 30.7.2 Sulfatos solubles en ácido.
    - 30.7.3 Compuestos totales de azufre.
    - 30.7.4 Materia orgánica. Compuestos que alteran la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón.
    - 30.7.5 Reactividad álcali-árido.
  - 30.8 Áridos reciclados.
    - 30.8.1 Generalidades.
    - 30.8.2 Designación de los áridos.
    - 30.8.3 Requisitos físico mecánicos.
      - 30.8.3.1 Condiciones físico-mecánicas.
    - 30.8.4 Requisitos de composición del árido reciclado.
      - 30.8.4.1 Reactividad álcali-árido.
  - 30.9 Áridos de escorias de horno alto enfriadas por aire.
- Artículo 31. Aditivos.
- 31.1 Generalidades.
  - 31.2 Tipos de aditivos.
- Artículo 32. Adiciones.
- 32.1 Prescripciones y ensayos de las cenizas volantes.
  - 32.2 Prescripciones y ensayos del humo de sílice.
- Artículo 33. Hormigones.
- 33.1 Composición.
  - 33.2 Condiciones de calidad.
  - 33.3 Características mecánicas.
  - 33.4 Valor mínimo de la resistencia.
  - 33.5 Docilidad del hormigón.
  - 33.6 Tipificación de los hormigones.
- Artículo 34. Aceros para armaduras pasivas.
- 34.1 Generalidades.
  - 34.2 Barras y rollos de acero soldable.
  - 34.3 Alambres de acero soldable.
  - 34.4 Barras, rollos y alambres de acero soldable inoxidable.
- Artículo 35. Armaduras pasivas.
- 35.1 Generalidades.
  - 35.2 Armaduras normalizadas.
    - 35.2.1 Mallas electrosoldadas.
    - 35.2.2 Armaduras básicas electrosoldadas en celosía.
  - 35.3 Ferralla armada.

Artículo 36. Aceros para armaduras activas.

- 36.1 Generalidades.
- 36.2 Características mecánicas.
- 36.3 Alambres de pretensado.
- 36.4 Barras de pretensado.
- 36.5 Cordones de pretensado.

Artículo 37. Armaduras activas.

- 37.1 Sistemas de pretensado.
- 37.2 Dispositivos de anclaje y empalme de las armaduras postesas.
  - 37.2.1 Características de los anclajes.
  - 37.2.2 Elementos de empalme.
- 37.3 Vainas y accesorios.
  - 37.3.1 Vainas.
  - 37.3.2 Tipos de vainas y criterios de selección.
  - 37.3.3 Accesorios.
- 37.4 Productos de inyección.
  - 37.4.1 Generalidades.
  - 37.4.2 Productos de inyección adherentes.
    - 37.4.2.1 Materiales componentes.
    - 37.4.2.2 Requisitos de los productos de inyección.
  - 37.4.3 Productos de inyección no adherentes.

Artículo 38. Piezas de entrevigado en forjados.

Artículo 39. Sistemas de protección para la mejora de la durabilidad.

- 39.1 Definiciones.
- 39.2 Generalidades.
- 39.3 Métodos de protección.
- 39.4 Sistemas de protección.
- 39.5 Productos de protección.
  - 39.5.1 Productos de protección del hormigón.
  - 39.5.2 Productos de protección de las armaduras.

Artículo 40. Sistemas de reparación de estructuras de hormigón.

- 40.1 Generalidades.
- 40.2 Métodos de reparación.
- 40.3 Sistemas de reparación.
- 40.4 Productos de reparación.
  - 40.4.1 Morteros de reparación.
  - 40.4.2 Productos de inyección.

Artículo 41. Sistemas de refuerzo de estructuras de hormigón.

- 41.1 Generalidades.
- 41.2 Métodos de refuerzo.
- 41.3 Sistemas de refuerzo.

41.4 Productos de refuerzo.

41.4.1 Polímeros reforzados con fibras.

41.4.1.1 Matrices.

41.4.1.2 Fibras.

41.4.2 Adhesivos.

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

42.1 Tipos de mortero.

42.2 Propiedades del mortero.

Capítulo 9. Durabilidad de las estructuras de hormigón.

Artículo 43. Estrategia de durabilidad en los elementos de hormigón.

43.1 Selección de la forma estructural.

43.2 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón.

43.2.1 Requisitos mínimos de dosificación del hormigón.

43.3 Medidas frente a agresividades específicas.

43.3.1 Protección de las armaduras frente a la corrosión.

43.3.1.1 Criterios generales.

43.3.1.2 Criterios adicionales de protección de las armaduras activas.

43.3.1.3 Sistemas de protección superficial del hormigón.

43.3.1.4 Productos inhibidores de la corrosión.

43.3.1.5 Armaduras pasivas de acero inoxidable.

43.3.1.6 Armaduras galvanizadas en caliente.

43.3.1.7 Sistemas de protección catódica.

43.3.2 Impermeabilidad del hormigón.

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

43.3.4 Resistencia frente al ataque químico.

43.3.4.1 Resistencia del hormigón frente al ataque por sulfatos.

43.3.4.2 Resistencia frente al ataque por agua de mar.

43.3.4.3 Prevención de la reactividad álcali-árido.

43.3.5 Resistencia del hormigón frente al ataque por erosión.

43.3.6 Influencia de la fisuración en la durabilidad.

43.4 Medidas específicas para la fase de ejecución.

43.4.1 Recubrimiento nominal.

43.4.2 Separadores.

43.4.3 Contacto entre armaduras de diferentes tipos.

43.5 Medidas específicas para la fase de uso.

Artículo 44. Consideraciones adicionales específicas en función de la clase de exposición.

44.1 Criterios generales.

44.2 Clases de exposición 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.

44.2.1.2 Armaduras activas postesas.

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

44.4 Clases de exposición XA. Ataque químico al hormigón.

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

Capítulo 10. Estructuras de hormigón. Dimensionamiento y comprobación.

Artículo 45. Comprobación y dimensionamiento de las estructuras de hormigón.

Artículo 46. Proyecto de estructuras de hormigón frente al fuego.

Artículo 47. Proyecto de estructuras de hormigón frente al sismo.

Capítulo 11. Ejecución de estructuras de hormigón.

Artículo 48. Procesos previos a la colocación de las armaduras.

48.1 Replanteo de la estructura.

48.2 Cimbras y apuntalamientos.

48.3 Encofrados y moldes.

48.4 Productos desencofrantes.

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

49.1 Suministro de productos de acero para armaduras pasivas.

49.1.1 Suministro del acero.

49.1.2 Suministro de las mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

49.2 Instalaciones de ferralla.

49.2.1 Generalidades.

49.2.2 Maquinaria.

49.2.3 Almacenamiento y gestión de los acopios.

49.2.4 Control de producción.

49.3 Criterios generales para los procesos de ferralla.

49.3.1 Despiece.

49.3.2 Enderezado.

49.3.3 Corte.

49.3.4 Doblado.

49.4 Armado de la ferralla.

49.4.1 Distancia entre barras de armaduras pasivas.

49.4.1.1 Barras aisladas.

49.4.1.2 Grupos de barras.

- 49.4.2 Operaciones de pre-armado.
  - 49.4.3 Operaciones de armado.
    - 49.4.3.1 Consideraciones generales sobre el armado.
    - 49.4.3.2 Consideraciones específicas sobre la soldadura no resistente.
  - 49.5 Criterios específicos para el anclaje y empalme de las armaduras.
    - 49.5.1 Anclaje de las armaduras pasivas.
      - 49.5.1.1 Generalidades.
      - 49.5.1.2 Anclaje de barras corrugadas.
      - 49.5.1.3 Reglas especiales para el caso de grupos de barras.
      - 49.5.1.4 Anclaje de mallas electrosoldadas.
    - 49.5.2 Empalme de las armaduras pasivas.
      - 49.5.2.1 Generalidades.
      - 49.5.2.2 Empalmes por solapo.
      - 49.5.2.3 Empalmes por solapo de grupos de barras.
      - 49.5.2.4 Empalmes por solapo de mallas electrosoldadas.
      - 49.5.2.5 Empalmes por soldadura resistente.
      - 49.5.2.6 Empalmes mecánicos.
  - 49.6 Suministro de ferralla (elaborada y armada).
  - 49.7 Transporte y almacenamiento.
  - 49.8 Montaje de las armaduras.
    - 49.8.1 Generalidades.
    - 49.8.2 Disposición de separadores.
- Artículo 50. Procesos de colocación y tesado de las armaduras activas.
- 50.1 Sistemas de aplicación del pretensado.
    - 50.1.1 Generalidades.
    - 50.1.2 Equipos para la aplicación del pretensado.
  - 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.
      - 50.2.1.2 Dispositivos de anclaje y empalme.
      - 50.2.1.3 Vainas y accesorios de pretensado.
      - 50.2.1.4 Productos de inyección.
    - 50.2.2 Colocación de las armaduras activas.
      - 50.2.2.1 Colocación de vainas y tendones.
      - 50.2.2.2 Colocación de desviadores.
      - 50.2.2.3 Distancia entre armaduras activas pretesas.
      - 50.2.2.4 Distancia entre armaduras activas postesas.
    - 50.2.3 Adherencia de las armaduras activas al hormigón.
    - 50.2.4 Empalmes de las armaduras activas.
  - 50.3 Procesos de tesado de las armaduras activas.
    - 50.3.1 Generalidades.
    - 50.3.2 Programa de tesado.

50.3.3 Tensión máxima inicial admisible en las armaduras.

50.3.4 Retesado de armaduras postesas.

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.

50.4.1.2 Preparación de la mezcla.

50.4.1.3 Programa de inyección.

50.4.1.4 Ejecución de la inyección.

50.4.1.5 Medidas de seguridad durante la inyección.

50.4.2 Destesado de armaduras pretesas.

Artículo 51. Fabricación y suministro del hormigón.

51.1 Prescripciones generales.

51.1.1 Consideraciones adicionales para hormigones especiales.

51.2 Instalaciones de fabricación del hormigón.

51.2.1 Generalidades.

51.2.2 Sistemas de almacenamiento y gestión de los acopios.

51.2.2.1 Cemento.

51.2.2.2 Áridos.

51.2.2.3 Agua.

51.2.2.4 Adiciones.

51.2.2.5 Aditivos.

51.2.3 Instalaciones de dosificación.

51.2.3.1 Cemento.

51.2.3.2 Áridos.

51.2.3.3 Agua.

51.2.3.4 Adiciones.

51.2.3.5 Aditivos.

51.2.4 Equipos de amasado.

51.2.5 Control de producción.

51.3 Fabricación del hormigón.

51.3.1 Suministro de materiales componentes.

51.3.2 Dosificación de materiales componentes.

51.3.2.1 Criterios generales.

51.3.2.2 Cemento.

51.3.2.3 Áridos.

51.3.2.4 Agua.

51.3.2.5 Adiciones.

51.3.2.6 Aditivos.

51.3.3 Amasado del hormigón.

51.3.4 Designación y características.

51.4 Transporte y suministro del hormigón.

51.4.1 Transporte del hormigón.

51.4.2 Suministro del hormigón.

Artículo 52. Puesta en obra y curado del hormigón y de los productos de protección, reparación y refuerzo.

- 52.1 Vertido y colocación del hormigón.
- 52.2 Compactación del hormigón.
- 52.3 Puesta en obra del hormigón en condiciones climáticas especiales.
  - 52.3.1 Hormigonado en tiempo frío.
  - 52.3.2 Hormigonado en tiempo caluroso.
- 52.4 Juntas de hormigonado.
- 52.5 Curado del hormigón.
- 52.6 Puesta en obra de los productos de protección, reparación y refuerzo.

Artículo 53. Procesos posteriores al hormigonado.

- 53.1 Desencofrado y desmoldeo.
- 53.2 Descimbrado y desapuntalado.
- 53.3 Acabado de superficies.

Artículo 54. Elementos prefabricados.

- 54.1 Transporte, descarga y manipulación.
- 54.2 Acopio en obra.
- 54.3 Montaje de elementos prefabricados.
  - 54.3.1 Viguetas y losas alveolares.
    - 54.3.1.1 Colocación de viguetas y piezas de entrevigado.
    - 54.3.1.2 Desapuntalado.
    - 54.3.1.3 Realización de tabiques divisorios.
  - 54.3.2 Otros elementos prefabricados lineales.
- 54.4 Uniones de elementos prefabricados.

Capítulo 12. Gestión de la calidad del proyecto de estructuras de hormigón.

Artículo 55. Criterios específicos para el desarrollo del control de proyecto en las estructuras de hormigón.

- 55.1 Niveles del control de proyecto.
- 55.2 Documentación del control de proyecto.

Capítulo 13. Gestión de la calidad de los productos en estructuras de hormigón.

Artículo 56. Criterios específicos para el control de los productos.

- 56.1 Control documental.
- 56.2 Inspección de las instalaciones.
- 56.3 Toma de muestras y realización de los ensayos.
- 56.4 Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los productos.
  - 56.4.1 Cementos.
  - 56.4.2 Áridos.
  - 56.4.3 Aditivos.
  - 56.4.4 Adiciones.
  - 56.4.5 Agua.
  - 56.4.6 Productos para la protección, reparación y refuerzo.

- Artículo 57. Control del hormigón.
- 57.1 Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón.
  - 57.2 Toma de muestras.
  - 57.3 Realización de los ensayos.
    - 57.3.1 Ensayos de docilidad del hormigón.
    - 57.3.2 Ensayos de resistencia del hormigón.
    - 57.3.3 Ensayos de durabilidad.
  - 57.4 Control previo al suministro.
    - 57.4.1 Comprobación documental previa al suministro.
    - 57.4.2 Comprobación de las instalaciones.
    - 57.4.3 Comprobaciones experimentales previas al suministro.
      - 57.4.3.1 Posible exención de ensayos.
  - 57.5 Control durante el suministro.
    - 57.5.1 Control documental durante el suministro.
    - 57.5.2 Comprobación de la conformidad de la docilidad del hormigón durante el suministro.
      - 57.5.2.1 Realización de los ensayos.
      - 57.5.2.2 Criterios de aceptación o rechazo.
    - 57.5.3 Modalidades de control de la conformidad de la resistencia del hormigón durante el suministro.
    - 57.5.4 Control estadístico de la resistencia del hormigón durante el suministro.
      - 57.5.4.1 Lotes y ensayos de control de la resistencia.
      - 57.5.4.2 Criterios de identificación de la resistencia del hormigón.
      - 57.5.4.3 Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón.
    - 57.5.5 Control de la resistencia del hormigón al 100 por 100.
      - 57.5.5.1 Realización de los ensayos.
      - 57.5.5.2 Criterios de aceptación o rechazo.
    - 57.5.6 Control indirecto de la resistencia del hormigón.
      - 57.5.6.1 Realización de los ensayos.
      - 57.5.6.2 Criterios de aceptación o rechazo.
    - 57.5.7 Comprobación de la conformidad de la durabilidad del hormigón durante el suministro.
  - 57.6 Certificado del hormigón suministrado.
  - 57.7 Decisiones derivadas del control.
    - 57.7.1 Decisiones derivadas del control previo al suministro.
    - 57.7.2 Decisiones derivadas del control previas a su puesta en obra.
    - 57.7.3 Decisiones derivadas del control experimental tras su puesta en obra.
      - 57.7.3.1 Decisiones derivadas del control de la resistencia.
      - 57.7.3.2 Actuaciones consecuentes a las decisiones derivadas del control de la resistencia.
      - 57.7.3.3 Decisiones derivadas del control de la durabilidad.

- 57.8 Ensayos de información complementaria del hormigón.
- 57.9 Control del hormigón para la fabricación de elementos prefabricados.
  - 57.9.1 Control de la conformidad en la docilidad del hormigón.
    - 57.9.1.1 Realización de los ensayos.
    - 57.9.1.2 Criterio de aceptación.
  - 57.9.2 Control estadístico de la resistencia.
    - 57.9.2.1 Realización de los ensayos.
    - 57.9.2.2 Criterios de aceptación o rechazo de la resistencia del hormigón.
    - 57.9.2.3 Decisiones derivadas del control de la resistencia del hormigón.
- Artículo 58. Control del acero para armaduras pasivas.
- Artículo 59. Control de las armaduras pasivas.
  - 59.1 Control de las armaduras normalizadas (mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía).
    - 59.1.1 Toma de muestras.
    - 59.1.2 Realización de ensayos.
    - 59.1.3 Control previo al suministro.
    - 59.1.4 Control durante el suministro.
      - 59.1.4.1 Control documental durante el suministro.
      - 59.1.4.2 Control experimental durante el suministro.
    - 59.1.5 Certificado de suministro.
  - 59.2 Control de la ferralla (elaborada y armada).
    - 59.2.1 Toma de muestras.
    - 59.2.2 Realización de los ensayos.
      - 59.2.2.1 Ensayos para la comprobación de la conformidad de las características mecánicas.
      - 59.2.2.2 Ensayos para la comprobación de la conformidad de las características de adherencia.
      - 59.2.2.3 Ensayos para la comprobación de la conformidad de las dimensiones.
    - 59.2.3 Control previo al suministro.
      - 59.2.3.1 Comprobación documental previa al suministro.
      - 59.2.3.2 Comprobación de las instalaciones de ferralla.
    - 59.2.4 Control durante el suministro.
      - 59.2.4.1 Control documental durante el suministro o su fabricación en obra.
      - 59.2.4.2 Comprobaciones experimentales: criterios generales.
      - 59.2.4.3 Comprobaciones experimentales: características mecánicas y de adherencia.
      - 59.2.4.4 Comprobaciones experimentales: dimensiones.
      - 59.2.4.5 Comprobaciones experimentales: procesos de elaboración con soldadura resistente.
    - 59.2.5 Certificado del suministro.
  - Artículo 60. Control del acero para armaduras activas.
  - Artículo 61. Control de los elementos y sistemas de aplicación del pretensado.
    - 61.1 Criterios generales para el control.
    - 61.2 Toma de muestras.

- 61.3 Realización de ensayos.
  - 61.4 Control previo a la aplicación del pretensado.
  - 61.5 Control durante la aplicación del pretensado.
    - 61.5.1 Comprobación documental durante el suministro y aplicación del pretensado.
    - 61.5.2 Control experimental durante el suministro y aplicación del pretensado.
      - 61.5.2.1 Control experimental de la conformidad de las unidades de pretensado.
      - 61.5.2.2 Control experimental de la conformidad de los dispositivos de anclaje y empalme.
      - 61.5.2.3 Control de las vainas y accesorios de pretensado.
      - 61.5.2.4 Control de los productos de inyección.
  - 61.6 Certificado del suministro.
- Artículo 62. Control de los elementos prefabricados.
- 62.1 Criterios generales para el control de la conformidad de los elementos prefabricados.
  - 62.2 Toma de muestras.
  - 62.3 Realización de los ensayos.
    - 62.3.1 Comprobación de la conformidad de los procesos de prefabricación.
    - 62.3.2 Ensayos para la comprobación de la conformidad de los productos empleados para la prefabricación de los elementos estructurales.
    - 62.3.3 Ensayos para la comprobación de la conformidad de la geometría de los elementos prefabricados.
    - 62.3.4 Comprobación de la conformidad del recubrimiento de la armadura.
    - 62.3.5 Otros ensayos.
  - 62.4 Control previo al suministro.
    - 62.4.1 Comprobación documental.
    - 62.4.2 Comprobación de las instalaciones.
    - 62.4.3 Posible exención de comprobaciones previas.
  - 62.5 Control durante el suministro.
    - 62.5.1 Control documental durante el suministro.
    - 62.5.2 Comprobación de la conformidad de los productos empleados.
    - 62.5.3 Comprobaciones experimentales durante el suministro.
      - 62.5.3.1 Posible exención de las comprobaciones experimentales.
      - 62.5.3.2 Lotes para la comprobación de la conformidad de los elementos prefabricados.
      - 62.5.3.3 Comprobación experimental de los procesos de prefabricación.
      - 62.5.3.4 Comprobación experimental de la geometría de los elementos prefabricados.
      - 62.5.3.5 Certificado del suministro.
- Capítulo 14. Gestión de la calidad de la ejecución de estructuras de hormigón.
- Artículo 63. Programación del control de ejecución en las estructuras de hormigón.
- 63.1 Lotes de ejecución.
  - 63.2 Unidades de inspección.
- Artículo 64. Comprobaciones previas al comienzo de la ejecución.
- Artículo 65. Control de los procesos de ejecución previos a la colocación de la armadura.
- 65.1 Control del replanteo de la estructura.
  - 65.2 Control de las cimentaciones.

- 65.3 Control de las cimbras y apuntalamientos.
- 65.4 Control de los encofrados y moldes.
  
- Artículo 66. Control del proceso de montaje de las armaduras pasivas.
- Artículo 67. Control de las operaciones de pretensado.
  - 67.1 Control del tesado de las armaduras activas.
  - 67.2 Control de la ejecución de la inyección.
  
- Artículo 68. Control de los procesos de hormigonado.
- Artículo 69. Control de procesos posteriores al hormigonado.
  - 69.1 Control de los trabajos de protección, reparación y refuerzo.
  
- Artículo 70. Control del montaje y uniones de elementos prefabricados.
- Artículo 71. Control del elemento construido.
- Artículo 72. Controles de la estructura mediante ensayos de información complementaria.
  - 72.1 Generalidades.
  - 72.2 Pruebas de carga.
  - 72.3 Otros ensayos no destructivos.
  
- Artículo 73. Control de aspectos medioambientales.
  
- Capítulo 15. Gestión de las estructuras de hormigón durante su vida de servicio.
  - Artículo 74. Evaluación de estructuras existentes de hormigón.
    - 74.1 Objeto y planteamiento.
    - 74.2 Principio básicos del análisis de construcciones existentes de hormigón.
    - 74.3 Propiedades de los materiales.
    - 74.4 Análisis estructural.
  
  - Artículo 75. Criterios generales para la reparación de estructuras de hormigón.
    - 75.1 Contexto general y objeto.
    - 75.2 Clasificación de los deterioros y daños objeto de reparación.
    - 75.3 Proyecto de reparación.
      - 75.3.1 Catálogo de daños y mapas de daños.
      - 75.3.2 Catálogo de soluciones de reparación.
    - 75.4 Plan de inspección y mantenimiento.
  
  - Artículo 76. Criterios generales para el refuerzo de estructuras de hormigón.
    - 76.1 Contexto general y objeto.
    - 76.2 Clasificación de los refuerzos estructurales en piezas de hormigón.
    - 76.3 Procedimientos de refuerzo de piezas de hormigón.
      - 76.3.1 Refuerzo sin alterar la sección de la pieza.
      - 76.3.2 Refuerzo aplicado a la sección de la pieza.
    - 76.4 Proyecto de refuerzo.
    - 76.5 Plan de inspección y mantenimiento.
  
- Capítulo 16. Demolición y deconstrucción de estructuras de hormigón.
  - Artículo 77. Demolición de estructuras de hormigón.
    - 77.1 Generalidades.
    - 77.2 Trabajos previos a la demolición de la estructura de hormigón.
    - 77.3 Procesos de demolición de la estructura.

- Artículo 78. Deconstrucción de estructuras de hormigón.
  - 78.1 Generalidades.
  - 78.2 Medidas adicionales para la deconstrucción de las estructuras de hormigón.
- Título 3. Estructuras de acero.
  - Capítulo 17. Criterios generales para las estructuras de acero.
    - Artículo 79. Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras de acero.
    - Artículo 80. Criterios específicos para las estructuras de acero.
      - 80.1 Clases de exposición relativas a la corrosividad del acero estructural.
    - Capítulo 18. Propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras de acero.
      - Artículo 81. Generalidades.
      - Artículo 82. Características de los aceros.
        - 82.1 Composición química.
        - 82.2 Características mecánicas.
        - 82.3 Requisitos de ductilidad.
        - 82.4 Características tecnológicas.
        - 82.5 Determinación de las características de los aceros.
          - 82.5.1 Composición química.
          - 82.5.2 Características de tracción.
          - 82.5.3 Resiliencia.
          - 82.5.4 Tenacidad de fractura.
          - 82.5.5 Soldabilidad (carbono equivalente).
          - 82.5.6 Características de doblado.
          - 82.5.7 Resistencia al desgarro laminar.
    - Artículo 83. Tipos de acero.
      - 83.1 Aceros no aleados laminados en caliente.
      - 83.2 Aceros con características especiales.
        - 83.2.1 Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado.
        - 83.2.2 Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente.
        - 83.2.3 Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables).
        - 83.2.4 Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido.
        - 83.2.5 Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.
        - 83.2.6 Aceros inoxidables, laminados en caliente.
    - Artículo 84. Productos de acero.
      - 84.1 Perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente.
      - 84.2 Perfiles de sección hueca acabados en caliente.
      - 84.3 Perfiles de sección hueca conformados en frío.
      - 84.4 Perfiles de sección abierta conformados en frío.
      - 84.5 Perfiles y chapas no normalizados.
    - Artículo 85. Medios de unión.
      - 85.1 Generalidades.
      - 85.2 Tornillos, tuercas y arandelas.

- 85.3 Tipos especiales de tornillos.
  - 85.3.1 Tornillos de cabeza avellanada.
  - 85.3.2 Tornillos calibrados.
  - 85.3.3 Tornillos de inyección.
- 85.4 Bulones.
- 85.5 Material de aportación.
- Artículo 86. Sistemas de protección.
  - 86.1 Tipos de pintura.
  - 86.2 Sistemas de pintura.
  - 86.3 Prescripciones y ensayos de los sistemas de pintura.
  - 86.4 Prescripciones para los sistemas de protección con proyección térmica de cinc y de galvanización en caliente.
- Capítulo 19. Durabilidad de las estructuras de acero.
  - Artículo 87. Estrategia de durabilidad en los elementos de acero.
    - 87.1 Selección de la forma estructural.
    - 87.2 Selección de materiales.
    - 87.3 Medidas específicas frente a la corrosión.
      - 87.3.1 Sistemas de protección superficial.
      - 87.3.2 Sobreespesores de la sección de acero.
      - 87.3.3 Sistemas de protección catódica.
    - 87.4 Detalles constructivos.
    - 87.5 Medidas de mantenimiento durante la fase de uso.
  - Capítulo 20. Estructuras de acero. Dimensionamiento y comprobación.
    - Artículo 88. Comprobación y dimensionamiento de las estructuras de acero.
    - Artículo 89. Proyecto de estructuras de acero frente al fuego.
    - Artículo 90. Proyecto de estructuras de acero frente al sismo.
  - Capítulo 21. Fabricación y montaje de las estructuras de acero.
    - Artículo 91. Preparación y fabricación.
      - 91.1 Generalidades.
      - 91.2 Clases de ejecución.
        - 91.2.1 Nivel de riesgo.
        - 91.2.2 Condiciones de ejecución y uso.
          - 91.2.2.1 Categorías de uso.
          - 91.2.2.2 Categoría de ejecución.
        - 91.2.3 Determinación de la clase de ejecución.
      - 91.3 Planos de taller.
        - 91.3.1 Contenido.
        - 91.3.2 Revisión y modificaciones.
      - 91.4 Preparación del material.
        - 91.4.1 Marcado, manipulación y almacenamiento.
        - 91.4.2 Enderezado.

91.4.3 Corte.

91.4.4 Conformación.

91.4.5 Perforación.

91.5 Ensamblado y armado.

91.6 Montaje en blanco.

Artículo 92. Transporte y montaje.

92.1 Transporte y llegada a obra.

92.1.1 Salida de taller.

92.1.2 Transporte a obra.

92.1.3 Ensamblado a pie de obra.

92.2 Actuaciones previas al montaje en obra.

92.2.1 Condiciones del emplazamiento para el montaje de estructuras de acero.

92.2.2 Programas de montaje.

92.2.3 Replanteo de la estructura.

92.2.4 Soportes.

92.3 Montaje.

92.3.1 Planos de montaje.

92.3.2 Marcado.

92.3.3 Manipulación y almacenamiento en montaje.

92.3.4 Montaje de prueba.

92.3.5 Métodos de montaje.

92.3.6 Alineaciones.

Artículo 93. Fijación con elementos mecánicos.

93.1 Generalidades.

93.2 Situación y tamaño de los agujeros.

93.3 Utilización de tornillos.

93.4 Utilización de tuercas.

93.5 Utilización de arandelas.

93.6 Apretado de tornillos sin pretensar.

93.7 Apretado de tornillos pretensados.

93.7.1 Método de la llave dinamométrica.

93.7.2 Método de la arandela con indicación directa de tensión.

93.7.3 Método combinado.

93.8 Superficies de contacto en uniones resistentes al deslizamiento.

93.9 Fijaciones especiales.

93.10 Utilización de tipos especiales de tornillos.

93.10.1 Tornillos de cabeza avellanada.

93.10.2 Tornillos calibrados y bulones.

93.10.3 Tornillos de inyección.

Artículo 94. Soldadura.

94.1 Introducción.

94.2 Plan de soldadura.

94.3 Proceso de soldadura

- 94.4 Cualificación del procedimiento de soldadura.
  - 94.4.1 Procedimiento de soldeo.
  - 94.4.2 Cualificación de soldadores y operadores de soldeo.
  - 94.4.3 Coordinación del soldeo.
- 94.5 Preparación y ejecución de la soldadura.
  - 94.5.1 Preparación de bordes.
  - 94.5.2 Almacenamiento de consumibles.
  - 94.5.3 Protección contra la intemperie.
  - 94.5.4 Montaje para el soldeo.
  - 94.5.5 Precalentamiento.
  - 94.5.6 Uniones temporales.
  - 94.5.7 Soldaduras de punteo.
  - 94.5.8 Soldaduras en ángulo.
  - 94.5.9 Soldaduras a tope.
    - 94.5.9.1 Generalidades.
    - 94.5.9.2 Soldaduras por un solo lado.
    - 94.5.9.3 Toma de raíz.
  - 94.5.10 Soldaduras de ranura.
  - 94.5.11 Soldaduras de conectadores.
  - 94.5.12 Tratamiento post-soldadura.
  - 94.5.13 Enderezado.
  - 94.5.14 Limpieza y saneado en la ejecución de soldaduras.
- 94.6 Criterios de aceptación de soldaduras.

#### Artículo 95. Tratamientos de protección.

- 95.1 Generalidades.
- 95.2 Preparación de las superficies.
- 95.3 Métodos de protección.
  - 95.3.1 Metalización.
  - 95.3.2 Galvanización en caliente.
  - 95.3.3 Pintado.
- 95.4 Requisitos especiales.
- 95.5 Protección de elementos de fijación.
- 95.6 Tratamientos de protección de aceros patinables.

#### Capítulo 22. Gestión de la calidad del proyecto de estructuras de acero.

Artículo 96. Criterios específicos para el desarrollo del control de proyecto en las estructuras de acero.

- 96.1 Niveles del control de proyecto.
- 96.2 Documentación del control de proyecto.

#### Capítulo 23. Gestión de la calidad de los productos en estructuras de acero.

Artículo 97. Control de los productos de acero.

- 97.1 Comprobación de la conformidad.
- 97.2 Toma de muestras.
- 97.3 Realización de los ensayos.

Artículo 98. Control de los medios de unión.

- 98.1 Control de la conformidad de los tornillos, tuercas, arandelas y bulones.
- 98.2 Control del material de aportación para las soldaduras.

Artículo 99. Control de los sistemas de protección.

- 99.1 Especificaciones.
- 99.2 Realización de ensayos.
- 99.3 Criterios de aceptación o rechazo.

Artículo 100. Control de estructuras componentes.

Capítulo 24. Gestión de la calidad de la fabricación y ejecución de estructuras de acero.

Artículo 101. Programación del control de las estructuras de acero.

- 101.1 Lotes de ejecución.
- 101.2 Unidades de inspección.

Artículo 102. Comprobaciones previas al comienzo de la fabricación y ejecución.

- 102.1 Programa de puntos de inspección.

Artículo 103. Control de la fabricación en taller y del montaje en obra.

103.1 Comprobaciones previas al inicio del suministro.

- 103.1.1 Comprobación documental previa al suministro.
- 103.1.2 Comprobación de las instalaciones.

103.2 Control de la fabricación en taller.

- 103.2.1 Control documental durante el suministro.
- 103.2.2 Comprobaciones experimentales durante el suministro.

- 103.2.2.1 Control de los procedimientos de corte térmico y perforación.
- 103.2.2.2 Control de las operaciones de conformado.
- 103.2.2.3 Control dimensional de los elementos.
- 103.2.2.4 Comprobación de la cualificación del personal para la soldadura.
- 103.2.2.5 Control de los procedimientos de soldeo.
- 103.2.2.6 Comprobación de la ejecución de las soldaduras.
- 103.2.2.7 Control de soldaduras reparadas.
- 103.2.2.8 Control de uniones atornilladas.
- 103.2.2.9 Control del armado en taller.
- 103.2.2.10 Control del montaje en blanco.

103.3 Control del montaje en obra.

103.3.1 Comprobaciones previas al montaje.

- 103.3.1.1 Memoria de montaje.
- 103.3.1.2 Planos de montaje.
- 103.3.1.3 Programa de inspección.

103.3.2 Comprobaciones durante el montaje.

- Capítulo 25. Gestión de las estructuras de acero durante su vida de servicio.
  - Artículo 104. Evaluación de estructuras existentes de acero.
    - 104.1 Objeto y planteamiento.
    - 104.2 Principios básicos del análisis de construcciones existentes de acero.
    - 104.3 Propiedades de los materiales y geometría.
    - 104.4 Análisis estructural.
  - Artículo 105. Criterios generales para la reparación de estructuras de acero.
    - 105.1 Contexto general y objeto.
    - 105.2 Clasificación de los deterioros y daños objeto de reparación.
    - 105.3 Proyecto de reparación.
      - 105.3.1 Catálogo de daños y mapa de daños.
      - 105.3.2 Catálogo de soluciones de reparación.
    - 105.4 Plan de Inspección y Mantenimiento.
  - Artículo 106. Criterios generales para el refuerzo de estructuras de acero.
    - 106.1 Contexto general y objeto.
    - 106.2 Clasificación de los refuerzos estructurales en piezas de acero.
    - 106.3 Procedimientos de refuerzo de piezas de acero.
      - 106.3.1 Refuerzo sin alterar la sección de la pieza.
      - 106.3.2 Refuerzo aplicado a la sección de la pieza.
    - 106.4 Proyecto de refuerzo.
    - 106.5 Plan y Programa de Inspección y Mantenimiento.
- Capítulo 26. Deconstrucción de estructuras de acero.
  - Artículo 107. Demolición de estructuras de acero.
    - 107.1 Generalidades.
    - 107.2 Trabajos previos a la demolición de la estructura de acero.
    - 107.3 Proceso de demolición de la estructura.
  - Artículo 108. Deconstrucción de estructuras de acero.
- Título 4. Estructuras mixtas.
  - Capítulo 27. Criterios generales para las estructuras mixtas hormigón-acero.
    - Artículo 109. Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras mixtas hormigón-acero.
    - Artículo 110. Requisitos específicos para las estructuras mixtas hormigón-acero.
  - Capítulo 28. Propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras mixtas hormigón-acero.
    - Artículo 111. Generalidades.
    - Artículo 112. Propiedades de elementos específicos de estructuras mixtas hormigón-acero.
      - 112.1 Pernos conectadores.
      - 112.2 Chapa nervada para losas mixtas en edificación.

- Capítulo 29. Durabilidad de las estructuras mixtas hormigón-acero.
  - Artículo 113. Bases para la consideración de durabilidad de las estructuras mixtas hormigón-acero.
- Capítulo 30. Estructuras mixtas hormigón-acero. Dimensionamiento y comprobación.
  - Artículo 114. Comprobación y dimensionamiento de las estructuras mixtas hormigón-acero.
  - Artículo 115. Proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero frente al fuego.
  - Artículo 116. Proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero frente al sismo.
- Capítulo 31. Ejecución de estructuras mixtas hormigón-acero.
  - Artículo 117. Fabricación y montaje de la estructura metálica.
  - Artículo 118. Armaduras pasivas.
  - Artículo 119. Elaboración, transporte y suministro y puesta en obra del hormigón.
- Capítulo 32. Gestión de la calidad del proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero.
  - Artículo 120. Criterios específicos para el desarrollo del control de proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero.
    - 120.1 Niveles del control de proyecto.
    - 120.2 Documentación del control de proyecto.
- Capítulo 33. Gestión de la calidad de los productos en estructuras mixtas hormigón-acero.
  - Artículo 121. Control de los productos en estructuras mixtas hormigón-acero.
- Capítulo 34. Gestión de la calidad de la ejecución de estructuras mixtas hormigón-acero.
  - Artículo 122. Criterios para el control de la conformidad de la ejecución.
- Capítulo 35. Gestión de las estructuras mixtas durante su vida de servicio.
  - Artículo 123. Evaluación de las estructuras mixtas hormigón-acero.
- Capítulo 36. Deconstrucción de estructuras mixtas.
  - Artículo 124. Criterios para la demolición y deconstrucción de estructuras mixtas hormigón-acero.
    - Anejos.
      - Anejo 1. Relación de normas.
      - Anejo 2. Sostenibilidad.
      - Anejo 3. Lista de comprobación para el control de proyecto.
      - Anejo 4. Documentación de suministro y control de los productos recibidos directamente en obra.
      - Anejo 5. Prescripciones para la utilización del cemento de aluminato de calcio.
      - Anejo 6. Recomendaciones para la selección del tipo de cemento a emplear en hormigones estructurales.
      - Anejo 7. Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras.
      - Anejo 8. Recomendaciones para la utilización de hormigón ligero.
      - Anejo 9. Recomendaciones para la utilización del hormigón proyectado estructural.
      - Anejo 10. Hormigones de limpieza.

- Anejo 11. Procedimiento de preparación por enderezado de muestras de acero procedentes de rollo, para su caracterización mecánica.
- Anejo 12. Estimación de la vida útil de elementos de hormigón.
- Anejo 13. Ensayos previos y característicos del hormigón.
- Anejo 14. Tolerancias en elementos de hormigón.
- Anejo 15. Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección en la ejecución de estructuras de hormigón.
- Anejo 16. Tolerancias en elementos de acero.
- Anejo 17. Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección en la ejecución de estructuras de acero.
- Anejo 18. Bases de proyecto.
- Anejo 19. Proyecto de estructuras de hormigón. Reglas generales y reglas para edificación.
- Anejo 20. Proyecto de estructuras de hormigón. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.
- Anejo 21. Proyecto de estructuras de hormigón. Reglas de proyecto en puentes de hormigón.
- Anejo 22. Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para edificación.
- Anejo 23. Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.
- Anejo 24. Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales. Reglas adicionales para los aceros inoxidable.
- Anejo 25. Proyecto de estructuras de acero. Placas planas cargadas en su plano.
- Anejo 26. Proyecto de estructuras de acero. Uniones.
- Anejo 27. Proyecto de estructuras de acero. Fatiga.
- Anejo 28. Proyecto de estructuras de acero. Tenacidad de fractura.
- Anejo 29. Proyecto de estructuras de acero. Puentes de acero.
- Anejo 30. Proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero. Reglas generales para edificación.
- Anejo 31. Proyecto de estructuras mixtas. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.
- Anejo 32. Proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero. Reglas para puentes.

## CÓDIGO ESTRUCTURAL

### TÍTULO 1

#### Bases generales

### CAPÍTULO 1

#### Principios generales

##### Artículo 1. *Objeto.*

Este Código Estructural es el marco reglamentario por el que se establecen las exigencias que deben cumplir las estructuras de hormigón, las de acero y las mixtas hormigón-acero para satisfacer los requisitos de seguridad estructural y seguridad en caso de incendio, además de la protección del medio ambiente y la utilización eficiente de recursos naturales, proporcionando procedimientos que permiten demostrar su cumplimiento con suficientes garantías técnicas.

Las exigencias deben cumplirse tanto en el proyecto como en la construcción de las estructuras, así como en su mantenimiento. Asimismo, se dan criterios para la gestión de las estructuras existentes durante su vida útil.

Este Código supone que el proyecto, construcción, control y mantenimiento de las estructuras que constituyen su ámbito de aplicación son llevados a cabo por técnicos y operarios con los conocimientos necesarios y la experiencia suficiente. Además, se da por hecho que dichas estructuras estarán destinadas al uso para el que hayan sido concebidas y serán adecuadamente mantenidas por la propiedad durante su vida de servicio.

## Artículo 2. *Ámbito de aplicación.*

Este Código Estructural es de aplicación a todas las estructuras y elementos estructurales de hormigón, de acero o mixtos de hormigón-acero, con las excepciones indicadas para cada caso en los Artículos 26, 79 y 109.

Si existe reglamentación específica de acciones, este Código se aplicará complementariamente a la misma.

Con carácter general se aplicará a todas las obras de nueva construcción. Cuando a la vista de las características de la obra, definidas por la propiedad, la estructura pueda considerarse como una obra especial o singular, este Código será de aplicación con las adaptaciones y disposiciones adicionales que establezca el autor del proyecto para satisfacer las exigencias definidas en el mismo, con su mismo nivel de garantía.

Así mismo, se utilizará para la intervención o la deconstrucción, en su caso, de las estructuras existentes, de acuerdo con los criterios definidos y las limitaciones indicadas en el articulado.

## Artículo 3. *Consideraciones generales.*

Todos los agentes que participan en el proyecto, construcción, control y mantenimiento de las estructuras en el ámbito de este Código, están obligados a conocer y aplicar el mismo.

Para asegurar que una estructura satisface los requisitos establecidos en el Artículo 5 de este Código, los agentes que intervengan deben comprobar el cumplimiento de las exigencias que se establecen en el mismo para el proyecto, la ejecución, el control y el mantenimiento de la estructura.

Para justificar que la estructura cumple las exigencias que establece este Código, el autor del proyecto, con la conformidad de la propiedad, y la dirección facultativa deberán:

a) adoptar soluciones técnicas de acuerdo con los procedimientos que contempla este Código cuya aplicación es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias establecidas en el mismo, o bien

b) adoptar, para el dimensionamiento y comprobación de la estructura en el proyecto, los procedimientos establecidos en los eurocódigos estructurales que se relacionan a continuación, junto con los correspondientes Anejos Nacionales que se publiquen en la página web del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, cuya aplicación puede considerarse un medio para demostrar el cumplimiento de las exigencias establecidas en este Código respetando, en cualquier caso, su ámbito de aplicación y el resto de la reglamentación específica vigente:

a. UNE-EN 1990:2003 y UNE-EN 1990:2003/A1:2010. Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.

b. UNE-EN 1992-1-1:2013 y UNE-EN 1992-1-1:2013/A1:2015. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

c. UNE-EN 1992-1-2:2011. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.

d. UNE-EN 1992-2:2013. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 2: Puentes de hormigón. Cálculo y disposiciones constructivas.

e. UNE-EN 1993-1-1:2013 y UNE-EN 1993-1-1:2013/A1:2014. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios.

f. UNE-EN 1993-1-2:2016. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.

- g. UNE-EN 1993-1-4:2012. Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-4: Reglas generales. Reglas adicionales para los aceros inoxidables.
- h. UNE-EN 1993-1-5:2013, UNE-EN 1993-1-5:2013/A1:2019 y UNE-EN 1993-1-5:2013/A2:2020. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-5: Placas planas cargadas en su plano.
- i. UNE-EN 1993-1-8:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones.
- j. UNE-EN 1993-1-9:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-9: Fatiga.
- k. UNE-EN 1993-1-10:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-10: Tenacidad de fractura y resistencia transversal.
- l. UNE-EN 1993-2:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Puentes.
- m. UNE-EN 1994-1-1:2013. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.
- n. UNE-EN 1994-1-2:2016. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego.
- o. UNE-EN 1994-2:2013. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 2: Reglas generales y reglas para puentes,

o bien,

c) adoptar soluciones alternativas que se aparten parcial o totalmente de los procedimientos contemplados en este Código. Para ello, el autor del proyecto y la dirección facultativa pueden, en uso de sus atribuciones, bajo su responsabilidad y previa conformidad de la propiedad, adoptar soluciones alternativas (mediante sistemas de cálculo, disposiciones constructivas, procedimientos de control, etc., diferentes), siempre que se justifique documentalmente que la estructura cumple las exigencias de este Código porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de los procedimientos de este.

#### Artículo 4. *Condiciones generales.*

##### 4.1 Condiciones administrativas.

Las mercancías comercializadas legalmente en otro Estado miembro de la Unión Europea, en Turquía, u originarias de un Estado de la Asociación Europea de Libre Comercio signatario del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo y comercializadas legalmente en él, se consideran conformes con el presente Código, incluso cuando no cumplan las condiciones técnicas establecidas en el mismo, siempre que, conforme se indica en el apartado 3.c del mismo, aseguren un nivel equivalente al que exige este Código, en cuanto a la seguridad y el uso al que están destinadas. La aplicación de la presente medida está sujeta al Reglamento (UE) 2019/515 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2019, relativo al reconocimiento mutuo de mercancías comercializadas legalmente en otro Estado Miembro y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 764/2008.

A los efectos de este Código, debe entenderse que las normas UNE, UNE-EN o UNE-EN ISO mencionadas en el articulado, se refieren siempre a las versiones que se relacionan en el Anejo 1, salvo en el caso de normas armonizadas UNE-EN que sean transposición de normas EN cuya referencia haya sido publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea, en el marco de aplicación del Reglamento N.º 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, en cuyo caso la cita se deberá relacionar con la última Comunicación de la Comisión que incluya dicha referencia. En el caso de normas de métodos de ensayo referenciadas en las normas armonizadas, debe aplicarse la versión incluida en las normas armonizadas UNE-EN citadas anteriormente.

Las normas recogidas en este Código podrán ser sustituidas por otras de las utilizadas en cualquiera de los otros Estados miembros de la Unión Europea, o que sean parte del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, y en aquellos Estados que tengan un acuerdo de asociación aduanera con la Unión Europea, siempre que se demuestre que poseen especificaciones técnicas equivalentes.

Los distintivos reconocidos oficialmente en otro Estado miembro de la Unión Europea, en Turquía, u originarios de un Estado de la Asociación Europea de Libre Comercio signatario del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, que podrán referirse a los productos, a los procesos para su construcción o a la consideración de criterios de sostenibilidad, se consideran conformes con el presente Código, incluso cuando no cumplan las condiciones técnicas establecidas en el mismo, siempre que aseguren un nivel equivalente al que exige este Código, en cuanto a la seguridad y el uso al que están destinados. La aplicación de la presente medida está sujeta al Reglamento (UE) 2019/515 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2019, relativo al reconocimiento mutuo de mercancías comercializadas legalmente en otro Estado Miembro y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.º 764/2008.

Conforme al artículo 8.3 del Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, para los productos de construcción cubiertos por una norma armonizada o por una evaluación técnica europea, los distintivos oficialmente reconocidos (tanto de calidad como de sostenibilidad) no podrán certificar la conformidad con las prestaciones declaradas en lo que respecta a las características esenciales cubiertas por la norma armonizada, ni tampoco con las prestaciones de ninguna característica esencial relacionada con los requisitos básicos incluidos en el anexo I del Reglamento (EU) 305/2011, de 9 de marzo de 2011.

#### 4.2 Condiciones técnicas para la conformidad con este Código.

##### 4.2.1 Condiciones técnicas de los productos, equipos y sistemas.

Los materiales y los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a las estructuras (hormigón, acero estructural, cemento, áridos, acero corrugado, armaduras elaboradas, sistemas de pretensado, elementos prefabricados, etc.) deberán presentar las características suficientes para que la estructura cumpla las exigencias de este Código, para lo que deberá comprobarse su conformidad de acuerdo con los criterios generales establecidos en el Capítulo 5, así como con los específicos establecidos para cada tipo de estructura en los Capítulos 12, 13, 14, 22, 23, 24, 32, 33 y 34.

Las características de los materiales empleados, en su caso, para la elaboración de los productos a los que hace referencia el párrafo anterior, deberán permitir que estos, tras su elaboración, en su caso, cumplan las exigencias de este Código, por lo que deberán cumplir las especificaciones establecidas para dichos materiales.

##### 4.2.2 Condiciones técnicas del proyecto.

El proyecto deberá describir la estructura, justificando la solución adoptada y definiendo las exigencias técnicas de las obras de ejecución con el detalle suficiente para que puedan valorarse e interpretarse inequívocamente durante su ejecución.

En particular, el proyecto definirá las obras proyectadas con el detalle adecuado, de modo que pueda comprobarse explícitamente que las soluciones adoptadas cumplen las exigencias de este Código y del resto de la reglamentación técnica que le fuera aplicable. Esta definición incluirá, al menos, la siguiente información:

- las características técnicas de cada unidad de obra, con indicación de las condiciones para su ejecución y las verificaciones y controles a realizar para comprobar su conformidad con lo indicado en el proyecto,
- las características técnicas mínimas que deben cumplir los productos, equipos y sistemas que se incorporen de forma permanente a la estructura proyectada, así como sus condiciones de suministro, las garantías de calidad y el control de recepción que deba realizarse,

- a la vista de las posibles mayores garantías técnicas y de trazabilidad que pueden estar asociadas a los distintivos de calidad, el autor del proyecto valorará la inclusión, en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas particulares, de la exigencia de emplear materiales, productos y procesos que dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- las verificaciones y pruebas de carga que, en su caso, deban realizarse sobre la estructura construida,
- las instrucciones de uso y mantenimiento de la estructura, y
- en su caso, criterios para la demolición, reciclado, etc. una vez finalizada la vida útil de la estructura.

#### 4.2.3 Condiciones técnicas de la ejecución.

Las obras de ejecución de la estructura se llevarán a cabo con sujeción al proyecto y a las modificaciones que, bajo su responsabilidad y en uso de sus atribuciones, autorice la dirección facultativa, con la conformidad, en su caso, de la propiedad. Además, deberán ser conformes a las instrucciones de la dirección facultativa, a la reglamentación que sea aplicable y a las normas de buena práctica constructiva.

Durante la construcción, se desarrollarán las actividades de control necesarias para comprobar la conformidad de los procesos empleados en la ejecución, la conformidad de los materiales y productos que lleguen a la obra, así como la conformidad de aquellos que se preparen en la misma con la finalidad de ser incorporados a ella con carácter definitivo. Igualmente se deberá contemplar el control de los medios auxiliares utilizados para la ejecución de las estructuras, como cimbras y apuntalamientos.

Atendiendo a los mismos criterios de garantía expuestos en el apartado anterior, la dirección facultativa valorará la conveniencia de exigir productos y procesos que dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

Durante la ejecución de la obra, el constructor elaborará la documentación que reglamentariamente sea exigible y que, como mínimo, deberá incluir una memoria que recoja las incidencias principales de la ejecución, una colección de planos que reflejen el estado final de la obra tal y como ha sido construida y la documentación correspondiente al control de calidad efectuado durante la obra, todo ello de conformidad con lo establecido en el proyecto y en este Código. Dicha documentación será entregada a la dirección facultativa que, tras su aprobación, la trasladará a la propiedad como parte de la documentación final de la obra.

### Artículo 5. *Requisitos de las estructuras.*

#### 5.1 Requisitos.

De conformidad con la normativa vigente, y con el fin de garantizar la seguridad de las personas, los animales y los bienes, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, las estructuras incluidas en el ámbito de este Código, en su totalidad o en sus elementos aislados, deberán ser idóneas para su uso durante la totalidad del período de vida útil para la que se construye. Para ello, sin perjuicio de lo indicado en el apartado 2 del Anejo 18, se deberán satisfacer los requisitos siguientes:

- seguridad y funcionalidad estructural, consistente en reducir a límites aceptables el riesgo de que la estructura tenga un comportamiento mecánico inadecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto, considerando la totalidad de su vida útil,
- seguridad en caso de incendio, consistente en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de la estructura sufran daños derivados de un incendio de origen accidental,
- higiene, salud y protección del medio ambiente cumpliendo la legislación específica pertinente,

– en particular se recomienda una utilización de los recursos naturales consistente en procurar el uso de materiales secundarios y reciclados en las obras de construcción, así como la reutilización y la reciclabilidad de las mismas, sus materiales y sus partes tras su demolición.

Para la consecución de los anteriores requisitos, deberán cumplirse las exigencias que se relacionan en este artículo. Para su comprobación será suficiente, en algunos casos, la aplicación de los procedimientos incluidos en este Código, mientras que en otros, deberán ser complementados con lo establecido por otras reglamentaciones vigentes de carácter más específico en función del uso de la estructura.

La propiedad podrá establecer también otros requisitos adicionales, como por ejemplo, el aspecto, en cuyo caso deberá identificar previamente a la realización del proyecto las exigencias ligadas a la consecución de los citados requisitos adicionales, así como los criterios para su comprobación.

Los anteriores requisitos se satisfarán mediante un proyecto que incluya una adecuada selección de la solución estructural y de los materiales de construcción, una ejecución cuidadosa conforme al proyecto, un control adecuado del proyecto y de la ejecución, así como una explotación, uso y mantenimiento apropiados.

En el caso de una intervención sobre una estructura existente, los requisitos deberán ser fijados por la propiedad, pudiéndose optar entre distintas alternativas:

- a) rebajar los requisitos que se hubieran exigido en su momento a la estructura en el proyecto original porque las exigencias a la que tiene que hacer frente la estructura se hayan visto modificadas a la baja con el paso del tiempo (por ejemplo, un puente para tráfico rodado o ferroviario que se reduce a uso peatonal, una estructura que se cambia de uso con una sobrecarga de utilización inferior, etc.),
- b) reponer los requisitos que se hubieran exigido en su momento para el proyecto original de la estructura, de manera que se mantengan dentro de criterios admisibles hasta la finalización de la vida útil prevista para la estructura,
- c) adecuar la estructura para cumplir los requisitos que se le exigirían a una estructura de nueva construcción, para una vida útil que podría ser la inicialmente prevista o, incluso, prolongarse con motivo de la intervención, o
- d) cualquier situación intermedia entre las anteriores.

#### 5.1.1 Vida útil.

En cualquier caso, la propiedad deberá fijar previamente al inicio de proyecto, la vida útil nominal de la estructura, que deberá cumplir lo indicado en las correspondientes reglamentaciones específicas o, en su defecto, en el Anejo 18.

Se entiende por vida útil nominal (o simplemente, vida útil) de la estructura el período de tiempo, a partir de la fecha en la que finaliza su ejecución, durante el que debe mantenerse el cumplimiento de las exigencias. Durante ese período requerirá una conservación normal, que no implique intervenciones extraordinarias no previstas en el plan de mantenimiento.

Para los elementos estructurales que componen la estructura, se podrán establecer valores inferiores de vida útil, en función del tipo de elemento, posibilidad de reposición del mismo y condiciones para su ejecución.

La vida útil nominal, así definida es un valor de proyecto para el que se pretende mantener el cumplimiento de las exigencias por encima de unos determinados umbrales.

Se entiende por vida útil real el período de tiempo realmente transcurrido desde la fecha de finalización de la estructura hasta el momento en el que se alcanzan cualquiera de los umbrales de inadmisibilidad en relación con las exigencias.

En el caso de estructuras existentes en las que la vida útil real fuera inferior a la vida útil nominal, se entiende por déficit de vida útil la diferencia entre ambos valores. En este último caso, la propiedad valorará qué intervenciones debe hacer sobre la estructura existente, de forma que le permita alcanzar la vida útil nominal inicialmente prevista.

Se denomina como vida útil residual de la estructura el período de tiempo, a partir de la fecha en que se hace la valoración, durante el cual debe mantener sus prestaciones por encima de los valores umbrales admisibles.

## 5.2 Exigencias.

Las exigencias que debe cumplir cualquier estructura incluida en el ámbito de este Código para satisfacer los requisitos indicados en el apartado 5.1, son las que se relacionan a continuación.

### 5.2.1 Exigencias relativas al requisito de seguridad y de funcionalidad estructural.

Para satisfacer este requisito, las estructuras deberán proyectarse, construirse, controlarse y mantenerse de forma que se cumplan unos niveles mínimos de fiabilidad para cada una de las exigencias que se establecen en los apartados siguientes, de acuerdo con el sistema de seguridad recogido en los Anejos 18 a 32.

Se entiende que el cumplimiento de este Código, complementado por las correspondientes reglamentaciones específicas que sean de aplicación, es suficiente para garantizar la satisfacción de este requisito de seguridad estructural.

#### 5.2.1.1 Exigencia de resistencia y estabilidad.

La resistencia y la estabilidad de la estructura serán las adecuadas para que no se generen riesgos inadmisibles como consecuencia de las acciones e influencias previsibles, tanto durante su fase de ejecución como durante su uso, manteniéndose durante su vida útil prevista.

El nivel de fiabilidad mínima que, con carácter general, debe asegurarse en las estructuras incluidas en el ámbito de este Código vendrá definido por la clase de fiabilidad RC2 de las definidas en el apartado B.3.2 del Anejo 18. Consecuentemente, su índice de fiabilidad para el período de referencia de 50 años, no deberá ser inferior a 3,8. En el caso de estructuras singulares o de estructuras de poca importancia, la Propiedad podrá adoptar otros índices diferentes, coherentes con las posibles clases de consecuencias y de acuerdo con lo indicado en el referido apartado del Anejo 18.

Los procedimientos incluidos en este Código mediante la comprobación de los Estados Límite Últimos, junto con el resto de criterios relativos a ejecución y control, permiten satisfacer esta exigencia.

#### 5.2.1.2 Exigencia de aptitud al servicio.

La aptitud al servicio será conforme con el uso previsto para la estructura, de forma que no se produzcan deformaciones inadmisibles, se limite a un nivel aceptable, en su caso, la probabilidad de un comportamiento dinámico inadmisibles para la confortabilidad de los usuarios y, además, no se produzcan degradaciones o fisuras inaceptables.

Se entenderá que la estructura tiene deformaciones admisibles cuando cumpla las limitaciones de flecha establecidas por las reglamentaciones específicas que sean de aplicación.

Se entenderá que un elemento estructural tiene vibraciones admisibles cuando cumpla las limitaciones establecidas por las reglamentaciones específicas que sean de aplicación.

Los procedimientos incluidos en este Código mediante la comprobación de los Estados Límite de Servicio, junto con el resto de criterios relativos a ejecución y control, permiten satisfacer esta exigencia.

El nivel de fiabilidad mínima que debe asegurarse para su aptitud al servicio en las estructuras, vendrá definido por la clase de fiabilidad RC2 de las definidas en el apartado B.3.2 del Anejo 18.

Consecuentemente, su índice de fiabilidad para un período de referencia de 50 años, no deberá ser inferior a 1,5.

### 5.2.1.3 Exigencia de robustez y redundancia.

Las estructuras incluidas en este Código deberán ser proyectadas de manera que cualquier evento extraordinario no produzca consecuencias desproporcionadas respecto a la causa original.

Cuando así lo establezca la propiedad, el proyecto deberá contemplar la selección de un esquema estructural y un diseño conceptual que asegure que la eliminación accidental de un elemento o de una parte limitada de la estructura origina daños proporcionados y limitados, de forma que, además, el resto de la estructura no afectada sea capaz de asegurar la estabilidad mínima de la misma.

Los procedimientos incluidos en este Código no son suficientes para el cumplimiento de esta exigencia.

### 5.2.1.4 Exigencias relativas a la durabilidad.

El proyecto debe contemplar una estrategia de durabilidad que permita alcanzar la vida útil nominal definida para la estructura. Dicha estrategia será objeto de control durante la ejecución y establecerá condiciones a cumplir en el mantenimiento durante la fase de servicio.

### 5.2.2 Exigencias relativas al requisito de seguridad en caso de incendio.

Para satisfacer este requisito, en su caso, las obras deberán proyectarse, construirse, controlarse y mantenerse de forma que se cumplan una serie de exigencias, entre las que se encuentra la de resistencia de la estructura frente al fuego.

El cumplimiento de este Código no es, por lo tanto, suficiente para el cumplimiento de este requisito, siendo necesario cumplir además las disposiciones del resto de la reglamentación vigente que sea de aplicación.

#### 5.2.2.1 Exigencia de resistencia de la estructura frente al fuego

La estructura deberá mantener su resistencia frente al fuego durante el tiempo establecido en las correspondientes reglamentaciones específicas que sean aplicables de manera que se limite la propagación del fuego y se facilite la evacuación de los ocupantes y la intervención de los equipos de rescate y extinción de incendios.

En el caso de estructuras de edificación, la resistencia al fuego requerida para cada elemento estructural viene definida por lo establecido en el Documento Básico DB-SI del Código Técnico de la Edificación.

El cumplimiento de este Código es suficiente para la satisfacción de esta exigencia sin perjuicio del resto de la reglamentación específica que le sea aplicable.

### 5.2.3 Exigencias relativas al requisito de higiene, salud y medio ambiente.

Las estructuras deberán proyectarse, construirse, controlarse y mantenerse de forma que se cumpla la exigencia de calidad medioambiental de la ejecución.

#### 5.2.3.1 Exigencia de calidad medioambiental de la ejecución.

La construcción de la estructura deberá ser proyectada y ejecutada de manera que se minimice la generación de impactos ambientales provocados por la misma y evitando, en lo posible, la generación de residuos.

Asimismo, las tareas de intervención sobre las estructuras existentes, incluso las que forman parte de su mantenimiento, deberán definirse, planificarse y llevarse a cabo de acuerdo con los mismos criterios definidos en el párrafo anterior.

#### 5.2.3.2 Exigencia de reutilización y reciclabilidad.

Siempre que así lo considere la propiedad, el proyecto, construcción y mantenimiento de la estructura deberán estar enfocados a la reutilización o reciclaje de su totalidad o de

una parte de la misma, una vez que se haya alcanzado el final de su vida de servicio. Para ello, se definirá una estrategia específica con dicha finalidad, de acuerdo con los criterios establecidos en este Código.

## CAPÍTULO 2

### Bases generales para la contribución de la estructura a la sostenibilidad

#### Artículo 6. *Contribución a la sostenibilidad.*

##### 6.1 Introducción.

Atendiendo al mandato de la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, a los efectos de este Código se entiende por sostenibilidad en su triple vertiente, satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender a sus propias necesidades, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.

Este Código Estructural proporciona un método objetivo para evaluar la contribución a la sostenibilidad de las estructuras considerando las características prestacionales, ambientales, sociales y económicas que aportan los agentes que participan en su proyecto y ejecución.

Los criterios de sostenibilidad definidos en este Código se refieren exclusivamente a actividades relacionadas con la estructura. El autor del proyecto y la dirección facultativa deberán velar por la coordinación con el resto de los criterios de sostenibilidad que pudieran adoptarse, en su caso, para el resto de la obra.

Esta metodología no permite la comparación de distintas tipologías estructurales ni de las puntuaciones de agentes que realicen diferentes procesos. Los indicadores del Anejo 2 no consideran el uso, mantenimiento ni la reciclabilidad de la estructura. La evaluación basada en los indicadores del Anejo 2 es complementaria a las consideraciones de sostenibilidad del edificio u obra de ingeniería civil completa, que deberán evaluarse mediante otra metodología.

##### 6.2 Criterios generales.

La propiedad, cuando así lo considere, podrá definir el nivel de contribución a la sostenibilidad de una estructura. La contribución a la sostenibilidad de una estructura se evaluará conforme al Anejo 2 de este Código. Cuando así se indique en el pliego de condiciones a requerimiento de la propiedad, las estructuras se proyectarán y construirán de acuerdo con una estrategia para la sostenibilidad planteada según lo indicado en este artículo.

La determinación objetiva del nivel de contribución de la estructura a la sostenibilidad, se realiza mediante el cálculo del índice de contribución a la sostenibilidad estructura (ICES), definido en el Anejo 2. En el ámbito de este Código, se clasificará la contribución a la sostenibilidad de una estructura en función del valor obtenido por el ICES, de acuerdo con los criterios establecidos en este artículo, considerando los compromisos voluntarios adquiridos por parte de cada uno de los agentes (organizaciones) que contribuyen a la sostenibilidad de la estructura en relación con principios ambientales, económicos, sociales y prestacionales.

Para que una estructura pueda considerarse sostenible, los agentes que contribuyen a la sostenibilidad de la estructura deben cumplir la legalidad vigente. El cumplimiento de la legalidad vigente se constata mediante una declaración responsable de cada uno de los agentes implicados. El incumplimiento de este precepto le inhabilitará para considerar su contribución a la sostenibilidad de la estructura, siendo nula la puntuación en el ICES de las aportaciones (proyecto, productos o procesos, construcción en obra) realizadas por dicho agente a la estructura.

Las prestaciones en relación a las características esenciales que pudieran establecerse como consecuencia del desarrollo del requisito básico 7 del Anexo I

del Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, deberán considerarse como legislación vigente, a los efectos de este apartado. En el caso de que dichas características esenciales entraran dentro del ámbito de aplicación de alguno de los grupos de indicadores (prestacionales, económicos, medioambientales o sociales) del índice de contribución del agente a la sostenibilidad (ICAS), del índice de contribución complementaria del proyecto, producto u obra (ICS), o de ambos, los indicadores de dicho grupo para el índice afectado deberán medirse con la máxima valoración (valor 100) a los efectos de cálculo del ICES en el caso de que la metodología empleada no sea compatible con la del modelo; por el contrario, en caso de ser compatible dicha metodología, se utilizarán en el modelo los valores contenidos en la declaración de prestaciones y el resto de parámetros medioambientales considerados en el ICES dejarán de contabilizarse en el índice correspondiente.

### 6.3 Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad.

El Anejo 2 recoge el procedimiento para evaluar el índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad, ICES que se clasificará dentro de la siguiente escala:

Calificación	ICES
Muy alta.	Más de 85 hasta 100.
Alta.	Más de 70 hasta 85.
Baja.	Más de 50 hasta 70.

En el proyecto, el autor del mismo deberá, cuando la propiedad así lo requiera:

- estimar el valor del índice ICES, asegurándose en su caso de que no sea inferior al valor indicado en el párrafo anterior; y
- definir, a partir del índice ICES, la correspondiente estrategia para la sostenibilidad de acuerdo con lo indicado en 6.4.

Una estructura podrá ser calificada según el nivel de contribución a la sostenibilidad proyectado solamente cuando su construcción haya finalizado y su ICES sea al menos igual que el de proyecto.

La dirección facultativa, bajo su propia responsabilidad, será la encargada de verificar que el cálculo de los índices de contribución a la sostenibilidad de cada uno de los procesos o productos (ICPS) se corresponde con la metodología seguida para cálculo en el Anejo 2 y que los datos proporcionados por los agentes (organizaciones) son veraces y se encuentran debidamente documentados. Quedará garantizado que los datos se encuentran debidamente documentados con la existencia y uso efectivo de un distintivo de sostenibilidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el Artículo 7 de este Código.

La estimación inicial del ICES realizada por el autor del proyecto debe ser recalculada por parte de la dirección facultativa al término de la obra con los datos que los agentes intervinientes aporten durante el proceso de construcción.

El recálculo debe basarse en los suministros reales de procesos o productos que los distintos agentes han realizado, según se recoge en la documentación final de la obra, indicada en el apartado 4.2.3 de este Código.

A estos efectos se consideran como procesos o productos que intervienen en la estructura los indicados en la tabla A2.2 del Anejo 2. De igual modo se entenderá como organización lo contemplado en el Anejo 2.

La dirección facultativa deberá informar a la propiedad del resultado del ICES con el objetivo de valorar su sostenibilidad, y de comprobar que la estructura ha alcanzado el valor indicado en proyecto, así como documentar la comprobación y conservar durante la vida útil de la estructura los documentos pertinentes que justifiquen el cálculo del ICES de la estructura construida, incorporándolo a la documentación final de obra.

Los agentes contemplados en el Anejo 2 serán responsables de transmitir la información necesaria para la obtención del índice de contribución de cada producto o proceso a la sostenibilidad, ICPS. Con carácter general, el agente que aporte los productos o procesos declarará la participación en los mismos de aquellos otros productos o procesos, básicos y/o transformados, identificados en el Anejo 2, cuantificando dicha participación e indicando los agentes que actúan como proveedores de estos últimos.

#### 6.4 Estrategia para la sostenibilidad.

El autor del proyecto deberá definir una estrategia para la sostenibilidad que consistirá en la estimación del valor del ICES requerido por la propiedad, el resumen del modo en el que se ha obtenido dicho valor y las medidas o criterios a aplicar durante la fase de construcción de la estructura.

#### Artículo 7. *Distintivo de sostenibilidad oficialmente reconocido (DSOR).*

De forma voluntaria, los productos y los procesos contemplados en el Anejo 2 podrán demostrar el valor de su contribución a la sostenibilidad de la estructura mediante un distintivo de sostenibilidad oficialmente reconocido. El distintivo de sostenibilidad oficialmente reconocido consiste en el ICPS del agente, certificado por tercera parte, y reconocido oficialmente de acuerdo al procedimiento descrito en el apartado 7.1. Un DSOR garantiza que la metodología seguida para el cálculo es la indicada en el Anejo 2 y que los datos proporcionados por los agentes (organizaciones) se encuentran debidamente documentados.

De acuerdo al apartado 4.1, en el caso de los productos con marcado CE, los distintivos de sostenibilidad oficialmente reconocidos no podrán certificar la conformidad con las prestaciones declaradas en lo que respecta a las características esenciales cubiertas por la norma armonizada, ni tampoco con las prestaciones de ninguna característica esencial relacionada con el requisito básico BWR7 de utilización sostenible de los recursos naturales que establece el anexo I del Reglamento (EU) 305/2011, de 9 de marzo de 2011. Además, la contribución a la sostenibilidad del requisito medioambiental de un producto con marcado CE tendrá la máxima valoración (valor 100) en el DSOR hasta que la norma armonizada correspondiente desarrolle este requisito básico, en cuyo caso habrá de tenerse en cuenta lo indicado en el artículo 6.2.

A efectos de lo indicado en este Código, se entenderá que un distintivo de sostenibilidad está oficialmente reconocido cuando el reconocimiento se realice por la Subdirección General de Normativa y Estudios Técnicos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana u otro órgano directivo con competencias en normativa técnica en el ámbito de la edificación o de la obra pública y perteneciente a la Administración Pública de cualquier Estado miembro de la Unión Europea, de Turquía o de cualquiera de los Estados firmantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo.

Lo dispuesto en el párrafo anterior será también de aplicación a los procesos o productos de construcción fabricados o comercializados legalmente en un Estado que tenga un acuerdo de asociación aduanera con la Unión Europea, cuando ese acuerdo reconozca a esos procesos o productos el mismo tratamiento que a los de un Estado miembro de la Unión Europea.

#### 7.1 Procedimiento de reconocimiento oficial de distintivos de sostenibilidad.

El reconocimiento oficial del distintivo se desarrollará conforme al procedimiento que establezca la Administración reconocedora de cualquier Estado miembro de la Unión Europea, de Turquía o de cualquier Estado de la Asociación Europea de Libre Comercio signatario del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo.

En el caso de los reconocimientos de distintivos por parte del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, se aplicará el siguiente procedimiento.

Estarán legitimados para presentar la solicitud de reconocimiento oficial de un distintivo de sostenibilidad, los organismos de certificación acreditados conforme a los apartados de

este Código que les sean de aplicación y a la norma UNE-EN ISO/IEC 17065 según el Reglamento (CE) N.º 765/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de julio.

La solicitud deberá acompañarse de al menos la siguiente documentación:

- a) Memoria explicativa y justificativa de la solicitud.
- b) Reglamento regulador del distintivo en donde se definan las garantías particulares, procedimiento de concesión, régimen de funcionamiento, requisitos técnicos y reglas para la toma de decisiones. En cualquier caso, dicho reglamento incluirá la declaración explícita de su conformidad con el contenido de este Capítulo.
- c) Cualquier otra documentación que la Administración reconocedora establezca o considere necesaria en relación al ámbito de certificación en el que se desarrolle el distintivo.

La Administración reconocedora podrá recabar los informes o dictámenes de los expertos por ella designados, en función de las características de la certificación cuyo reconocimiento se solicita.

Para mayor difusión y comodidad en el acceso de la información por parte de los usuarios, cualquier autoridad competente de las contempladas en los párrafos anteriores para el reconocimiento oficial de un distintivo de sostenibilidad, podrá solicitar la publicación de los distintivos por ellas reconocidos en las páginas web de las Comisiones Permanentes que proponen este Código, creadas a tal efecto.

Si la resolución de la Administración reconocedora fuese desfavorable al reconocimiento, la finalización del procedimiento se producirá con la comunicación al solicitante.

La enmienda o retirada del reconocimiento oficial del distintivo podrá ser realizada a instancia o de parte, para lo cual se iniciará el procedimiento mediante la oportuna solicitud y se regirá conforme a los mismos trámites que para su reconocimiento.

La Administración reconocedora vigilará la correcta aplicación de los distintivos, por lo que podrá participar en todas aquellas actividades que se consideren relevantes para el correcto funcionamiento del distintivo. De igual modo, para verificar la correcta actuación de los servicios de inspección correspondientes, podrá asistir a las inspecciones que se realicen a las instalaciones que ostenten la certificación en cuestión.

Si se detectase alguna anomalía en estos procedimientos, la Administración reconocedora podrá incoar un expediente y podrá suspender el reconocimiento, comunicando previamente la propuesta de retirada al solicitante con el objeto de que pueda formular alegaciones. La validez del reconocimiento quedará condicionada al mantenimiento de las condiciones que lo motivan.

7.2 Distintivos de sostenibilidad concedidos por entidades de certificación en otros Estados.

No será necesaria la declaración explícita requerida en el punto b) del apartado 7.1, si una entidad de certificación de otro Estado miembro de la Unión Europea, de Turquía o de cualquiera de los Estados firmantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, evalúa la conformidad respecto a cualquier norma o reglamento que, manteniendo al menos las garantías necesarias para verificar un nivel similar de sostenibilidad del producto o proceso, demuestre que se cumple el modelo de sostenibilidad contemplado en este Código.

### CAPÍTULO 3

#### Bases generales para el proyecto y criterios de seguridad

Artículo 8. *Criterios de seguridad.*

8.1 Bases generales para el proyecto y criterios de seguridad.

Las exigencias del requisito de seguridad y estabilidad, así como las correspondientes al requisito de aptitud al servicio pueden ser expresadas en términos de la probabilidad de fallo, que está ligada al índice de fiabilidad, tal como se indica en el Artículo 5.

Las bases de proyecto de las estructuras incluidas en el ámbito de este Código, incluidos los principios y requisitos de seguridad, se regirán por los criterios indicados en el Anejo 18. Además, se asegura el cumplimiento de los niveles de fiabilidad requeridos adoptando los procedimientos indicados en los Anejos 18 a 32 que sean necesarios.

Como criterio general, se utilizará el método de los Estados Límite de acuerdo con lo indicado en el apartado 3 del Anejo 18. Este método permite tener en cuenta de manera sencilla el carácter aleatorio de las variables de sollicitación, de resistencia y dimensionales que intervienen en el cálculo. El valor de cálculo de una variable se obtiene a partir de su principal valor representativo, ponderándolo mediante su correspondiente coeficiente parcial de seguridad.

Los coeficientes parciales de seguridad vienen definidos en los Anejos 18 a 32.

Los coeficientes parciales de seguridad no tienen en cuenta la influencia de posibles errores humanos groseros. Estos fallos deben ser evitados mediante mecanismos adecuados de control de calidad que deberán abarcar todas las actividades relacionadas con el proyecto, la ejecución, el uso y el mantenimiento de una estructura.

### 8.2 Comprobación estructural mediante cálculo.

La comprobación estructural mediante cálculo es el método que se propone con carácter general en este Código. Para ello, y de acuerdo con lo indicado en el apartado anterior, se seguirán los principios de cálculo en estados límite que se recogen en el apartado 3 del Anejo 18.

### 8.3 Comprobación estructural mediante ensayos.

En aquellos casos donde los procedimientos de comprobación estructural mediante cálculo no sean suficientes o donde los resultados de ensayos pueden llevar a una economía significativa de una estructura, existe también la posibilidad de abordar el dimensionamiento estructural mediante la combinación de ensayos y cálculos que permitan alcanzar el nivel de fiabilidad requerido.

Para ello, se seguirá lo indicado en el apartado 5.2 del Anejo 18 y en particular en su Apéndice D.

## Artículo 9. *Situaciones de proyecto.*

Las situaciones a considerar en el proyecto serán las indicadas en el apartado 3.2 del Anejo 18.

## Artículo 10. *Método de los Estados Límite.*

### 10.1 Estados Límite Últimos y Estados Límite de Servicio.

Se definen como Estados Límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada.

A los efectos de este Código, los Estados Límite se clasifican en:

- Estados Límite Últimos, conformes con el apartado 3.3 del Anejo 18, y
- Estados Límite de Servicio, conformes con el apartado 3.4 del Anejo 18.

Los principios de cálculo para su comprobación deberán ser conformes con lo indicado en los apartados 3 y 6 del Anejo 18.

## 10.2 Cumplimiento de los Estados Límite durante la vida útil.

A partir de la vida útil definida para la estructura,  $t_L$ , para cualquier edad  $t \leq t_L$ , deberá cumplirse la condición:

$$R_{dt} \geq E_{dt}$$

donde:

$R_{dt}$  Valor de cálculo de la respuesta estructural, a la edad  $t$ .

$E_{dt}$  Valor de cálculo del efecto de las acciones, a la edad  $t$ .

$t_L$  Vida útil nominal de la estructura considerada en el proyecto.

El incumplimiento de la condición anterior podrá ser considerado:

- como un Estado Límite Último, cuando pueda afectar a la seguridad de las personas o a la de la propia estructura (por ejemplo, la pérdida de sección de armadura por corrosión que sea superior a un determinado límite), o
- como un Estado Límite de Servicio, si puede afectar a la funcionalidad de la estructura, al confort de las personas o al aspecto de los elementos constructivos (por ejemplo, la fisuración del recubrimiento como consecuencia de la corrosión de las armaduras).

La comprobación de los Estados Límite asociados a la durabilidad se realizará de acuerdo con lo indicado en el Artículo 11.

### Artículo 11. Bases para la comprobación de los Estados Límite asociados a la durabilidad.

#### 11.1 General.

La durabilidad de una estructura es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

La comprobación de la vida útil requerida para la estructura comprenderá, al menos, las siguientes fases:

- a) Identificación de la vida útil nominal, según el apartado 5.1.1.
- b) Identificación del tipo de ambiente, según el apartado 11.2.
- c) Definición de la estrategia de durabilidad para el cumplimiento de la vida útil, según el apartado 11.3.
- d) Comprobación del Estado límite, según el apartado 11.4.

#### 11.2 Identificación del tipo de ambiente.

Antes de comenzar el proyecto se deberá identificar el tipo de ambiente de cada elemento estructural. En función del tipo de elemento, la clase de exposición se determinará de acuerdo con los apartados 27.1, 80.1 o con el Artículo 110, según se trate de elementos de hormigón, acero o mixtos, respectivamente.

Cuando una estructura contenga elementos con diferentes tipos de ambiente, el autor del proyecto deberá definir algunos grupos con los elementos estructurales que presenten características similares de exposición ambiental. Para ello, siempre que sea posible, se agruparán elementos del mismo tipo (por ejemplo, pilares, vigas de cubierta, cimentación, etc.), cuidando además que los criterios seguidos sean congruentes con los aspectos propios de la fase de ejecución. Para cada grupo, se identificará la clase o, en su caso, la combinación de clases, que definen la agresividad del ambiente al que se encuentran sometidos sus elementos.

### 11.3 Estrategia de durabilidad.

#### 11.3.1 Criterios generales.

En general, la estrategia de durabilidad tendrá uno de los siguientes planteamientos:

- a) Definir criterios de proyecto, de ejecución y de calidad de los materiales que garanticen una respuesta adecuada del elemento estructural frente a la agresividad del ambiente, que permita alcanzar la vida útil nominal,
- b) aislar total o parcialmente el elemento estructural del ambiente que lo rodea, de manera que desaparezca o disminuya su agresividad, para alcanzar la vida útil nominal, o
- c) cualquier combinación eficaz de los dos planteamientos anteriores, que permita alcanzar la vida útil nominal de la estructura.

Los elementos de equipamiento, tales como apoyos, juntas, drenajes, etc., pueden tener una vida más corta que la de la propia estructura por lo que, en su caso, se estudiará la adopción de medidas de proyecto que faciliten el mantenimiento y sustitución de dichos elementos durante la fase de uso.

La buena calidad de la ejecución de la obra tiene una influencia decisiva para conseguir una estructura durable. En el caso de que se produjera cualquier incidencia durante la misma que pudiera comprometer la durabilidad, se adoptarán las medidas adecuadas para corregirla, a propuesta del constructor y previa autorización de la dirección facultativa.

El proyecto incluirá un plan de mantenimiento que identifique todas las operaciones de mantenimiento derivadas de la estrategia de durabilidad que se ha adoptado para la estructura. Asimismo, identificará aquellos elementos cuya reposición esté prevista, así como su frecuencia.

#### 11.3.2 Fases de la estrategia de durabilidad.

La estrategia de durabilidad incluirá, al menos, las siguientes fases:

- a) Identificación de los mecanismos de daño, en función de la clase de exposición,
- b) selección de formas estructurales adecuadas,
- c) selección de materiales,
- d) medidas específicas frente a la agresividad,
- e) identificación de medidas a considerar durante la fase de ejecución, e
- f) identificación de medidas a considerar durante la fase de uso.

En función del tipo de elemento estructural, la estrategia de durabilidad será conforme con lo indicado en los capítulos 9, 19 y 29.

### 11.4 Comprobación de los Estados Límite asociados a la durabilidad.

Con carácter general, para todos los Estados Límite asociados a la durabilidad, este Código contempla un método simplificado, mediante la aplicación de una serie de criterios relativos a dimensiones geométricas, calidades de los productos a emplear y condiciones de ejecución y mantenimiento de la estructura, de forma que se pueda asumir el cumplimiento de los Estados Límite asociados a la durabilidad.

## CAPÍTULO 4

### Bases generales para la ejecución de las estructuras

#### Artículo 12. *Criterios generales para la ejecución de las estructuras.*

Las condiciones de ejecución de la estructura deberán ser conformes con la exigencia de seguridad y funcionalidad estructural, de acuerdo con los criterios definidos en el apartado 5.2.1 de este Código.

Los criterios de ejecución definidos en este capítulo son aplicables, con carácter general, a toda estructura sometida a cargas predominantemente estáticas. Para estructuras solicitadas a fatiga se requieren niveles superiores de ejecución acordes asimismo con la clasificación de los correspondientes detalles constructivos.

El pliego de prescripciones técnicas particulares incluirá todos los requisitos de fabricación, montaje y materiales necesarios para garantizar el nivel de seguridad del proyecto, pudiendo contener indicaciones complementarias sin reducir las exigencias tecnológicas ni invalidando los valores mínimos de calidad establecidos en este Código.

El autor del proyecto definirá las clases de ejecución aplicables, de conformidad con lo indicado en el apartado 14.3.

#### Artículo 13. *Adecuación del proceso constructivo al proyecto.*

La ejecución de una estructura comprende una serie de procesos que deberán realizarse conforme a lo establecido en el proyecto o, en su defecto, en este Código. En particular, se prestará especial atención a la adecuación de los procedimientos y las secuencias de ejecución de la obra respecto al proceso constructivo contemplado en el proyecto.

Cualquier modificación de los procesos de ejecución respecto a lo previsto en el proyecto, deberá ser previamente autorizada por la dirección facultativa, previa propuesta justificada del constructor.

Los procesos para la construcción de cada nuevo elemento durante la obra, pueden modificar las acciones actuantes y el comportamiento mecánico de la parte de estructura ya construida.

Además, algunos procesos, como el descimbrado, el pretensado, etc., pueden introducir acciones que deberán haber sido contempladas en el proyecto.

#### Artículo 14. *Gestión de los procesos constructivos.*

El constructor deberá disponer de:

a) unos procedimientos escritos para cada uno de los procesos de ejecución de la estructura, coherentes con el proyecto, acordes con la reglamentación que sea aplicable y conforme con sus propios medios de producción, y

b) un sistema de gestión de los materiales, productos y elementos que se vayan a colocar en la obra, de manera que se asegure la trazabilidad de los mismos. Dicho sistema de gestión deberá presentar, al menos, las siguientes características:

– disponer de un registro de suministradores de la obra, con identificación completa de los mismos y de los materiales y productos suministrados,

– disponer de un sistema de almacenamiento de los acopios en la obra que permita mantener, en su caso, la trazabilidad de cada una de las partidas o remesas que llegan a la obra, y

– disponer de un sistema de registro y seguimiento de las unidades ejecutadas que relacione estas con las partidas de productos utilizados y, en su caso, con las remesas empleadas en las mismas, de manera que se pueda mantener un determinado nivel de trazabilidad durante la ejecución de la obra, de acuerdo con el nivel de control y la clase de ejecución definido en el proyecto, de acuerdo con la tabla 14, donde:

- el nivel A de trazabilidad permite relacionar cada partida o remesa con el elemento construido, mientras que

- el nivel B de trazabilidad permite relacionar cada partida o remesa con el lote de ejecución.

Tabla 14. Definición de niveles de trazabilidad

Nivel de trazabilidad	Nivel de control de ejecución de estructuras de hormigón (Apartado 22.4)	Clase de ejecución de estructuras de acero (Apartado 91.2)
Nivel A.	Intenso.	Clase 3 o 4.
Nivel B.	Normal.	Clase 2.

#### 14.1 Instalaciones ajenas a la obra.

En el caso de instalaciones industriales ajenas a la obra que suministren productos elaborados o semielaborados a la misma (como por ejemplo, los talleres de estructura metálica, las industrias de prefabricados o los talleres de ferralla), deberán disponer de los sistemas adecuados de gestión de los acopios que les permitan mantener los niveles de trazabilidad establecidos para la estructura.

#### 14.2 Gestión medioambiental de la ejecución.

Sin perjuicio del cumplimiento de la legislación de protección ambiental vigente, la propiedad podrá establecer que el constructor tenga en cuenta una serie de consideraciones de carácter medioambiental durante la ejecución de la estructura, al objeto de minimizar los potenciales impactos derivados de dicha actividad. A los efectos de este Código, se pueden contemplar tres niveles de gestión medioambiental, definidos de acuerdo con el siguiente criterio:

- a) nivel de certificación medioambiental, cuando la obra se encuentre incluida en el alcance de la certificación del constructor de conformidad con UNE-EN ISO 14001 o norma equivalente ISO 14001,
- b) nivel de sensibilización medioambiental, cuando la obra no esté en posesión del certificado indicado en el punto a), pero la dirección facultativa compruebe que el constructor cumple una serie de requisitos ambientales específicos recogidos en el proyecto, previo acuerdo con la propiedad, y
- c) nivel de operatividad medioambiental, cuando el constructor se limite al cumplimiento de la legislación medioambiental vigente.

En su caso, dicha exigencia debería incluirse en un anejo de evaluación ambiental de la estructura, que formará parte del proyecto. En caso de que el proyecto no contemplara este tipo de exigencias para la fase de ejecución, la propiedad podrá obligar a su cumplimiento mediante la introducción de las cláusulas correspondientes en el contrato con el constructor.

En particular, el sistema de gestión medioambiental de la ejecución deberá identificar las correspondientes buenas prácticas medioambientales a seguir durante la ejecución de la obra. En el caso de que el proyecto haya establecido exigencias relativas a la contribución de la estructura a la sostenibilidad, de acuerdo con el capítulo 2, la ejecución deberá ser coherente con dichas exigencias.

En el caso de que algunas de las unidades de obra sean subcontratadas, el constructor, entendido este como el contratista principal, deberá velar para que se observe el cumplimiento de las consideraciones medioambientales en la totalidad de la obra.

#### 14.3 Nivel de control y clases de ejecución.

El pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto incluirá la identificación del nivel de control de ejecución en el caso de estructuras de hormigón, y de las clases de ejecución que serán aplicables a cada elemento en el caso de estructuras de acero, necesarias para garantizar el nivel adecuado de seguridad.

Una estructura de acero puede incluir elementos de distinta clase. En dicho caso, debe procederse a agrupar los elementos por clases al objeto de simplificar la

especificación de los criterios requeridos, la gestión de su comprobación y la valoración de su ejecución y control.

De acuerdo con los índices de fiabilidad adoptados en el apartado 5.2.1 de este Código, debe cumplirse una clase de fiabilidad RC2. Por ello, el nivel de inspección durante la ejecución según el apartado B5 del Anejo 18 debe ser, al menos, el IL2, lo que conlleva a que:

- en los elementos de hormigón, un control de ejecución intenso o normal (según el apartado 22.4.1), y
- en los elementos de acero, un control de ejecución intenso o normal, en función de la clase de ejecución, que deberá ser 2, 3 o 4 (según el apartado 91.2) (tabla 14.3.1).

Tabla 14.3.1 Relación entre niveles de control y clases de ejecución

Nivel de control de ejecución, según este Código	Clase de ejecución para los elementos de acero (conforme al apartado 91.2)
Intenso.	Clase 3 o 4.
Normal.	Clase 2.

Salvo indicación en contra de la reglamentación específica que le sea aplicable, en el caso de puentes, la clase de ejecución será:

- para los elementos de hormigón, control de ejecución intenso, y
- para los elementos de acero estructural, clase 3 o 4.

#### Artículo 15. *Gestión de los acopios de materiales en la obra.*

El constructor deberá disponer de un sistema de gestión de los materiales, productos y elementos estructurales que se vayan a colocar en la obra, de manera que se asegure la trazabilidad de los mismos. Dicho sistema de gestión deberá presentar, al menos, las siguientes características:

- disponer de un registro de suministradores de la obra, con identificación completa de los mismos y de los materiales y productos suministrados,
- disponer de un sistema de almacenamiento de los acopios en la obra que permita mantener, en su caso, la trazabilidad de cada una de las partidas o remesas que llegan a la obra, y
- disponer de un sistema de registro y seguimiento de las unidades ejecutadas que relacione estas con las partidas de productos utilizados y, en su caso, con las remesas empleadas en las mismas, de manera que se pueda mantener la trazabilidad durante la ejecución de la obra, de acuerdo con el nivel de control de la ejecución definido en el proyecto.

#### Artículo 16. *Actuaciones asociadas a la ejecución.*

##### 16.1 Actuaciones previas al comienzo de la ejecución.

Antes del inicio de la ejecución de la estructura, la dirección facultativa velará para que el constructor efectúe las actuaciones siguientes:

- depósito en las instalaciones de la obra del correspondiente libro de órdenes, facilitado por la dirección facultativa;
- identificación de suministradores inicialmente previsto, así como del resto de agentes involucrados en la obra, reflejando sus datos en el correspondiente directorio que deberá estar permanentemente actualizado hasta la recepción de la obra;

– comprobación de la existencia de la documentación que avale la idoneidad técnica de los equipos previstos para su empleo durante la obra como, por ejemplo, los certificados de calibración o la definición de los parámetros óptimos de soldeo de los equipos de soldadura; y

– en caso de que se pretenda realizar soldaduras en obra, se comprobará la existencia de personal soldador con la cualificación u homologación suficiente, conforme a las exigencias de este Código.

Además, el constructor deberá comprobar la conformidad de la documentación previa de cada uno de los productos antes de su utilización, de acuerdo con los criterios establecidos por este Código.

Asimismo, con carácter previo al inicio de la ejecución, el constructor deberá comprobar que no hay constancia documental de modificaciones sustanciales que puedan conllevar alteraciones respecto a la estructura de hormigón proyectada inicialmente como, por ejemplo, como consecuencia de la ubicación de nuevas instalaciones.

Al objeto de conseguir la trazabilidad de los materiales y productos empleados en la obra, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 14, el constructor deberá comunicar a la dirección facultativa las características del sistema que garantice dicha trazabilidad, con indicación de los criterios de gestión de las partidas y remesas recibidas en la obra, así como de los correspondientes acopios en la misma.

#### 16.2 Actuaciones durante el desarrollo de la ejecución.

Todas las actividades desarrolladas durante la fase ejecución deberán ser conformes con los procedimientos de proceso definidos previamente por el constructor y autorizados por la dirección facultativa.

Cualquier incidencia o desviación respecto a los mencionados procedimientos deberá ser documentada e incorporada a la documentación de control gestionada por el constructor, informándose de ello a la dirección facultativa.

Sin perjuicio de la reglamentación específica que le sea de aplicación, cualquier empleo durante la obra de un elemento auxiliar (puntales, cimbras, etc.) será responsabilidad del constructor, que deberá disponer de los documentos correspondientes (proyecto, certificado, etc., según el caso) que avalen la conformidad de tales elementos para el uso que se pretende.

## CAPÍTULO 5

### Bases generales para la gestión de la calidad de las estructuras

#### Artículo 17. *Criterios generales para la gestión de la calidad de las estructuras.*

Las estructuras deberán presentar para su recepción una calidad conforme con los criterios y especificaciones definidos en su proyecto, de forma que pueda asumirse el cumplimiento, con una garantía suficiente, de los requisitos exigibles a la estructura en su proyecto.

La dirección facultativa en representación de la propiedad, deberá asumir desde su ámbito competencial dicho cumplimiento para la aceptación de la estructura, cuando así se derive de la aplicación de un sistema de gestión de la calidad de acuerdo con los criterios establecidos en este Código.

La garantía de la calidad de dicha estructura será responsabilidad del constructor. Para ello, el constructor de una estructura dispondrá de un sistema de aseguramiento de la calidad propio que incluya las evidencias necesarias para dar cumplimiento a los requerimientos del control e inspección establecidos en el correspondiente proyecto de ejecución y en este Código Estructural. Este sistema de aseguramiento de la calidad aplicado al proyecto en sí, se describirá en el denominado procedimiento de autocontrol del constructor.

La dirección facultativa, en representación de la propiedad, deberá velar porque se efectúen las comprobaciones de control suficientes que le permitan asumir la conformidad de la estructura en relación con los requisitos básicos para los que ha sido concebida y proyectada.

Cuando la propiedad decida la realización de un control del proyecto de la estructura, podrá comprobar su conformidad de acuerdo con lo indicado en la tabla 17.1.

La conformidad de la estructura precisará también de la realización de los controles efectuados durante su ejecución que se señalan en la tabla 17.1.

Tabla 17.1 Definición de tipos de conformidad

Tipo de conformidad	Artículos y capítulos del Código Estructural de aplicación a:		
	Estructuras de hormigón	Estructuras de acero	Estructuras mixtas hormigón-acero
Control del proyecto.	Artículo 20 + capítulo 12.	Artículo 20 + capítulo 22.	Artículo 20 + capítulo 32.
Control de la conformidad de los productos.	Artículo 21 + capítulo 13.	Artículo 21 + capítulo 23.	Artículo 21 + capítulo 33.
Control de la ejecución de la estructura.	Artículo 22 + capítulo 14.	Artículo 22 + capítulo 24.	Artículo 22 + capítulo 34.
Control de la estructura terminada.	Artículo 23.	Artículo 23.	Artículo 23.

Este Código contempla una serie de comprobaciones que permiten desarrollar los controles anteriores.

La propiedad, en función de las características de la estructura, establecerá la sistemática general para conseguir la garantía suficiente en la comprobación de la conformidad de los productos y procesos incluidos en este Código, para lo que podrá optar por una de las siguientes alternativas:

- a) un control basado en una comprobación estadística del producto o proceso, llevada a cabo por un laboratorio o entidad de control independiente que desarrolle su actividad para la dirección facultativa, o
- b) un control basado en una comprobación estadística del producto o proceso, llevada a cabo directamente por el constructor, combinado con un control externo del anterior llevado a cabo por la dirección facultativa, asistida o no por laboratorios o entidades de control independientes.

No obstante, la dirección facultativa podrá también optar, por otras alternativas de control siempre que demuestre, bajo su supervisión y responsabilidad, que son equivalentes a las establecidas en este código.

Las decisiones que se deriven del control se orientaran a garantizar el buen funcionamiento y seguridad de la estructura durante el periodo de vida útil definido en el proyecto.

Siempre que la legislación aplicable lo permita, el coste del control de calidad efectuado por la dirección facultativa y estimado en el plan de control deberá considerarse de forma independiente en el presupuesto de cualquiera de las actuaciones referentes a la obra y será retribuido directamente por la propiedad y no por la empresa constructora.

En cualquier caso, los agentes responsables del control deberán estar en disposición de demostrar su capacidad para realizar las labores de control establecidas, de acuerdo con lo contemplado al efecto en la normativa vigente que sea aplicable.

### 17.1 Definiciones.

A los efectos de las actividades de control contempladas por este Código, se definen como:

- Partida: cantidad de producto de la misma designación y procedencia contenido en una misma unidad de transporte (contenedor, cuba, camión, etc.) y que se recibe en la obra o en el lugar destinado para su recepción. En el caso del hormigón, las partidas suelen identificarse con las unidades de producto o amasadas.
- Remesa: conjunto de productos de la misma procedencia, identificados individualmente, contenidos en una misma unidad de transporte (contenedor, camión, etc.) y que se reciben en el lugar donde se efectúa la recepción.
- Acopio: cantidad de material o producto, procedente de una o varias partidas o remesas, que se almacena conjuntamente tras su entrada en la obra, hasta su utilización definitiva.
- Lote de material o producto: cantidad de material o producto que se somete a recepción en su conjunto.
- Lote de ejecución: parte de la obra, cuya ejecución se somete a aceptación en su conjunto.
- Unidad de inspección: conjunto de las actividades, correspondientes a un mismo proceso de ejecución, que es sometido a control para la recepción de un lote de ejecución.

### 17.2 Agentes del control de la calidad.

#### 17.2.1 Dirección facultativa.

La dirección facultativa, en uso de sus atribuciones y actuando en nombre de la propiedad, tendrá las siguientes obligaciones y responsabilidades respecto al control:

- a) aprobar un programa de control de calidad para la obra, que desarrolle el plan de control incluido en el proyecto,
- b) velar por el desarrollo y validar las actividades de control en los siguientes casos:
  - control de recepción de los productos que se coloquen en la obra conforme al programa de control,
  - control de los productos una vez recepcionados hasta su colocación,
  - control de la ejecución, y
  - en su caso, control de recepción de otros productos que lleguen a la obra para ser transformados en las instalaciones propias de la misma.
- c) recopilar y archivar la documentación del control realizado.

La dirección facultativa podrá requerir también cualquier justificación adicional de la conformidad de los productos empleados en cualquier instalación industrial que suministre productos a la obra. Asimismo, podrá decidir la realización de comprobaciones, tomas de muestras, ensayos o inspecciones sobre dichos productos antes de ser transformados o durante su transformación.

En el ámbito de la edificación, de acuerdo con el Artículo 13 de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, estas serán obligaciones del director de la ejecución.

#### 17.2.2 Laboratorios y entidades de control de calidad.

La propiedad encomendará la realización de los ensayos de control a un laboratorio que sea conforme a lo establecido en el apartado 17.2.2.1. Asimismo, podrá encomendar a entidades de control de calidad otras actividades de asistencia técnica relativas al control de proyecto, de los productos o de los procesos de ejecución empleados en la obra, de conformidad con lo indicado en 17.2.2.2. En su caso, la toma de muestras podrá ser encomendada a cualquiera de los agentes a los que se refiere este apartado siempre que

disponga de la correspondiente acreditación, salvo que esta no sea exigible de acuerdo con la reglamentación específica aplicable.

Los laboratorios y entidades de control de calidad deberán poder demostrar su independencia respecto al resto de los agentes involucrados en la obra. Previamente al inicio de la misma, entregarán a la propiedad una declaración, firmada por persona física, que avale la referida independencia y que deberá ser incorporada por la dirección facultativa a la documentación final de la obra.

#### 17.2.2.1 Laboratorios de control.

Los ensayos que se efectúen para comprobar la conformidad de los productos a su recepción en la obra en cumplimiento de este Código, serán encomendados a laboratorios privados o públicos con capacidad suficiente e independientes del resto de los agentes que intervienen en la obra. Esta independencia se extiende a la propiedad de la obra, salvo en el caso que se trate de obras promovidas por una Administración.

La propiedad o la persona en quien delegue podrá visitar a los laboratorios con objeto de verificar su idoneidad para desarrollar los trabajos encomendados. El alcance de la visita recogerá la adecuación de los equipos e instalaciones, capacitación de los trabajadores y procedimientos de trabajo

En el caso de que el constructor realice ensayos para contrastar los resultados del control externo, como medida adicional para asegurar la calidad de la obra, el laboratorio implicado deberá cumplir los requisitos de capacidad e independencia reflejados en el primer párrafo de este apartado.

Los laboratorios privados deberán justificar su capacidad mediante su acreditación obtenida conforme al Reglamento (CE) N.º 765/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio para los ensayos correspondientes; o, bien, mediante el cumplimiento de los requisitos establecidos por el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, que tengan declarados los ensayos correspondientes. Se considerará su inscripción en el Registro General del CTE en la Sección correspondiente a Laboratorios de Ensayo para el Control de Calidad de la Edificación.

Podrán emplearse también laboratorios de control con capacidad suficiente y perteneciente a cualquier centro directivo de las Administraciones Públicas con competencias en el ámbito de la edificación o de la obra pública.

En el caso de que un laboratorio no pudiese realizar con sus medios alguno de los ensayos establecidos para el control, podrá subcontratarlo a un segundo laboratorio, previa aprobación de la dirección facultativa, siempre que este último pueda demostrar una independencia y una capacidad suficiente de acuerdo con lo indicado en este artículo. En el caso de laboratorios situados en obra, deberán estar ligados a laboratorios que puedan demostrar su capacidad e independencia conforme a lo indicado en los párrafos anteriores de este apartado, que los deberán integrar en sus correspondientes sistemas de calidad.

#### 17.2.2.2 Entidades de control de calidad.

El control de recepción de los productos, el control de ejecución y, en su caso, el control de proyecto, podrán ser realizados con la asistencia técnica de entidades de control de calidad con capacidad suficiente e independientes del resto de los agentes que intervienen en la obra. Esta independencia no será condición necesaria en el caso de entidades de control de calidad pertenecientes a la propiedad.

En el caso de obras de edificación, las entidades de control de calidad serán aquellas a las que hace referencia el Artículo 14 de la Ley 38/1999, de Ordenación de la Edificación. Estas entidades deberán justificar su capacidad mediante el cumplimiento de los requisitos establecidos en el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo.

Podrá emplearse también una entidad pública de control de calidad, con capacidad suficiente y perteneciente a cualquier centro directivo de las Administraciones Públicas con competencias en el ámbito de la edificación o de la obra pública.

Artículo 18. *Garantía de la conformidad de productos y procesos de ejecución, distintivos de calidad.*

La ejecución de la estructura se llevará a cabo según el proyecto y las modificaciones autorizadas y documentadas por la dirección facultativa. Durante la ejecución de la estructura se elaborará la documentación que reglamentariamente sea exigible y en ella se incluirá, sin perjuicio de lo que establezcan otras reglamentaciones, la documentación a la que hace referencia el Anejo 4 de este Código.

En todas las actividades ligadas al control de recepción, podrá estar presente un representante del agente responsable de la actividad o producto controlado (autor del proyecto, suministrador de hormigón, suministrador de las armaduras elaboradas, suministrador de los elementos prefabricados, constructor, etc.). En el caso de la toma de muestras, cada representante se quedará con copia del acta correspondiente. Cuando se produzca cualquier incidencia en la recepción derivada de resultados de ensayo no conformes, el suministrador y en su caso, el constructor, tendrá derecho a recibir una copia del correspondiente informe del laboratorio y que deberá ser facilitada por la dirección facultativa.

La conformidad de los productos y de los procesos de ejecución respecto a las exigencias básicas definidas por este Código, requiere que satisfagan con un nivel de garantía suficiente un conjunto de especificaciones.

De forma voluntaria, los productos y los procesos pueden disponer de las garantías necesarias para que se cumplan los requisitos mínimos contemplados en este Código, mediante la incorporación de sistemas (como por ejemplo, los distintivos de calidad) que avalen, a través de las correspondientes auditorías, inspecciones y ensayos, que sus sistemas de calidad y sus controles de producción, cumplen las exigencias requeridas para la concesión de tales sistemas. Dichos sistemas deberán ser coherentes con las consideraciones especiales contempladas en este Código, con el fin de que el índice de fiabilidad de la estructura sea al menos el mismo, independientemente de los materiales que utilice.

A los efectos de este Código, dichas garantías pueden demostrarse por cualquiera de los siguientes procedimientos:

- a) mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido (DCOR) concedido a un organismo de certificación acreditado conforme al Reglamento (CE) N.º 765/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio,
- b) en el caso de productos fabricados en la propia obra o de procesos ejecutados en la misma, mediante un sistema equivalente validado y supervisado bajo la responsabilidad de la dirección facultativa, que asegure que el índice de fiabilidad de la estructura es al menos el mismo.

Este Código contempla la aplicación de ciertas consideraciones especiales en la recepción para aquellos productos y procesos que presenten las garantías necesarias para su cumplimiento mediante cualquiera de los dos procedimientos mencionados en el párrafo anterior.

El control de recepción tendrá en cuenta las garantías asociadas a la posesión de un distintivo, siempre que este cumpla unas determinadas condiciones. Así, tanto en el caso de los procesos de ejecución, como en el de los productos que no requieran el marcado CE según el Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, este Código permite aplicar unas consideraciones especiales en su recepción, cuando ostenten un distintivo de calidad de carácter voluntario que esté oficialmente reconocido por la Subdirección General de Normativa y Estudios Técnicos del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana u otro órgano directivo con competencias en el ámbito de la edificación o de la obra pública y perteneciente a la Administración Pública de cualquier Estado miembro de la Unión Europea, de Turquía o de cualquiera de los Estados firmantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo.

Lo dispuesto en el párrafo anterior será también de aplicación a los productos de construcción fabricados o comercializados legalmente en un Estado que tenga un acuerdo de asociación aduanera con la Unión Europea, cuando ese acuerdo reconozca a esos productos el mismo tratamiento que a los fabricados o comercializados en un Estado miembro de la Unión Europea.

De acuerdo al apartado 4.1, en el caso de los productos con marcado CE, los distintivos de calidad oficialmente reconocidos no podrán certificar la conformidad con las prestaciones declaradas en lo que respecta a las características esenciales cubiertas por la norma armonizada, ni tampoco con las prestaciones de ninguna característica esencial relacionada con los requisitos básicos incluidos en el anexo I del Reglamento (EU) 305/2011, de 9 de marzo de 2011.

#### 18.1 Procedimiento de reconocimiento oficial de distintivos de calidad.

El reconocimiento oficial del distintivo se desarrollará conforme al procedimiento que establezca la Administración reconocedora de cualquier Estado miembro de la Unión Europea, de Turquía o de cualquier Estado de la Asociación Europea de Libre Comercio signatario del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo.

En el caso de los reconocimientos de distintivos por parte del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, se aplicará el siguiente procedimiento.

Estarán legitimados para presentar las solicitudes de reconocimiento oficial de un distintivo de calidad, los organismos de certificación acreditados conforme a los apartados de este Código que le sean de aplicación y a la norma UNE-EN ISO/IEC 17065 según el Reglamento (CE) N.º 765/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de julio, por el que se establecen los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado relativos a la comercialización de productos.

Las solicitudes deberán acompañarse de al menos la siguiente documentación:

- a) Memoria explicativa y justificativa de la solicitud.
- b) Reglamento regulador del distintivo en donde se definan las garantías particulares, procedimiento de concesión, régimen de funcionamiento, requisitos técnicos y reglas para la toma de decisiones. En cualquier caso, dicho reglamento incluirá la declaración explícita del cumplimiento del contenido de este Código.
- c) Cualquier otra documentación que la Administración reconocedora establezca o considere necesaria en relación al ámbito de certificación en el que se desarrolle el distintivo.

La Administración reconocedora podrá recabar los informes o dictámenes de los expertos por ella designados, en función de las características de la certificación cuyo reconocimiento se solicita.

Para mayor difusión y comodidad en el acceso de la información por parte de los usuarios, cualquier Administración reconocedora de las contempladas en los párrafos anteriores para el reconocimiento oficial de un distintivo de calidad, podrá solicitar la publicación de los distintivos por ellas reconocidas en las páginas web de las Comisiones Permanentes que proponen este Código, creadas a tal efecto.

Si la resolución de la Administración reconocedora fuese desfavorable al reconocimiento, la finalización del procedimiento se produciría con la comunicación al solicitante.

La enmienda o retirada del reconocimiento oficial del distintivo podrá ser realizada a instancia o de parte, para lo cual se iniciará el procedimiento mediante la oportuna solicitud y se regirá conforme a los mismos trámites que para su reconocimiento.

La Administración reconocedora vigilará la correcta aplicación de los distintivos, por lo que podrá participar en todas aquellas actividades que se consideren relevantes para el correcto funcionamiento del distintivo así como asistir a las inspecciones que realicen los servicios de inspección correspondientes a las instalaciones que ostenten el distintivo de calidad, para verificar la correcta actuación de estos en la supervisión de las características técnicas de los productos y la adecuación del control interno sobre su producción.

Si se detectase alguna anomalía en estos procedimientos, la Autoridad reconocedora podrá incoar un expediente y podrá suspender el reconocimiento, comunicando previamente la propuesta de retirada al solicitante con el objeto de que pueda formular alegaciones. La validez del reconocimiento quedará condicionada durante el período de validez, al mantenimiento de las condiciones que los motivan.

18.2 Distintivos de calidad concedidos por entidades de certificación en otros Estados.

No será necesaria la declaración explícita requerida en el punto b) del apartado 18.1, si una entidad de certificación de otro Estado miembro de la Unión Europea, de Turquía o de cualquiera de los Estados firmantes del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, evalúa la conformidad respecto a cualquier norma o reglamento que, manteniendo al menos las garantías necesarias para verificar un nivel similar de calidad del producto o proceso y de sus características técnicas, demuestre que se cumplen los requisitos de seguridad estructural contemplados en este Código.

Artículo 19. *Plan y programa de control.*

En el plan de control de calidad del proyecto de ejecución de una obra se incluirá el plan de control de la estructura, indicando las comprobaciones y ensayos que se consideren oportunos. Así mismo se deberá valorar el coste total del control de calidad de la estructura.

Antes de iniciar las actividades de control en la obra, la dirección facultativa aprobará un programa de control, preparado de acuerdo con el plan de control definido en el proyecto, y que tenga en cuenta el cronograma o plan de obra del constructor y su procedimiento de autocontrol. El programa de control contemplará, al menos, los siguientes aspectos:

- a) la identificación de productos y procesos objeto de control, definiendo los correspondientes lotes de control y unidades de inspección, describiendo para cada caso las comprobaciones a realizar y los criterios a seguir en el caso de no conformidad;
- b) la previsión de medios materiales y humanos destinados al control con identificación, en su caso, de las actividades a subcontratar;
- c) la programación del control, en función del procedimiento de autocontrol del constructor y del cronograma de obra previsto para la ejecución por el mismo;
- d) la designación del responsable encargado de la toma de muestras, así como el procedimiento para la toma de estas muestras: lotificación según plan de ensayos, realización de probetas según normativa contemplada en este Código, conservación de las muestras (en obra hasta su traslado a laboratorio); y
- e) el sistema de documentación del control que se empleará durante la obra.

Dicho programa de control podrá constituir un documento independiente o estar incluido en otro documento (por ejemplo, en el esquema director de la calidad, en el caso de obras de puentes de carretera).

Artículo 20. *Control de la conformidad del proyecto.*

El control del proyecto tiene por objeto comprobar su conformidad con este Código y con el resto de la reglamentación que le fuera aplicable, así como comprobar su grado de definición, la calidad del mismo y todos los aspectos que puedan incidir en la calidad final de la estructura proyectada.

La propiedad podrá decidir la realización del control de proyecto, que como mínimo deberá realizarse por una persona distinta a aquellos inicialmente responsables y de conformidad con el procedimiento de la organización. Para ello, podrá contar con la asistencia técnica de una entidad de control de calidad, de acuerdo con lo indicado en el apartado 17.2.2.2.

#### Artículo 21. *Control de la conformidad de los productos.*

El control de recepción de los productos tiene por objeto comprobar que sus características técnicas y prestaciones cumplen con lo exigido en el proyecto y, en su defecto, en este Código.

En el caso de productos que deban disponer del marcado CE según el Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán evaluarse de conformidad con la norma armonizada que le sea de aplicación, de las recogidas en las Resoluciones que periódicamente emite el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo por la que se publican las referencias a las normas UNE que son transposición de normas armonizadas, así como el período de coexistencia y la entrada en vigor del marcado CE relativo a varias familias de productos de construcción. 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 según lo especificado en la norma armonizada y de ponerlas a disposición de quien las solicite con el fin de que, a su vez, pueda transmitir 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 que está recepcionando es conforme con las especificaciones requeridas. La dirección facultativa, conforme a las obligaciones recogidas en el apartado 17.2.1 de este Código, teniendo en cuenta que el marcado CE no garantiza su idoneidad para un uso concreto, y una vez validado el control de recepción, será el responsable de velar porque el producto incorporado en la obra es adecuado a su uso y cumple con las especificaciones requeridas. Se verificará que los valores declarados en los documentos que acompañan al marcado CE son conformes con las especificaciones indicadas en el proyecto y, en su defecto, en este Código.

Tanto el pliego de prescripciones técnicas particulares o, en su caso, el plan de control del proyecto como el programa de control de la obra podrán disponer la realización de comprobaciones o ensayos sobre las partidas o remesas de los productos suministrados a la obra o sobre los que se utilicen para la fabricación de los mismos. Dichos ensayos y comprobaciones se podrán realizar igualmente cuando así lo estime, en el uso de sus atribuciones, la dirección facultativa.

En el caso de que se detecte la no conformidad de las prestaciones de un producto que ostente el marcado CE, a raíz de los ensayos de recepción, con la declaración de prestaciones de dicho producto, o incumplimientos por ausencia de marcado CE obligatorio o defectos documentales, el responsable de la recepción o, en su caso, la dirección facultativa, podrá trasladar la información disponible a las autoridades de vigilancia del mercado, al objeto de que inicien, en su caso, los procedimientos previstos en el capítulo VIII del Reglamento (UE) N.º 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011.

En otros casos, el control de recepción de los productos comprenderá:

- a) el control de la documentación de los suministros que llegan a la obra, de acuerdo con lo indicado en este Código, y
- b) en su caso, el control mediante ensayos, conforme con los Capítulos 13, 23 y 33 de este Código.

La dirección facultativa podrá considerar las garantías adicionales aportadas, en su caso, por distintivos de calidad oficialmente reconocidos, de acuerdo con lo indicado en el Artículo 18 de este Código.

Este Código recoge unos criterios para comprobar la conformidad con el mismo de los productos que se reciben en la obra. Análogamente, también recoge los criterios para la comprobación, en su caso, de la conformidad antes de su transformación, de los productos que pueden ser empleados para la elaboración de aquellos.

La dirección facultativa, en uso de sus atribuciones, podrá disponer en cualquier momento la realización de comprobaciones o ensayos adicionales sobre las remesas o las partidas de productos suministrados a la obra o sobre los empleados para la elaboración de los mismos.

#### 21.1 Control documental de los suministros.

Los suministradores entregarán al constructor, quien los trasladará a la dirección facultativa, cualquier documento de identificación del producto exigido por la reglamentación aplicable o, en su caso, por el proyecto o por la dirección facultativa. Sin perjuicio de lo establecido adicionalmente para cada producto en otros artículos de este Código, se facilitarán, al menos, los siguientes documentos que se detallan en el Anejo 4:

##### a) antes del suministro:

– los documentos de conformidad, declaración responsable del fabricante o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente, incluida cuando proceda la documentación correspondiente al marcado CE de los productos de construcción, de acuerdo al Reglamento (UE) N.º 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011.

– en su caso, certificado de inspección de la central suministradora del hormigón preparado, según proceda, en función de lo establecido en la reglamentación industrial vigente relativa al control de producción de hormigones fabricados en central.

– en su caso, declaración del suministrador firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que conste que, en la fecha de la misma, el producto está en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, y fotocopia del mismo,

##### b) durante el suministro:

– las hojas de suministro de cada partida o remesa,

##### c) después del suministro:

– el certificado final de suministro del producto suministrado, firmado por persona física con poder de representación suficiente.

En el caso de que los productos suministrados dispongan de distintivos de calidad oficialmente reconocidos que supongan una garantía superior y que vienen contemplados en el Artículo 18 de este Código, deberá efectuarse un control documental específico. Para ello los suministradores entregarán al constructor, quien los facilitará a la dirección facultativa, los certificados que avalen que los productos que se suministrarán están en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido vigente. La documentación ha de ir acompañada de una declaración del suministrador firmada por persona física en la que conste la fecha de vigencia del distintivo, acompañado de copia del certificado.

Antes del suministro, la dirección facultativa comprobará que el material certificado se adapta al especificado en el proyecto y fijará la realización de las comprobaciones previstas en el Capítulo 13, 23 y 33 de este Código para este tipo de distintivos.

#### 21.1.1 Documentación del mercado CE.

Para aquellos productos que estén sujetos al mercado CE en aplicación del Reglamento (UE) N.º 305/2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, la documentación que el fabricante o suministrador (distribuidor o importador) del producto debe entregar como justificación del correcto marcado CE es:

a) Copia de la declaración de prestaciones, según lo establecido en el artículo 6 del Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011. La declaración de prestaciones se puede aportar: por vía electrónica (e-mail o fax); a través de la página web del

suministrador, siguiendo los criterios del Reglamento Delegado (UE) N.º 157/2014 de la Comisión Europea; y siempre en formato papel si así lo requiere el receptor del producto.

b) El marcado o etiquetado CE del producto, que podrá entregarse: sobre el producto o embalaje; en una etiqueta adherida al producto o embalaje; o en la documentación de acompañamiento (por ejemplo, en el albarán).

c) En el caso de que se considere necesario para garantizar la correcta instalación del producto se acompañará al mismo sus instrucciones e información de seguridad, como se indica en el artículo 11, punto 6, del Reglamento (UE) N.º 305/2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011.

Estos documentos deberán facilitarse en idioma español.

#### 21.2 Control de recepción mediante ensayos.

Para verificar el cumplimiento de las exigencias de este Código puede ser necesario, en determinados casos, realizar ensayos sobre algunos productos, según lo establecido en este Código o bien, según lo especificado en el proyecto u ordenado por la dirección facultativa.

En el caso de efectuarse ensayos, los laboratorios de control facilitarán sus resultados acompañados de la incertidumbre de medida para un determinado nivel de confianza, así como la información relativa a las fechas, tanto de la entrada de la muestra en el laboratorio como la de realización de los ensayos.

Las entidades y los laboratorios de control de calidad entregarán los resultados de su actividad al agente autor del encargo y, en todo caso, a la dirección facultativa.

#### Artículo 22. *Control de la conformidad de los procesos de ejecución.*

El control de la ejecución, establecido como preceptivo por este Código, tiene por objeto comprobar que los procesos realizados durante la construcción de la estructura, se organizan y desarrollan de forma que la dirección facultativa pueda asumir su conformidad respecto al proyecto, de acuerdo con lo indicado en este Código.

Durante la construcción de la estructura, la dirección facultativa controlará la ejecución de cada parte de la misma, bien directamente o a través de una entidad de control, verificando su replanteo, los productos que se utilicen y la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos. Efectuará cualquier comprobación adicional que estime necesaria para comprobar la conformidad con lo indicado en el proyecto, la reglamentación aplicable y las órdenes de la propia dirección facultativa. Comprobará que se han adoptado las medidas necesarias para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos.

El control de la ejecución comprenderá:

- a) la comprobación del control de producción del constructor, y
- b) la realización de inspecciones de los procesos durante la ejecución.

#### 22.1 Control de la ejecución mediante comprobación del control de producción del constructor.

El constructor tiene la obligación de definir y desarrollar un sistema de seguimiento, que permita comprobar la conformidad de la ejecución. Para ello, elaborará el plan de obra y el programa de autocontrol de la ejecución de la estructura, desarrollando el plan de control definido en el proyecto.

El programa de autocontrol contemplará las particularidades concretas de la obra, relativas a medios, procesos y actividades y se desarrollará el seguimiento de la ejecución de manera que permita a la dirección facultativa comprobar la conformidad con las especificaciones del proyecto y lo establecido en el Código. Para ello, los resultados de todas las comprobaciones realizadas serán documentados por el constructor, en los registros de autocontrol.

El programa de autocontrol deberá ser aprobado por la dirección facultativa antes del inicio de los trabajos.

Los resultados de todas las comprobaciones realizadas en el autocontrol deberán registrarse en un soporte, físico o electrónico, que deberá estar a disposición de la dirección facultativa. Cada registro deberá estar firmado por la persona física que haya sido designada por el constructor para el autocontrol de cada actividad.

Durante la obra, el constructor deberá mantener a disposición de la dirección facultativa un registro permanentemente actualizado, donde se reflejen las designaciones de las personas responsables de efectuar en cada momento el autocontrol relativo a cada proceso de ejecución. Una vez finalizada la obra, dicho registro se incorporará a la documentación final de la misma.

Además, en función del nivel de control de la ejecución, el constructor definirá un sistema de gestión de los acopios suficiente para conseguir la trazabilidad requerida de los productos y elementos que se colocan en la obra.

#### 22.2 Control de la ejecución mediante inspección de los procesos.

La dirección facultativa, en representación de la propiedad, tiene la obligación de efectuar el control de la ejecución, comprobando los registros del autocontrol del constructor y efectuando las inspecciones puntuales de los procesos de ejecución que sean necesarios, según lo especificado en proyecto, lo establecido por este Código o lo ordenado por la propia dirección facultativa. Para ello, la dirección facultativa podrá contar con la asistencia técnica de una entidad de control de calidad, de acuerdo con el apartado 17.2.2.

En su caso, la dirección facultativa podrá eximir de la realización de las inspecciones externas para aquellos procesos de la ejecución de la estructura que se encuentren en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

#### 22.3 Programación del control de ejecución.

La programación del autocontrol de la ejecución identificará, entre otros aspectos, los siguientes:

- niveles de control y clases de ejecución
- lotes de ejecución,
- unidades de inspección,
- frecuencias de comprobación.

#### 22.4 Niveles de control de la ejecución.

A los efectos de este Código, se contemplan dos niveles de control:

- a) Control de ejecución a nivel normal (conforme al Artículo 14)
- b) Control de ejecución a nivel intenso (conforme al Artículo 14)

Cuando se realice un control de ejecución a nivel intenso el constructor deberá estar en posesión de un sistema de la calidad certificado conforme a la UNE-EN ISO 9001, obtenido de una entidad certificada conforme a la UNE-EN ISO/IEC 17021 para el alcance de las actividades de ejecución requeridas.

#### Artículo 23. *Control de la comprobación de la conformidad de la estructura terminada.*

Una vez finalizada la estructura, en su conjunto o alguna de sus fases, la dirección facultativa velará para que se realicen las comprobaciones y pruebas de carga exigidas en su caso por la reglamentación vigente que le fuera aplicable, además de las que pueda establecer voluntariamente el proyecto o decidir la propia dirección facultativa; determinando la validez, en su caso, de los resultados obtenidos.

### 23.1 Documentación generada para la comprobación de la conformidad.

La conformidad de la estructura requiere de la consecución de una trazabilidad adecuada entre los productos que se colocan en la obra con carácter permanente citados en este Código, y cualquier otro producto que se haya empleado para su elaboración, de acuerdo con los niveles establecidos en el Artículo 14.

Todas las actividades relacionadas con el control establecido por este Código deberán quedar documentadas en los correspondientes registros, físicos o electrónicos, que permitan disponer de las evidencias documentales de todas las comprobaciones, actas de ensayo y partes de inspección que se hayan llevado a cabo, han de ser incluidas, una vez finalizada la obra, en la documentación final de la misma.

Los registros estarán firmados por la persona física responsable de llevar a cabo la actividad de control y, en el caso de estar presente, por la persona representante del suministrador del producto o de la actividad controlada.

Las hojas de suministro estarán firmadas, en representación del suministrador, por persona física con capacidad suficiente.

En el caso de procedimientos electrónicos, la firma deberá ajustarse a lo establecido en la Ley 59/2003, de 19 de diciembre, de firma electrónica.

### 23.2 Pruebas de carga.

En general, las pruebas de carga pueden agruparse de acuerdo con su finalidad en:

#### a) Pruebas de carga reglamentarias.

Son todas aquellas fijadas por el pliego de prescripciones técnicas particulares o instrucciones o reglamentos, y que tratan de realizar un ensayo que constate el comportamiento de la estructura ante situaciones representativas de sus acciones de servicio. Las reglamentaciones de puentes de carretera y puentes de ferrocarril fijan, en todos los casos, la necesidad de realizar ensayos de puesta en carga previamente a la recepción de la obra. Estas pruebas tienen por objeto comprobar la adecuada concepción y la buena ejecución de las obras frente a las cargas normales de explotación, comprobando si la obra se comporta según los supuestos de proyecto, garantizando con ello su funcionalidad.

Hay que añadir, además, que en las pruebas de carga se pueden obtener valiosos datos de investigación que deben confirmar las teorías de proyecto (reparto de cargas, giros de apoyos, flechas máximas) y utilizarse en futuros proyectos.

Estas pruebas no deben realizarse antes de que el hormigón haya alcanzado la resistencia de proyecto. Pueden contemplar diversos sistemas de carga, tanto estáticos como dinámicos.

Las pruebas dinámicas son preceptivas en puentes de ferrocarril y en puentes de carretera y estructuras en las que se prevea un considerable efecto de vibración, de acuerdo con las Instrucciones de acciones correspondientes. En particular, este último punto afecta a los puentes con luces superiores a los 60 m o diseño inusual, utilización de nuevos materiales y pasarelas y zonas de tránsito en las que, por su esbeltez, se prevé la aparición de vibraciones que puedan llegar a ocasionar molestias a los usuarios. El proyecto y realización de este tipo de ensayos deberá estar encomendado a equipos técnicos con experiencia en este tipo de pruebas.

La evaluación de las pruebas de carga reglamentarias requiere la previa preparación de un proyecto de prueba de carga, que debe contemplar la diferencia de actuación de acciones (dinámica o estática) en cada caso. De forma general, y salvo justificación especial, se considerará el resultado satisfactorio cuando se cumplan las siguientes condiciones:

– En el transcurso del ensayo no se producen fisuras que no se correspondan con lo previsto en el proyecto y que puedan comprometer la durabilidad y seguridad de la estructura.

- Las flechas medidas no exceden los valores establecidos en proyecto como máximos compatibles con la correcta utilización de la estructura.

- Las medidas experimentales determinadas en las pruebas (giros, flechas, frecuencias de vibración) no superan las máximas calculadas en el proyecto de prueba de carga en más de un 15 % en caso de hormigón armado y en 10 % en caso de hormigón pretensado.

- La flecha residual después de retirada la carga, habida cuenta del tiempo en que esta última se ha mantenido, es lo suficientemente pequeña como para estimar que la estructura presenta un comportamiento esencialmente elástico. Esta condición deberá satisfacerse tras un primer ciclo carga-descarga, y en caso de no cumplirse, se admite que se cumplan los criterios tras un segundo ciclo.

b) Pruebas de carga como información complementaria.

En ocasiones es conveniente realizar pruebas de carga como ensayos para obtener información complementaria, en el caso de haberse producido cambios o problemas durante la construcción. Salvo que lo que se cuestione sea la seguridad de la estructura, en este tipo de ensayos no deben sobrepasarse las acciones de servicio, siguiendo unos criterios en cuanto a la realización, análisis e interpretación semejantes a los descritos en el caso anterior.

c) Pruebas de carga para evaluar la capacidad resistente.

En algunos casos las pruebas de carga pueden utilizarse como medio para evaluar la seguridad de estructuras. En estos casos la carga a materializar deberá ser una fracción de la carga de cálculo superior a la carga de servicio. Estas pruebas requieren siempre la redacción de un plan de ensayos que evalúe la viabilidad de la prueba, la realización de la misma por una organización con experiencia en este tipo de trabajos, y ser dirigida por un técnico competente.

El plan de prueba recogerá, entre otros, los siguientes aspectos:

- Viabilidad y finalidad de la prueba.
- Magnitudes que deben medirse y localización de los puntos de medida.
- Procedimientos de medida.
- Escalones de carga y descarga.
- Medidas de seguridad.

Este último punto es muy importante, dado que por su propia naturaleza en este tipo de pruebas se puede producir algún fallo o rotura parcial o total del elemento ensayado.

Estos ensayos tienen su aplicación fundamental en elementos sometidos a flexión. Para su realización deberán seguirse los siguientes criterios:

- Los elementos estructurales que sean objeto de ensayo deberán tener al menos 56 días de edad, o haberse comprobado que la resistencia real del hormigón de la estructura ha alcanzado los valores nominales previstos en proyecto.

- Siempre que sea posible, y si el elemento a probar va a estar sometido a cargas permanentes aún no materializadas, 48 horas antes del ensayo deberían disponerse las correspondientes cargas sustitutorias que gravitarán durante toda la prueba sobre el elemento ensayado.

- Las lecturas iniciales deberán efectuarse inmediatamente antes de disponer la carga de ensayo.

- La zona de estructura objeto de ensayo deberá someterse a una carga total, incluyendo las cargas permanentes que ya actúen, equivalente a  $0,85 \cdot (1,35 \cdot G + 1,5 \cdot \gamma_{sc})$ , siendo G la carga permanente que se ha determinado actúa sobre la estructura, Q las sobrecargas previstas y  $\gamma_{sc}=1,35$ , salvo que la reglamentación específica vigente indique otro valor.

Las cargas de ensayo se dispondrán en al menos cuatro etapas aproximadamente iguales, evitando impactos sobre la estructura y la formación de arcos de descarga en los materiales empleados para materializar la carga.

– 24 horas después de que se haya colocado la carga total de ensayo, se realizarán las lecturas en los puntos de medida previstos. Inmediatamente después de registrar dichas lecturas se iniciará la descarga, registrándose las lecturas existentes hasta 24 horas después de haber retirado la totalidad de las cargas.

– Se realizará un registro continuo de las condiciones de temperatura y humedad existentes durante el ensayo con objeto de realizar las oportunas correcciones si fuera pertinente.

– Durante las pruebas de carga deberán adoptarse las medidas de seguridad adecuadas para evitar un posible accidente en el transcurso de la prueba. Las medidas de seguridad no interferirán la prueba de carga ni afectarán a los resultados.

El resultado del ensayo podrá considerarse satisfactorio cuando se cumplan las condiciones siguientes:

– Ninguno de los elementos de la zona de estructura ensayada presenta fisuras no previstas y que comprometan la durabilidad o seguridad de la estructura.

– La flecha máxima obtenida es inferior de  $l^2/20.000 \cdot h$ , siendo  $l$  la luz de cálculo y  $h$  el canto del elemento. En el caso de que el elemento ensayado sea un voladizo,  $l$  será dos veces la distancia entre el apoyo y el extremo.

– Si la flecha máxima supera  $l^2/20.000 \cdot h$ , la flecha residual una vez retirada la carga, y transcurridas 24 horas, deberá ser inferior al 25 % de la máxima en elementos de hormigón armado e inferior al 20 % de la máxima en elementos de hormigón pretensado. Esta condición deberá satisfacerse tras el primer ciclo de carga-descarga. Si esto no se cumple, se permite realizar un segundo ciclo de carga-descarga después de transcurridas 72 horas de la finalización del primer ciclo. En tal caso, el resultado se considerará satisfactorio si la flecha residual obtenida es inferior al 20 % de la flecha máxima registrada en ese ciclo de carga, para todo tipo de estructuras.

## CAPÍTULO 6

### Bases generales para la gestión de las estructuras durante su fase de servicio

Artículo 24. *Criterios generales para el mantenimiento de las estructuras.*

#### 24.1 Definición de mantenimiento.

Se entiende por mantenimiento de una estructura el conjunto de actividades necesarias para que el nivel de prestaciones para el que ha sido proyectada, con arreglo a los criterios del presente Código Estructural, no disminuya durante su vida útil de proyecto por debajo de un cierto umbral, vinculado a las características de resistencia mecánica, durabilidad, funcionalidad y, en su caso, estéticas. Para ello, a partir de la entrada en servicio de la estructura, la propiedad deberá programar y efectuar las actividades de mantenimiento que se indican en este artículo, de forma coherente con los criterios adoptados en el proyecto.

Cuando, en función de las características de la obra, exista reglamentación específica para su mantenimiento, esta se aplicará conjuntamente con lo indicado en este Código Estructural.

El mantenimiento es una actividad de carácter preventivo, que evita o retrasa la aparición de problemas que, de lo contrario, tendrían una resolución más complicada. Por lo tanto, este Código Estructural plantea una estrategia de mantenimiento que es de carácter obligatorio.

#### 24.2 Estrategia de mantenimiento.

Las actividades relacionadas con el mantenimiento de la estructura se incardinan en un contexto general más amplio que puede denominarse «sistema de gestión de la estructura». Las actividades de mantenimiento requieren ser realizadas por personal con la formación y los medios adecuados.

En la gestión de un patrimonio construido se contemplan, desde un punto de vista operativo, los siguientes conceptos:

- Archivo documental completo de la estructura. Compete a la propiedad conservar el proyecto de construcción completo, así como los proyectos que, eventualmente, le sucedan en virtud de reparaciones, refuerzos, ampliaciones, etc., así como las memorias o informes vinculados a la historia de la estructura.

- Inspecciones rutinarias o especializadas. Compete asimismo a la propiedad realizar inspecciones rutinarias que permitan asegurar el correcto funcionamiento de los elementos vinculados a la operación y durabilidad de la estructura. En este sentido, a título de ejemplo, deben efectuarse periódicamente actuaciones de limpieza de elementos de desagüe, de reparación o sustitución de elementos de impermeabilización, juntas, etc., en general, elementos auxiliares, no estructurales, de vida útil inferior a la de la estructura y cuya degradación pueda afectar negativamente a la de esta. La frecuencia de estas inspecciones deberá ser establecida por el autor del proyecto en el plan de mantenimiento, en función de las condiciones operativas, estacionales, etc.

- Inspecciones principales, realizadas a instancias de la propiedad, por técnicos cualificados y con experiencia en este tipo de trabajos, como se indica en el apartado 24.3.

- Inspecciones especiales y pruebas de carga, que requieren de la auscultación específica de la estructura y su valoración analítica posterior para la formulación de diagnósticos.

Es responsabilidad de la propiedad organizar las tareas de mantenimiento en torno a los ejes de actuación señalados con el fin de disponer, en todo momento, de una información cercana en el tiempo con relación al nivel de prestaciones de la estructura.

#### 24.3 Plan de mantenimiento.

En el proyecto, bien de obra nueva, bien de reparación o refuerzo de una estructura existente, se deberá incluir un plan mantenimiento que plasme la estrategia de mantenimiento antes establecida en el apartado 24.2 y defina las actuaciones de conservación objeto de desarrollo durante toda la vida útil de proyecto que, como se ha indicado en el apartado 24.1, parte de cero en el caso de estructuras de nueva planta y debe entenderse como vida «adicional» a la ya satisfecha por una estructura existente.

El plan de mantenimiento deberá contener la definición precisa de, al menos, los siguientes puntos:

- Descripción de la estructura y de las clases de exposición de sus elementos.

- Vida útil considerada de la estructura y de sus elementos constitutivos, dado que algunos componentes de la construcción tendrán vidas útiles más reducidas (sistemas de drenaje, defensas, aparatos de apoyo, pinturas, revestimientos, sistemas de protección contra la corrosión, etc.).

- Puntos críticos de la estructura, que requieren de especial atención a efectos de su conservación y por ende de su inspección y mantenimiento. El plan deberá establecer los puntos a inspeccionar tanto en las inspecciones básicas como en las inspecciones principales.

- Periodicidad de las inspecciones tanto de las básicas o rutinarias como de las principales.

- Medios auxiliares para el acceso a las distintas zonas de la estructura, en su caso.

- Técnicas y criterios de inspección recomendados.

– Identificación y descripción, con el nivel adecuado de detalle, de las operaciones de mantenimiento recomendadas, donde se prevea dicha necesidad, incluyendo, en su caso, la frecuencia de actuación.

Debe tenerse presente que la actividad de mantenimiento ocupa la práctica totalidad del ciclo vital de una estructura, por ello es muy recomendable que el plan de mantenimiento incluya una valoración aproximada de las actividades que contempla. La realización de esta valoración durante el proyecto tiene gran importancia pues puede llevar a reconsiderar aspectos y detalles del proyecto que puedan suponer costes de mantenimiento exagerados durante la vida útil de la estructura.

Se define la inspección principal de una estructura como el conjunto de actividades técnicas, realizadas de acuerdo con un plan previo, que permite detectar, en su caso, los daños que exhibe la estructura, sus condiciones de funcionalidad, durabilidad y seguridad del usuario e, incluso, permite estimar su comportamiento futuro. Esta tarea requiere del concurso de técnicos con formación, medios y experiencia acreditados.

El proceso se inicia con la realización de una primera inspección principal, inicial o de «estado 0» que será el resultado del control sobre el elemento construido. A partir de entonces, con diversa periodicidad, se efectuarán sucesivas inspecciones principales que irán dando cuenta de la evolución del estado de la estructura.

Valorado el estado de la estructura y, en su caso, su velocidad de deterioro por comparación con las inspecciones previas, deberá especificarse si ha de emprenderse una inspección especial o si, por el contrario, puede esperarse a la siguiente inspección principal programada de acuerdo con el protocolo establecido por el autor del proyecto o, en su caso, por la propiedad.

La frecuencia de realización de inspecciones será definida por el autor del proyecto en el correspondiente plan de mantenimiento y no será inferior a la establecida por la propiedad, en su caso.

#### 24.4 Plan de mantenimiento tras el fin de obra.

Las incidencias surgidas durante la construcción, así como los eventuales fallos de diseño detectados, serán recogidos en una revisión del plan de inspección y mantenimiento del proyecto que se redactará al concluirse la ejecución de los trabajos, tanto si son de obra nueva como de reparación o refuerzo.

El plan de inspección y mantenimiento redactado tras el fin de obra deberá ser puesto a disposición del responsable de la explotación de la estructura. A partir de este plan de mantenimiento, que sustituye al del proyecto, la propiedad, recogiendo lo indicado por la dirección facultativa, será responsable de elaborar el programa de mantenimiento.

### Artículo 25. *Criterios generales para la evaluación de estructuras existentes.*

#### 25.1 Contexto general y objeto.

Con carácter general, la intervención en una estructura existente está justificada para:

a) Asegurar que se alcanza la vida de servicio prevista cuando la evolución de los deterioros se ha visto acelerada con relación al escenario previsto en la fase de proyecto y no son suficientes las actuaciones de mantenimiento ordinario y especializado en la sustitución de elementos de menor vida útil que la de la estructura.

b) Restablecer las prestaciones de la estructura tras una acción accidental.

c) Dotar de nuevas prestaciones o de una vida útil adicional a la estructura (por ejemplo, cuando se produce un cambio de uso que implique modificaciones en los niveles de sollicitación u otros aspectos funcionales).

Las situaciones a) y b) se corresponden con las intervenciones de reparación, mientras que la c) está asociada a las intervenciones de refuerzo. Pueden darse situaciones en las que sea preciso plantear:

- Reparaciones, para impedir o ralentizar el progreso de los deterioros o restañar los daños producidos tras una situación accidental, pero sin pretender llevar a efecto una «puesta a cero» de la construcción.
- Refuerzos para situar la estructura en un nuevo estado de partida con prestaciones mejoradas y perspectivas de vida útil prolongada.
- Ambas acciones simultáneamente.

En este artículo se presentan los criterios generales para evaluar las prestaciones que ofrecen las estructuras existentes, con los dos objetivos siguientes:

- Evaluar la capacidad estructural de una construcción existente.
- Determinar la vida útil residual que previsiblemente le reste a la construcción en el supuesto de que se mantiene el régimen aplicado de mantenimiento.

## 25.2 Ámbito de aplicación.

Se definen en este apartado las bases y los procedimientos para la evaluación de la capacidad estructural y de la vida útil residual de construcciones existentes, en concordancia con los principios del análisis de la seguridad estructural y de pronóstico de la durabilidad.

Si bien los conceptos básicos para el proyecto de nuevas construcciones, definidos con ese objetivo en este Código Estructural, son idénticos a la hora de evaluar la capacidad estructural de construcciones existentes puede existir un mayor grado de diferenciación de la seguridad que para el proyecto de estructuras de nueva construcción, debido a consideraciones de tipo económico, social o medioambiental.

Los criterios generales establecidos en este artículo son aplicables para la evaluación estructural de cualquier tipo de estructura existente siempre que se cumpla alguna de las siguientes condiciones:

- a) se ha concebido, dimensionado y construido de acuerdo con la normativa en vigor en el momento de su realización;
- b) se ha construido de acuerdo con la buena práctica, la experiencia histórica y la práctica profesional aceptada.

En cuanto a la vida útil, las construcciones existentes tienen una historia que aporta una muy valiosa información por cuanto pueden ser conocidas las características reales de los materiales, de geometría, de localización de las zonas deterioradas con su propio micro-clima, las concentraciones de los agentes agresivos y su distribución en la estructura, lo que convierte en datos lo que son incógnitas en la fase de proyecto de obras nuevas.

## 25.3 Fases del proceso de evaluación.

La evaluación estructural de una construcción existente se realizará, normalmente, mediante una verificación cuantitativa de su capacidad portante y, en su caso, de su aptitud al servicio, teniendo en cuenta los procesos de deterioro posibles. Para ello, puede adoptarse un procedimiento de evaluación por fases que tenga en cuenta las condiciones actuales de la construcción, definiendo cada una de las fases en función de la de las circunstancias y condiciones específicas de la misma tales como la disponibilidad del proyecto original, la observación de daños estructurales, el uso de la estructura, etc. y de los objetivos de la evaluación. En cada una de las fases se incrementa la precisión de las hipótesis para la evaluación, así como el grado de detalle de los métodos de análisis respecto de la fase anterior.

Se definen a continuación las bases y los procedimientos para la evaluación estructural y estimación de la vida útil residual.

1.ª Fase: Evaluación preliminar, que incluye en general:

- la recopilación y estudio de la documentación disponible, incluidas las acciones derivadas del programa de inspección y mantenimiento descrito en el Artículo 24 y, en su caso, el levantamiento de planos;
- una inspección preliminar;
- la elaboración de las bases para la evaluación;
- la comprobación preliminar de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de los elementos estructurales principales, lo que pasa por la utilización de procedimientos sencillos basados en la identificación de los mecanismos resistentes y de las condiciones de vinculación;
- la identificación preliminar de los mecanismos de deterioro y de las solicitaciones correspondientes.

2.ª Fase: Evaluación detallada, que incluye en general:

- la determinación del estado de la construcción mediante una inspección especial, incluida la cuantificación de posibles daños en forma de mapa de daños;
- la actualización de la geometría y de los planos de la estructura;
- la actualización de las características de los materiales;
- la actualización de las acciones;
- la actualización de las bases para la evaluación;
- el análisis estructural;
- la comprobación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio.

3.ª Fase: Evaluación avanzada, con métodos de análisis de la seguridad, que incluye en general:

- la determinación de las situaciones críticas de comprobación;
- la adquisición, en su caso, de más datos sobre las características de la estructura o de los materiales, o sobre las acciones;
- la determinación de los modelos probabilistas de las variables;
- el análisis estructural;
- la identificación de los modelos de deterioro, si es posible;
- la comprobación con métodos de seguridad.

#### 25.4 Niveles de análisis.

El proceso de evaluación estructural de una construcción existente debe ser progresivo, esto es, que parte de procedimientos sencillos de evaluación, asociados a pocos datos, para acudir sucesivamente, si es preciso, a formulaciones más sofisticadas y más exigentes en volumen de información, hasta poder emitir dictamen acerca de la aptitud de la construcción para aceptar con seguridad suficiente unas acciones definidas. En la figura 25.4 se sintetiza el procedimiento práctico operativo, de tal manera que si la estructura no ha sido declarada «apta» tras el análisis inicial relativo, debe procederse

progresivamente según se sintetiza en la tabla 25.4. El proceso se detiene, en su caso, en el nivel en el que la estructura se declara «apta»:

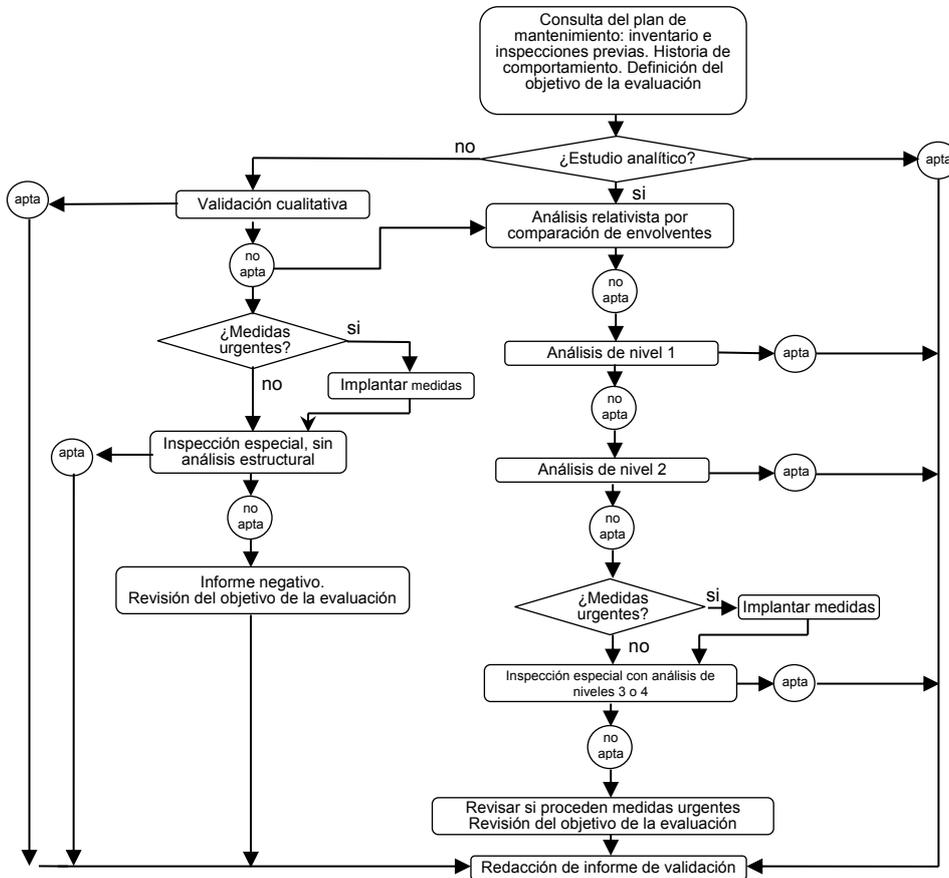


Figura 25.4 Proceso de evaluación estructural de una construcción existente

Tabla 25.4 Niveles de análisis estructural

Nivel	Método
1	Comprobación de la estructura frente a las acciones que justifican la necesidad de la comprobación: un cambio de uso, una acción temporal, etc.
2	Comprobación de la estructura para las acciones objeto de la comprobación, incluidas las acciones definidas en las bases de cálculo para obra nueva. Se utilizarán los códigos de materiales con unos coeficientes parciales de ponderación corregidos, en virtud de la disminución de incertidumbres que representa que la estructura ya existe y que, en su caso, ha evidenciado un comportamiento previo positivo.
3	El marco de comprobación, es, como en el nivel 2, semiprobabilista, pero utiliza información actualizada en forma de características resistentes deducidas tras una inspección especial, auscultación o pruebas de carga. Contexto semiprobabilista con coeficientes parciales ajustados con el fin de obtener la misma fiabilidad que para obra nueva.
4	Aproximación sofisticada en forma de análisis no lineal tridimensional, en un contexto de formato de comprobación probabilista.

### 25.5 Evaluación cualitativa.

La «validación cualitativa» a la que se refiere el organigrama de la figura 25.4 se refiere solo al caso de algunas construcciones para las que no existen procedimientos sancionados para el análisis estructural cuantitativo, no se requieren incrementos de prestaciones y han exhibido un comportamiento previo positivo.

#### 25.5.1 Capacidad portante.

Puede considerarse que una estructura presenta una capacidad portante adecuada si se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:

- la estructura haya exhibido un comportamiento satisfactorio a lo largo de un tiempo suficiente (al menos 5 años) desde la última reparación, refuerzo o modificación;
- una inspección principal, especialmente detallada, no revele daños o deterioros significativos;
- que la inspección detallada permita confirmar su esquema estático;
- que el previsible deterioro de la estructura no ponga en peligro la seguridad estructural, al menos hasta la siguiente inspección principal programada; y
- que no se prevean modificaciones significativas de las acciones actuantes reales, no las utilizadas en la fase de proyecto o, en general, en las solicitudes o condiciones de exposición.

#### 25.5.2 Aptitud al servicio.

Podrá considerarse que una estructura es apta para el servicio, si se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:

- La estructura se ha comportado satisfactoriamente durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se hayan producido daños o anomalías ni en los elementos estructurales ni en aquellos elementos arquitectónicos (particiones, solados, etc.) que apoyan sobre ellos, tampoco mostrará síntomas indicativos de deformaciones excesivas ni se apreciarán vibraciones molestas.
- Una inspección detallada, no revela ningún indicio de daño o deterioro, ni de deformaciones, desplazamientos o vibraciones excesivas.
- Durante el periodo de servicio restante no se prevén cambios que puedan alterar significativamente las acciones sobre el edificio o afectar su durabilidad.
- Teniendo en cuenta el deterioro previsible, así como el programa de mantenimiento previsto, se puede anticipar una adecuada durabilidad.

De la validación cualitativa de la estructura se dejará constancia escrita y firmada por el técnico competente autor de la misma, en un informe que al menos dé cuenta de la satisfacción de los requisitos enunciados.

## TÍTULO 2

### Estructuras de hormigón

#### CAPÍTULO 7

#### Criterios generales para las estructuras de hormigón

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 contruidos 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 este, 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
1. Sin riesgo de ataque por corrosión		
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 %).
2. Corrosión inducida por carbonatación		
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).

Designación de la clase	Descripción del entorno	Ejemplos informativos donde pueden existir las clases de exposición
<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 seco.	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.
<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	Permanentemente 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, afectados 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) (1). Elementos con superficies horizontales no saturados, pero expuestos a lluvia y helada (1).
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.) (1).
XF3	Saturación alta, sin sales fundentes.	Elementos con superficies horizontales donde se pueda acumular el agua y estén expuestas a la helada (1).
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 (1).
<b>6. Ataque químico</b>		
XA1	Ambiente de una débil agresividad química conforme a la tabla 27.1.b.	Terrenos naturales y aguas (subterráneas, industriales, residuales, etc.).
XA2	Ambiente de una moderada agresividad química conforme a la tabla 27.1.b.	Terrenos naturales y aguas (subterráneas, industriales, residuales, etc.).
XA3	Ambiente de una alta agresividad química conforme a la tabla 27.1.b.	Terrenos naturales y aguas (subterráneas, industriales, residuales, etc.).
<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.

Designación de la clase	Descripción del entorno	Ejemplos informativos donde pueden existir las clases de exposición
XM3	Elementos sometidos a erosión/abrasión extrema.	Losas en zonas industriales sometidas al tráfico de carretillas de horquillas con ruedas de acero o cadenas.

(1) 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 el apartado 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	$W_{max}$	
	Hormigón armado (para la combinación cuasipermanente 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	

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

<sup>(2)</sup> 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.

<sup>(3)</sup> La limitación relativa a las clases XA1, XA2 y XA3 solo 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

#### Artículo 28 Cementos.

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

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

- ser conformes con la reglamentación específica vigente,
- cumplan las limitaciones de uso establecidas en la tabla 28, y
- pertenezcan a la clase resistente 32,5 o superior.

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

Tabla 28. Tipos de cemento utilizables

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

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

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

El empleo del cemento de aluminato de calcio deberá ser objeto, en cada caso, de estudio especial, exponiendo las razones que aconsejan su uso y observándose las especificaciones contenidas en el Anejo 5.

Se tendrá en cuenta lo expuesto en el apartado 33.1 en relación con el contenido total de ion cloruro para el caso de cualquier tipo de cemento, así como con el contenido de finos en el hormigón, para el caso de cementos con adición de filler calizo.

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

#### Artículo 29. Agua.

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

En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

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

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán cumplir las condiciones indicadas en la tabla 29, determinada conforme con los métodos de ensayo recogidos para cada característica en la norma UNE correspondiente.

Tabla 29. Especificaciones del agua de amasado

Característica del agua		Limitación	Norma
Exponente de hidrógeno, pH.		≥ 5	UNE 83952
Sulfatos (en general), expresado en SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .		≤ 1 g/l	UNE 83956
Sulfatos (cementos SRC y SR), expresado en SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .		≤ 5 g/l	
Ion cloruro.	a) hormigón pretensado.	≤ 1 g/l	UNE 83958
	b) hormigón armado y hormigón en masa con armaduras para evitar fisuración.	≤ 2 g/l	
Álcalis, expresado en Na <sub>2</sub> O <sub>equiv</sub> (1) (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O).		≤ 1,5 g/l	(2)
Sustancias disueltas.		≤ 15 g/l	UNE 83957
Hidratos de carbono.		= 0 g/l	UNE 83959
Sustancias orgánicas solubles en éter.		≤ 15 g/l	UNE 83960

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

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

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

Siempre que lo justifique expresamente el proyecto, mediante un estudio documental y de las decisiones adoptadas relativas a durabilidad (tipo de cemento, recubrimientos, etc.), o bien mediante un estudio experimental de durabilidad, podrá aplicarse un curado por

inmersión en agua de mar en elementos de hormigón armado que vayan a estar situados permanentemente en clase de exposición XS2, evitando en todo el proceso que se produzcan ciclos de secado del hormigón.

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

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

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

En el caso de áridos reciclados, se seguirá lo establecido en el apartado 30.8. En el caso de áridos ligeros, se deberá cumplir lo indicado en el Anejo 8 de este Código.

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

Los áridos no deben descomponerse por los agentes exteriores a que estarán sometidos en obra. Por tanto, no deben emplearse tales como los procedentes de rocas blandas, friables, porosas, etc., ni los que contengan nódulos de yeso, compuestos ferrosos, sulfuros oxidables, etc. en proporciones superiores a lo que permite este Código.

### 30.2 Designación de los áridos.

A los efectos de este Código, los áridos se designarán, de acuerdo con el siguiente formato:

d/D - IL

donde:

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

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

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

d/D - IL - N

En la fase de proyecto, a efectos de la especificación del hormigón, es necesario únicamente establecer para el árido su tamaño máximo en mm, de acuerdo con el apartado 33.6 (donde se denomina TM) y, en su caso, especificar el empleo de árido reciclado y su porcentaje de utilización).

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

Se denomina tamaño máximo D de un árido grueso o fino, la mínima abertura de tamiz UNE-EN 933-2 que cumple los requisitos generales recogidos en la norma UNE-EN 12620, en función del tamaño del árido.

Se denomina tamaño mínimo d de un árido grueso o fino, la máxima abertura de tamiz UNE-EN 933-2 que cumple los requisitos generales recogidos en la norma UNE-EN 12620, en función del tipo y del tamaño del árido.

Los tamaños mínimo d y máximo D de los áridos deben especificarse por medio de un par de tamices de la serie básica, o la serie básica más la serie 1, o la serie básica más la serie 2 de la norma UNE-EN 12620. No se podrán combinar los tamices de la serie 1 con los de la serie 2.

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

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

A efectos de la fabricación del hormigón, se denomina grava o árido grueso total, a la mezcla de las distintas fracciones de árido grueso que se utilicen; arena o árido fino total a la mezcla de las distintas fracciones de árido fino que se utilicen; y árido total (cuando no haya lugar a confusiones, simplemente árido), aquel que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

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

- 0,8 veces la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- 1,25 veces la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- 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  $G_c 90/15$  o  $G_c 85/20$ , mientras que el árido fino será de categoría  $G_f 85$ .

##### 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 cualquier caso, deberá comprobarse que se cumple la especificación relativa a la limitación del contenido total de finos en el hormigón recogido en el apartado 33.1.

Tabla 30.4.1.a Contenido máximo de finos en los áridos

Árido	Porcentaje máximo que pasa por el tamiz 0,063 mm	Categoría	Tipos de áridos
Grueso.	1,5 %	$f_{1,5}$	Cualquiera.
Fino.	6 %	$f_6$	– Áridos redondeados. – Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases de exposición XS, XD, XA, XF o XM(1).
	10 %	$f_{10}$	– Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases de exposición XS, XD, XA, XF o XM(1). – Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases de exposición X0 o XC y no sometidas a ninguna de las clases de exposición XA, XF o XM(1).
	16 %	$f_{16}$	– Áridos de machaqueo calizos para obras sometidas a las clases de exposición X0 o XC y no sometidas a ninguna de las clases de exposición XA, XF o XM(1).

(1) Véase la tabla 27.1.a.

##### 30.4.2 Calidad de los finos de los áridos.

Salvo en el caso indicado en el párrafo siguiente, no se utilizarán áridos finos cuyo equivalente de arena (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:

- 70 (Categoría SE<sub>4</sub>70), para obras sometidas únicamente a la clase de exposición X0 o XC.
- 75 (Categoría SE<sub>4</sub>75), en el resto de los casos.

No obstante lo anterior, aquellas arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas o dolomías (entendiendo como tales aquellas rocas sedimentarias carbonáticas que contienen al menos un 70 % de calcita, dolomita o de ambas), que no cumplan la especificación del equivalente de arena, podrán ser aceptadas como válidas cuando se cumplan las condiciones siguientes:

- para obras sometidas únicamente a clases de exposición XO o XC,

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

- 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. Solo se podrá utilizar el árido fino si las arcillas son del tipo caolinita o illita y si las propiedades mecánicas y de penetración de agua a presión de los hormigones fabricados con esta arena son, al menos, iguales que las de un hormigón fabricado con los mismos componentes, pero utilizando la arena sin finos. El estudio correspondiente deberá ir acompañado de documentación fehaciente que contendrá en todos los casos el análisis mineralógico del árido, y en particular su contenido en arcilla.

### 30.5 Forma del árido grueso.

La forma del árido grueso se expresará mediante su índice de lajas, entendido como el porcentaje en peso de áridos considerados como lajas según UNE-EN 933-3, y su valor debe ser inferior a 35 (Categoría FI<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): ≤ 40 (Categoría LA40).
- Absorción de agua por los áridos, determinada con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE-EN 1097-6: ≤ 5 %.

Para la fabricación de hormigón en masa o armado, de resistencia característica especificada no superior a 30 N/mm<sup>2</sup>, podrán utilizarse áridos gruesos con una resistencia a la fragmentación ≤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(*)	
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	0,80	
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.

#### 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  $\text{SO}_3$ , de los áridos grueso y fino, determinado de conformidad con el Artículo 12 de la Norma UNE-EN 1744-1, no podrá exceder de 0,8 % en masa del árido, tal y como indica la tabla 30.7. En el caso de escorias de horno alto enfriadas por aire, la anterior especificación será del 1 %.

### 30.7.3 Compuestos totales de azufre.

Los compuestos totales de azufre expresados en S de los áridos grueso y fino, determinados de conformidad con el Artículo 11 de la norma UNE-EN 1744-1, no podrán exceder del 1 % en masa del peso total de la muestra. En el caso de escorias de horno alto enfriadas por aire, la anterior especificación será del 2 %.

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

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

En el caso de detectarse la presencia de sustancias orgánicas, de acuerdo con el apartado 15.1 de la norma UNE-EN 1744-1, se determinará su efecto sobre el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión, de conformidad con el apartado 15.3 de dicha norma. El mortero preparado con estos áridos deberá cumplir que:

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

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

### 30.7.5 Reactividad álcali-árido.

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

Para su comprobación se realizará, en primer lugar, un estudio petrográfico, del cual se obtendrá información sobre el tipo de reactividad que, en su caso, puedan presentar.

Si del estudio petrográfico del árido se deduce la posibilidad de que presente reactividad álcali-sílice o álcali-silicato, se debe realizar el ensayo descrito en la norma UNE 146508 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 norma UNE 146507-2EX. 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 146509EX, presentando una expansión al finalizar el ensayo menor o igual al 0,04%.
- En cualquier caso, si se cumplen los requisitos recogidos en el apartado 43.3.4.3.

### 30.8 Áridos reciclados.

#### 30.8.1 Generalidades.

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

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

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

El árido grueso reciclado puede emplearse tanto para hormigón en masa como hormigón armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm<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, estos podrán utilizarse en los términos recogidos en el apartado 30.7.5 para los áridos considerados potencialmente reactivos.

#### 30.9 Áridos de escorias de horno alto enfriadas por aire.

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

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

- 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.
- 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 pretensas elaborados con máquinas de fabricación continua, podrán usarse aditivos plastificantes que tengan un efecto secundario de inclusión de aire, siempre que se compruebe que no perjudica sensiblemente la adherencia entre el hormigón y la armadura, afectando al anclaje de esta. En cualquier caso, la cantidad total de aire ocluido no excederá del 6 % en volumen, medido según UNE-EN 12350-7.

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

## 31.2 Tipos de aditivos.

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

Tabla 31.2 Tipos de aditivos

Tipo de aditivo	Función principal
Reductores de agua / plastificantes.	Disminuir el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad o aumentar la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
Reductores de agua de alta actividad / superplastificantes.	Disminuir significativamente el contenido de agua de un hormigón sin modificar la trabajabilidad o aumentar significativamente la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
Modificadores de fraguado / aceleradores, retardadores.	Modificar el tiempo de fraguado de un hormigón.
Inclusores de aire.	Producir en el hormigón un volumen controlado de finas burbujas de aire, uniformemente repartidas, para mejorar su comportamiento frente a las heladas.
Multifuncionales.	Modificar más de una de las funciones principales definidas con anterioridad.
Moduladores de la viscosidad.	Limitar la segregación mediante la mejora de la cohesión.

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

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

Salvo indicación previa en contra de la dirección facultativa, el suministrador podrá emplear cualquiera de los aditivos incluidos en la Tabla 31.2. La utilización de otros aditivos distintos a los contemplados en este artículo, requiere la aprobación previa de la dirección facultativa.

La utilización de aditivos en el hormigón, una vez en la obra y antes de su colocación en la misma, requiere de la autorización de la dirección facultativa y el conocimiento del suministrador del hormigón.

Artículo 32. *Adiciones.*

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

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

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

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

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

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

Para utilizar cenizas volantes o humo de sílice como adición al hormigón, deberá emplearse un cemento tipo CEM I. Además, en el caso de la adición de cenizas volantes, el hormigón deberá presentar un nivel de garantía conforme a lo indicado en el artículo 18 de este Código, es decir, mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

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

En aplicaciones concretas de hormigón de alta resistencia, fabricado con cemento tipo CEM I, se permite la adición simultánea de cenizas volantes y humo de sílice, siempre que el porcentaje de humo de sílice no sea superior al 10% y que el porcentaje total de adiciones (cenizas volantes y humo de sílice) no sea superior al 20%, en ambos casos respecto al peso de cemento. En este caso la ceniza volante solo se contempla a efecto de mejorar la compacidad y reología del hormigón, sin que se contabilice como parte del conglomerante mediante su coeficiente de eficacia *K*. En elementos no pretensados en estructuras de edificación, la cantidad máxima de cenizas volantes adicionadas no excederá del 35% del peso de cemento, mientras que la cantidad máxima de humo de sílice adicionado no excederá del 10% del peso de cemento. La cantidad mínima de cemento se especifica en el apartado 43.2.1

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

### 32.1 Prescripciones y ensayos de las cenizas volantes.

Las cenizas volantes no podrán contener elementos perjudiciales en cantidades tales que puedan afectar a la durabilidad del hormigón o causar fenómenos de corrosión de las armaduras.

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

- Sulfatos (SO<sub>3</sub>), según UNE-EN 196-2:  $\leq 3,0\%$ .
- Cloruros (Cl<sup>-</sup>), 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 solo debe tenerse en cuenta si el contenido en óxido de calcio libre supera el 1,5 % sin sobrepasar el 2,5 %.

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

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

### 32.2 Prescripciones y ensayos del humo de sílice.

El humo de sílice no podrá contener elementos perjudiciales en cantidades tales que puedan afectar a la durabilidad del hormigón o causar fenómenos de corrosión de las armaduras.

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

- Dióxido de silicio ( $S_iO_2$ ), 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, CaO (l):  $\leq 1,0$  %.
- Sulfatos, expresado en SO<sub>3</sub>:  $\leq 2,0$  %.
- Cloruros (Cl<sup>-</sup>), según UNE-EN 196-2:  $\leq 0,3$  %.
- Superficie específica, según ISO 9277 ( $S_e$ , en m<sup>2</sup>/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:

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

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

La cantidad total de finos en el hormigón, resultante de sumar el contenido de partículas del árido grueso y del árido fino que pasan por el tamiz UNE 0,063 y la componente caliza, en su caso, del cemento, deberá ser inferior a 200 kg/m<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, se recomienda que esta cantidad no sea mayor 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,  $f_{c\text{ real}}$ , 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,  $f_{c\text{ est}}$ , 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 deberá adoptarse un valor de la resistencia de cálculo a compresión  $f_{cd}$  no superior a 15 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. Esta prescripción se podría aplicar también a elementos de ingeniería civil, en especial los que pudiesen estar densamente armados, como por ejemplo tableros de puentes o estribos.

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

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

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

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

Tabla 33.5.b Requisitos generales para la autocompactabilidad

Propiedad	Parámetro medido	Rango admisible
Escurrecimiento.	<i>SF</i>	550 mm – 850 mm
Viscosidad.	$t_v$	$\leq 25$ s
Capacidad de paso.	<i>PL</i>	$\geq 0,80$
	<i>PJ</i>	$\leq 10$ mm
Resistencia a la segregación.	<i>SR</i>	$\leq 20$ %

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 la tabla 43.2.1.a.

En el caso de hormigón autocompactante, la tipificación es análoga a la de los hormigones de compactación convencional según lo indicado anteriormente sin más que utilizar como indicativo C de la consistencia las siglas AC, (como, por ejemplo, HA-35/AC/20/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	Escurrimiento, $SF$ , ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-8 mm
SF1	550 – 650
SF2	660 – 750
SF3	760 – 850

Tabla 33.6.b Clases de viscosidad AC-V

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

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

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

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

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

Clase	Porcentaje de segregación, SR, ensayado conforme a la norma UNE-EN 12350-8 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 norma UNE-EN 10080. La sección equivalente no será inferior al 95,5 por 100 de la sección nominal.

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

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

Se calculará mediante la fórmula:

donde:

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

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.

Solo podrán emplearse barras o rollos de acero soldable que sean conformes con UNE-EN 10080.

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

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

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

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

Tabla 34.2.a Tipos de acero soldable

Tipo de acero	Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Designación	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
Límite elástico, $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> ) <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
	acero suministrado en rollo <sup>(3)</sup>	≥ 7,5	≥ 7,5	≥ 10,0
Relación $f_s/f_y$ <sup>(2)</sup>	≥ 1,08	≥ 1,08	$1,20 \leq f_s/f_y \leq 1,35$	$1,15 \leq f_s/f_y \leq 1,35$ <sup>(4)</sup>
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  $\epsilon_{máx}$  que sean inferiores en un 0,5% a los que recoge la tabla para estos casos.

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

Las características mecánicas mínimas garantizadas por el suministrador serán conformes con las prescripciones de la tabla 34.2.a. Además, las barras deberán tener aptitud al doblado simple, manifestada por la ausencia de grietas apreciables a simple vista al efectuar el ensayo según UNE-EN ISO 15630-1, empleando los mandriles de la tabla 34.2.b.

Tabla 34.2.b Diámetro de los mandriles

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

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

donde:

$d$  Diámetro nominal de barra, en mm.

$\alpha$  Ángulo de doblado.

$\beta$  Ángulo de desdoblado.

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

Tabla 34.2.d Especificación del ensayo de fatiga

Característica	B 400 S B 400 SD	B 500 S B 500 SD
Número de ciclos que debe soportar la probeta sin romperse.	$\geq 2$ 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> ).	150	
Frecuencia, $f$ (Hz).	$1 \leq f \leq 200$	
Longitud libre entre mordazas, (mm).	$\geq 14 d$ $\geq 140$ mm (la mayor de ambas)	

donde:

$d$  Diámetro nominal de barra, en mm.

Tabla 34.2.e Especificación del ensayo de carga cíclica

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

donde:

$d$  Diámetro nominal de barra, en mm.

Las características de adherencia de las barras de acero podrán comprobarse, sobre barra recta o barra enderezada procedente de rollo, mediante el método general (ensayo de la viga) del Anejo C de la norma UNE-EN 10080 o el de la norma UNE 36740 o,

alternativamente, mediante la geometría de corrugas o grafilas conforme a lo establecido en la norma UNE-EN ISO 15630-1. En el caso de que la comprobación se efectúe mediante el ensayo de la viga, deberán cumplirse simultáneamente las siguientes condiciones:

- Diámetros inferiores a 8 mm:

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

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

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

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

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

- Diámetros superiores a 32 mm:

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

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

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

Alternativamente, en el caso de comprobarse la adherencia mediante la geometría de corrugas o grafilas, el área proyectada de las corrugas ( $f_R$ ) o, en su caso, de las grafilas ( $f_p$ ) determinadas según UNE-EN ISO 15630-1, deberá cumplir las condiciones de la tabla 34.2.f.

Tabla 34.2.f Área proyectada de corrugas o de grafilas

d (mm)	≤ 6	8-12	>12
$f_R$ o $f_p$ (mm)	≥ 0,035	≥ 0,040	≥ 0,056

Nota: No es preciso el cumplimiento de los valores de esta tabla, cuando el ensayo de la viga garantice las tensiones de adherencia.

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

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

Análisis	C <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

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

<sup>(2)</sup> 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 soldable.

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

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

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

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

Los diámetros 4 y 4,5 mm solo pueden utilizarse como armadura de reparto en la losa superior de hormigón vertido en obra en forjados unidireccionales. El diámetro mínimo de dicha armadura de reparto será 5 mm si esta 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 $f_{yi}$ (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	Carga unitaria de rotura $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	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>

<sup>(1)</sup> Valores característicos inferiores garantizados.

<sup>(2)</sup> 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.

<sup>(3)</sup> 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. En la Tabla 34.2.f debe considerarse el área proyectada de corruga o grafila  $\geq 0,040$  para todos los diámetros de alambre desde 6,5 mm hasta 12 mm.

#### 34.4 Barras, rollos y alambres de acero soldable inoxidable.

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

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

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

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

#### Artículo 35. Armaduras pasivas.

##### 35.1 Generalidades.

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

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

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

A los efectos de este Código, se definen los tipos de armaduras de acuerdo con las especificaciones incluidas en la tabla 35.1.

Tabla 35.1 Tipos de aceros y armaduras normalizadas a emplear para las armaduras pasivas

Tipo de armadura	Armadura con acero de baja ductilidad	Armadura con acero soldable de ductilidad normal		Armadura con acero soldable y características especiales de ductilidad	
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.

(\*\*) 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 las geometrías definidas en las normas UNE 36060, UNE 36061 y UNE 36092, y recogidas en las tablas 35.2.1.b, 35.2.1.c y 35.2.1.d. Se entiende por mallas especiales las mallas electrosoldadas, distintas a las incluidas en las anteriores tablas, fabricadas conforme a los requisitos especificados por el usuario.

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

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

En el caso de las MALLAS ESTÁNDAR:

- 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, solo en el caso de mallas especiales cuyos elementos longitudinales sean del mismo diámetro y longitud y cuya separación sea igual, y lo mismo ocurra con los elementos transversales (ver ejemplo).
  - b.1) Separaciones, expresadas en milímetros y separadas por el signo x, de los elementos longitudinales y transversales,
  - b.2) Diámetros de las armaduras longitudinal y transversal, expresados en milímetros, precedido por el símbolo  $\varnothing$  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.a, en función del acero con el que están fabricadas.

Tabla 35.2.1.a Tipos de mallas electrosoldadas

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

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

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

Tabla 35.2.1.b Mallas estándar ME400SD Y ME500SD

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm <sup>2</sup> /m)		N.º 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 × 2200 mm.

Tabla 35.2.1.c Mallas estándar ME400S Y ME500S

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm <sup>2</sup> /m)		N.º 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 × 2200 mm.

Tabla 35.2.1.d Mallas estándar ME500T

Separación entre barras (mm)		Diámetro (mm)		*Secciones (cm <sup>2</sup> /m)		N.º 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 norma UNE-EN 10080.

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

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

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

En función del tipo de malla electrosoldada, sus elementos deberán cumplir las especificaciones que les sean de aplicación, de acuerdo con lo especificado en UNE-EN 10080 y en los correspondientes apartados del artículo 34. Además, las mallas electrosoldadas deberán cumplir que la carga de despegue ( $F_s$ ) de las uniones soldadas,

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

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 35.2.1.e en relación con el ensayo de fatiga según UNE-EN ISO 15630-2, así como los de la tabla 35.2.1.f, relativos al ensayo de carga cíclica.

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

Tabla 35.2.1.e Especificación del ensayo de fatiga

Característica	B400SD	B500SD
Número de ciclos que debe soportar la probeta sin romperse.	≥ 2 millones	
Tensión máxima, $\sigma_{\max} = 0,6 f_y$ nominal (N/mm <sup>2</sup> ).	240	300
Amplitud, $2\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ (N/mm <sup>2</sup> ).	100	
Frecuencia, f (Hz).	$1 \leq f \leq 200$	
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	$\pm 4$	3	$1 \leq f \leq 3$
$d = 20$	10 d	$\pm 2,5$		
$d \geq 25$	15 d	$\pm 1,5$		

donde:

$d$  Diámetro nominal de barra, en mm.

### 35.2.2 Armaduras básicas electrosoldadas en celosía.

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

Los cordones longitudinales serán fabricados a partir de barras conformes con el apartado 34.2 o alambres, de acuerdo con el apartado 34.3, mientras que los elementos transversales de conexión se elaborarán a partir de alambres, conformes con el apartado 34.3.

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

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

Tabla 35.2.2 Tipos de armaduras básicas electrosoldadas en celosía

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

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

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

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

donde:

- $f_{yL}$  Valor del límite elástico especificado para los cordones longitudinales.
- $A_{nL}$  Sección transversal nominal del cordón longitudinal.
- $f_{yD}$  Valor del límite elástico especificado para las diagonales.
- $A_{nD}$  Sección transversal nominal de las diagonales.

## 35.3 Ferralla.

En el ámbito de este Código, se define como:

– ferralla elaborada, cada una de las formas o disposiciones de elementos que resultan de aplicar, en su caso, los procesos de enderezado, de corte y de doblado a partir de acero conforme con el apartado 34.2 o, en su caso, a partir de mallas electrosoldadas conformes con el apartado 35.2.1.

– ferralla armada, el resultado de aplicar a las ferrallas elaboradas los correspondientes procesos de armado, bien mediante atado por alambre o mediante soldadura no resistente.

Las especificaciones relativas a los procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras pasivas se recogen en el artículo 49 de este Código.

## Artículo 36. Aceros para armaduras activas.

## 36.1 Generalidades.

A los efectos de este Código, se definen los siguientes productos de acero para armaduras activas:

– alambre: producto de sección maciza, liso o grafilado, que normalmente se suministra en rollo. En la tabla 36.1.a se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres (figura 36.1) según la norma UNE 36094.

– barra: producto de sección maciza que se suministra solamente en forma de elementos rectilíneos.

– cordón: producto formado por un número de alambres arrollados helicoidalmente, con el mismo paso y el mismo sentido de torsión, sobre un eje ideal común (véase la norma UNE 36094). Los cordones se diferencian por el número de alambres, del mismo diámetro nominal y arrollados helicoidalmente sobre un eje ideal común y que pueden ser 2, 3 o 7 alambres.

Los cordones pueden ser lisos o grafilados. Los cordones lisos se fabrican con alambres lisos. Los cordones grafilados se fabrican con alambres grafilados. En este último caso, el alambre central puede ser liso. Los alambres grafilados proporcionan mayor adherencia con el hormigón. En la tabla 36.1.b se indican las dimensiones nominales de las grafilas de los alambres para cordones según la norma UNE 36094.

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

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

Tabla 36.1.a Dimensiones nominales de las grafilas de los alambres

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

Tabla 36.1.b Dimensiones nominales de las grafilas de los alambres para cordones

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

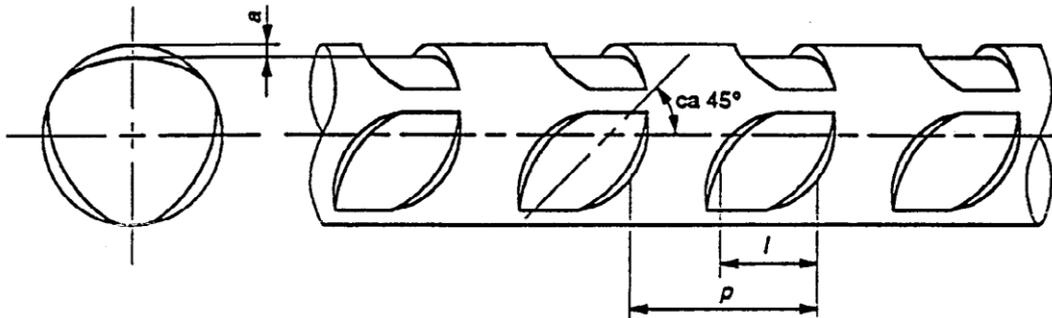


Figura 36.1 Grafilas

## 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 ( $f_p$ ).
- Límite elástico convencional ( $f_{p0,1}$ ) y ( $f_{p0,2}$ ).
- Alargamiento bajo carga máxima ( $\epsilon_u$ ).
- Módulo de elasticidad ( $E_p$ ).
- Estricción ( $\eta$ ), expresada en porcentaje.
- Aptitud al doblado alternativo (solo para alambres).
- Relajación.
- Resistencia a la fatiga.
- Susceptibilidad a la corrosión bajo tensión.
- Resistencia a la tracción desviada (solo para cordones de diámetro nominal igual o superior a 13 mm).

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

La relajación a las 1.000 horas, según UNE-EN ISO 15630-3, a temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 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

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

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

Como ensayo complementario, en caso de requerirlo el autor del proyecto, respecto a la corrosión bajo tensión, la medida de tensiones residuales longitudinales, realizada con arreglo a la norma UNE-EN 15305, confirma una resistencia adecuada a la corrosión bajo tensión, si la suma del valor medio y de 0,84 veces la desviación típica, de una serie de 12 o más medidas de dichas tensiones, no supera los 100 N/mm<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 norma UNE-EN ISO 15630-3, deberán cumplir las siguientes prescripciones:

– La carga unitaria máxima  $f_p$  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 $f_{\max}$ 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  $f_{p0,2}$  estará comprendido entre el 0,85 y el 0,95 de la carga unitaria máxima  $f_p$ . Esta relación deberán cumplirla no solo los valores mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada uno de los alambres ensayados.

– El alargamiento bajo carga máxima medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 por 100. Para los alambres destinados a la fabricación de tubos, dicho alargamiento será igual o superior al 5 por 100.

– La estricción a la rotura será igual o superior al 25 por 100 en alambres lisos y visible a simple vista en el caso de alambres grafilados.

– El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia de  $\pm 7$  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 norma UNE-EN ISO 15630-3 no será superior al 5 por 100.

El número mínimo de doblados-desdoblados que soportará el alambre en la prueba de doblado alternativo realizada según la norma UNE-EN ISO 15630-3 no será inferior a lo indicado en la tabla 36.3.b.

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

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

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

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

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

#### 36.4 Barras de pretensado.

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

- La carga unitaria máxima  $f_p$  no será inferior a 980 N/mm<sup>2</sup>.
- El límite elástico  $f_{p0,2}$  estará comprendido entre el 75 y el 90 por 100 de la carga unitaria máxima  $f_p$ . Esta relación deberán cumplirla no solo los valores mínimos garantizados, sino también los correspondientes a cada una de las barras ensayadas.
- El alargamiento bajo carga máxima medido sobre una base de longitud igual o superior a 200 mm no será inferior al 3,5 por 100.
- El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante con una tolerancia del  $\pm 7$  por 100.

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

La relajación a las 1.000 horas a temperatura de 20 °C  $\pm$  1 °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 norma UNE-EN ISO 15630-3.

#### 36.5 Cordones de pretensado.

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

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

Tabla 36.5.a Cordones de 2 o 3 alambres

Designación	Serie de diámetros nominales, en mm	Carga unitaria máxima $f_p$ en N/mm <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 $f_p$ 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  $f_{p0,2}$  estará comprendido entre el 0,88 y el 0,95 de la carga unitaria máxima  $f_p$ . Esta limitación deberán cumplirla no solo los valores mínimos garantizados, sino también cada uno de los elementos ensayados.

– El alargamiento bajo carga máxima, medido sobre una base de longitud igual o superior a 500 mm, no será inferior al 3,5 por 100.

– La estricción a la rotura será visible a simple vista.

– El módulo de elasticidad tendrá el valor garantizado por el fabricante, con una tolerancia de  $\pm 7$  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 norma UNE 36094.

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

#### Artículo 37. *Armaduras activas.*

Se denominan armaduras activas a las disposiciones de elementos de acero de alta resistencia mediante las cuales se introduce la fuerza del pretensado en la estructura. Pueden estar constituidos a partir de alambres, barras o cordones, que serán conformes con el artículo 36 de este Código.

##### 37.1 Sistemas de pretensado.

En el caso de armaduras activas postesadas, solo podrán utilizarse los sistemas de pretensado que cumplan los requisitos establecidos en el documento de evaluación europeo, elaborado específicamente para cada sistema por un organismo autorizado en el ámbito del Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011 y de conformidad con el Documento de Evaluación Europeo 160004-00-0301 elaborado por la European Organisation for Technical Assessment (EOTA), o bien demostrar un comportamiento equivalente.

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

– cada tipo de anclaje requiere utilizar un equipo de tesado, en general se utilizará el recomendado por el suministrador del sistema.

– los equipos de tesado deberán encontrarse en buen estado con objeto de que su funcionamiento sea correcto, proporcionen un tesado continuo, mantengan la presión sin pérdidas y no ofrezcan peligro alguno.

– los aparatos de medida incorporados al equipo de tesado, permitirán efectuar las correspondientes lecturas con una precisión del 2%. Deberán contrastarse cuando vayan a empezar a utilizarse y, posteriormente, cuantas veces sea necesario, con frecuencia mínima anual.

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

### 37.2 Dispositivos de anclaje y empalme de las armaduras postesas.

#### 37.2.1 Características de los anclajes.

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

a) El coeficiente de eficacia de un tendón anclado será al menos igual a 0,95, tanto en el caso de tendones adherentes como no adherentes. Además de la eficacia se verificarán los criterios de no reducción de capacidad de la armadura y de ductilidad conforme al Documento de Evaluación Europeo, EAD 160004-00-301 elaborado por la European Organisation for Technical Assessment (EOTA).

b) El deslizamiento entre anclaje y armadura debe finalizar cuando se alcanza la fuerza máxima de tesado (80 % de la carga de rotura del tendón). Para ello:

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

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

c) Para garantizar la resistencia contra las variaciones de tensión, acciones dinámicas y los efectos de la fatiga, el sistema de anclaje deberá resistir 2 millones de ciclos con una variación de tensión de 80 N/mm<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 norma UNE 41184.

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

#### 37.2.2 Elementos de empalme.

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

### 37.3 Vainas y accesorios.

#### 37.3.1 Vainas.

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

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

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

– Vainas de fleje corrugado de plástico. Las características morfológicas son similares a las anteriores, con espesores mínimos de 1 mm. Las piezas y accesorios de material plástico deberán estar libres de cloruros (véase apartado 43.3.1).

En el caso de pretensado interior, cuando se desea conseguir un aislamiento eléctrico para los tendones, bajo presiones y con radios de curvatura similares a las de fleje metálico, pueden emplearse:

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

Admiten, por sí solas, presiones interiores superiores a 1 bar, en función de su espesor y por lo tanto son recomendadas para conseguir estanquidad total en estructuras con alturas de inyección considerables. También son apropiadas para trazados con radios de curvatura inferiores a 100  $\Phi$ .

( $\Phi$  = 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.

## 37.4 Productos de inyección.

### 37.4.1 Generalidades.

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

Los productos de inyección pueden ser adherentes o no, debiendo cumplir, en cada caso, las condiciones que se indican en los apartados 37.4.2 y 37.4.3.

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

#### 37.4.2 Productos de inyección adherentes.

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

##### 37.4.2.1 Materiales componentes.

Los componentes de las lechadas y morteros de inyección deberán cumplir lo especificado en los Artículos 28, 29, 30 y 31 de este Código. Además, deberán cumplir los requisitos que se mencionan a continuación, donde los componentes se expresan en masa con la excepción del agua que se puede expresar en masa o volumen. La precisión de la mezcla debe de ser de  $\pm 2\%$  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  $< 0,1\%$ .
- $\text{Cl}^- < 1$  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 ( $\text{Cl}^-$ ) según UNE-EN 447 no será superior a  $0,1\%$  de la masa de cemento,
- el contenido sulfato (expresado como  $\text{SO}_3$ ) según UNE-EN 196-2 no será superior a  $4,5\%$  de la masa de cemento,
- el contenido en sulfuro ( $\text{S}_2^-$ ) 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 la norma UNE-EN 445.

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

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

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

– La cantidad de agua exudada después de 3 h en reposo aplicando el método de la mecha inducida descrito en la norma UNE-EN 445 no debe ser superior al 0,3 % del volumen inicial de la lechada.

– La reducción de volumen determinada con el método descrito en la norma UNE-EN 445 no excederá del 1 % o, en su caso, la expansión volumétrica será inferior al 5%.

– El tiempo inicial de fraguado no debe ser inferior a 3 y el tiempo final del fraguado no debe exceder de 24 h, determinados según UNE-EN 196-3.

– El fabricante deberá declarar la densidad en estado líquido de la lechada, determinada con el método descrito en la norma UNE-EN 445.

– En el ensayo granulométrico mediante tamizado de la lechada, según UNE-EN 445, no deberán aparecer grumos en el tamiz.

– Los requisitos citados (fluidez, cantidad de agua exudada, variación de volumen, tiempos de fraguado, densidad y ensayo granulométrico mediante tamizado) deberán cumplirse tanto para la temperatura mínima como para la máxima del rango de temperaturas de utilización especificado por el fabricante.

– La relación agua/cemento deberá ser menor o igual que 0,44.

– La resistencia a compresión determinada según UNE-EN 445 (en probetas prismáticas de 4x4x16 cm) debe ser mayor o igual que 27 N/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 estas y los conductos.

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

Para poder utilizar los productos de inyección no adherentes será preciso que estos aparezcan como parte del documento de idoneidad técnico europeo del sistema de pretensado, y por tanto, conformes con el Documento de Evaluación Europeo, EAD 160027-00-301.

#### Artículo 38. *Piezas de entrevigado en forjados.*

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

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

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

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

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

– En piezas de entrevigado cerámicas, la expansión media por humedad, ensayada según la norma UNE-EN 772-19 en 6 piezas, debe ser inferior a 0,6 mm/m.

– El comportamiento de reacción al fuego de las piezas que estén o pudieran quedar expuestas al exterior durante la vida útil de la estructura, cumplirán con la clase de reacción al fuego que sea exigible. En el caso de edificios, deberá ser conforme con el apartado 4 de la sección SI1 del Documento Básico DB SI «Seguridad en caso de incendio» del Código Técnico de la Edificación, en función de la zona en la que esté situado el forjado. Dicha clase deberá estar determinada conforme a la norma UNE-EN 13501-1 según las condiciones finales de utilización, es decir, con los revestimientos con los que vayan a contar las piezas. Las bovedillas fabricadas con materiales inflamables deberán resguardarse de la exposición al fuego mediante capas protectoras eficaces. La idoneidad de las capas de protección deberá ser justificada empíricamente para el rango de temperaturas y deformaciones previsibles bajo la actuación del fuego de cálculo.

#### Artículo 39. *Sistemas de protección para la mejora de la durabilidad.*

##### 39.1 Definiciones.

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

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

Principio es el objetivo concreto buscado de entre las distintas opciones posibles que garantizarían la protección, reparación o refuerzo de la estructura. El principio o principios a alcanzar en cada caso se elegirá a partir de la evaluación de las causas reales o potenciales del deterioro y de acuerdo con la estrategia de gestión adoptada para la estructura.

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

##### 39.2 Generalidades.

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

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

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

### 39.3 Métodos de protección.

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

Tabla 39.3 Principios y métodos para los sistemas de protección

Principios aplicables, de los referidos en UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P1. Protección contra la penetración. Reducción o prevención de la entrada de agentes adversos, como el agua, otros líquidos, vapor, gas, agentes químicos y biológicos.	Impregnación hidrófoba. Impregnación. Revestimiento (Incluyendo métodos de impermeabilización). Vendaje superficial de las fisuras.
P2. Control de humedad. Ajuste y mantenimiento del contenido de humedad en el hormigón dentro de un intervalo de valores especificado.	Impregnación hidrófoba. Impregnación Revestimiento superficial.
P5. Incremento de la resistencia física Incremento de la resistencia al ataque físico o mecánico.	Capas o revestimientos. Impregnación.
P6. Resistencia a los productos químicos. Incremento de la resistencia de la superficie del hormigón al deterioro por ataque químico.	Capas o revestimientos. Impregnación. Aplacados antiácidos.
P8. Incremento de la resistividad eléctrica del hormigón por limitación del contenido de humedad.	Limitación del contenido de humedad. Impregnación hidrófoba. Impregnación. Revestimiento.
P9. Control catódico. Creación de las condiciones para que las áreas potencialmente catódicas de la armadura hagan imposible alcanzar una reacción anódica.	Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos. Pintado de la armadura con revestimientos barrera. Aplicación de inhibidores al hormigón. Limitación del contenido en oxígeno (a nivel del cátodo) por saturación o por revestimiento superficial.
P10. Protección Catódica.	Ánodos de Sacrificio. Corriente impresa.
P11. Control de las zonas anódicas. Creación de condiciones para que las áreas potencialmente anódicas de la armadura hagan imposible una reacción de corrosión.	Revestimiento activo de la armadura. Revestimiento de protección de la armadura. Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos. Pintado de la armadura con revestimientos barrera. Aplicación de inhibidores de corrosión en o sobre el hormigón.

### 39.4 Sistemas de protección.

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

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

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

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

## 39.5 Productos de protección.

## 39.5.1 Productos de protección del hormigón.

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

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

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

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

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

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

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

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

Característica	Método de ensayo	Requisitos en caso de revestimiento	Requisitos en caso de impregnación
Absorción capilar y permeabilidad al agua	UNE-EN 1062-3	$w < 0,1 \text{ (kg /m}^2\text{) h}^{0,5}$	$w < 0,1 \text{ (kg /m}^2\text{)·h}^{0,5}$
Adhesión por tracción directa	UNE-EN 1542	≥1,5 N/mm <sup>2</sup> (sistemas flexibles) ≥2,0 N/mm <sup>2</sup> (sistemas rígidos)	≥1,5 N/mm <sup>2</sup>
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 fenoltaleína por agua. La profundidad de la zona seca, con una precisión de 0,5 mm, se considerará la profundidad efectiva de impregnación	–	>10 mm (nota, UNE-EN 1504-2 exige ≥5mm)

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

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

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

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

Tabla 39.5.1.c Criterios de selección de clase para impregnaciones

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

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

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

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

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

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

### 39.5.2 Productos de protección de las armaduras.

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

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

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

## Artículo 40. *Sistemas de reparación de estructuras de hormigón.*

### 40.1 Generalidades.

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

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

#### 40.2 Métodos de reparación.

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

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

Tabla 40.2 Principios y métodos para los sistemas de reparación

Principios aplicables, de los referidos en UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P1. Protección contra la penetración. Reducción o prevención de la entrada de agentes adversos como el agua, otros líquidos, vapor, gas, agentes químicos y biológicos.	Relleno de las fisuras. Sellado por inyección de resinas acuarreactivas. Sellado con masillas. Mineralizadores de base acuosa por cristalización capilar.
P3. Restauración del hormigón. 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. Incremento de la resistencia al ataque físico o mecánico.	Adición de mortero u hormigón.
P6. Resistencia a los productos químicos Incremento de la resistencia de la superficie del hormigón al deterioro por ataque químico.	Adición de mortero u hormigón.
P7. Preservación o restauración de la pasividad. Creación de condiciones para que las áreas potencialmente anódicas de la armadura hagan imposible una reacción de corrosión.	Aumento del recubrimiento con mortero u hormigón adicional. Sustitución del hormigón contaminado o carbonatado.

#### 40.3 Sistemas de reparación.

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

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

#### 40.4 Productos de reparación.

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

##### 40.4.1 Morteros de reparación.

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

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

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

El criterio de elección entre las dos clases será la resistencia media del hormigón de la estructura a reparar, las condiciones de exposición y el tipo de solicitud, 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 solicitud

Resistencia media del hormigón, condiciones de exposición y tipo de solicitud	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 norma UNE-EN 1504-5, y los tipo D los de la tabla 3b de dicha norma.

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

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

## Artículo 41. *Sistemas de refuerzo de estructuras de hormigón.*

### 41.1 Generalidades.

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

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

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

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

- Recrecido, con hormigón o morteros, de secciones de la totalidad o de, al menos, una parte de los elementos estructurales existentes,
- refuerzo con elementos de acero estructural adheridos o no al hormigón, y
- 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,
- otras técnicas tales como disposición de estructuras auxiliares, modificación del esquema resistente a la estructura original, etc.

### 41.2 Métodos de refuerzo.

La selección del método de refuerzo deberá tener en cuenta la necesidad de garantizar la compatibilidad de las propiedades físicas, químicas, electroquímicas y dimensionales entre el refuerzo y el 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 UNE-EN 1504-9	Ejemplos de métodos basados en los principios
P4. Refuerzo estructural. Incremento de la capacidad portante de un elemento de la estructura de hormigón.	Adición o sustitución de barras de armadura embebidas o externas. Adición de armadura anclada en agujeros preformados o taladrados. Adhesión de elementos de acero estructural de refuerzo. Pretensado (postesado). Refuerzo con elementos de acero estructural no adheridos. Adhesión de polímeros reforzados con fibras (de fibra de carbono, fibra de vidrio, etc.). Recrecido de sección de base cemento.

### 41.3 Sistemas de refuerzo.

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

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

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

#### 41.4 Productos de refuerzo.

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

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

##### 41.4.1 Polímeros reforzados con fibras.

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

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

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

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

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

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

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

##### 41.4.1.1 Matrices.

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

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

##### 41.4.1.2 Fibras.

Las fibras presentan unas condiciones de resistencia y rigidez diferentes en función de la relación entre la longitud del elemento y su diámetro. Las fibras para los materiales empleados en el refuerzo estructural habitualmente tienen unos diámetros comprendidos entre 5 y 20  $\mu\text{m}$ , 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 sustrato,
- no provocar pérdida de la matriz,
- capacidad tixotrópica que permita alcanzar una planeidad continua entre el soporte y el refuerzo.

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

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

#### 42.1 Tipos de mortero.

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

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

Son los de uso más frecuente. Se obtienen por amasado de mortero seco (con o sin árido fino, suministrado normalmente en sacos) con una cierta cantidad de agua, cuantificada por el fabricante del mortero.

– De base mixta: Mortero de 1 o 2 componentes, a base de cemento y resinas. En el caso de mortero monocomponente debe amasarse el producto con agua para su utilización. En el caso de mortero bicomponente deben mezclarse ambos componentes sin adición de agua.

– De base orgánica: Mortero de dos o tres componentes a base de resinas epoxi, fundamentalmente. Aparte de su utilización en anclajes de todo tipo y su posible aplicación como capa fina entre elementos conjugados, se suelen utilizar en juntas húmedas de extensión reducida o en puntos localizados de la junta con una misión específica.

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

#### 42.2 Propiedades del mortero.

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

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

– Presencia limitada de burbujas. En juntas horizontales, o de pequeña inclinación, es importante que, tras su colocación rellenando la junta, el mortero no desprenda burbujas de aire (aire ocluido o aire incorporado en el amasado) que se acumulen en la superficie superior de la junta, entre el mortero y el elemento prefabricado superior. La superficie ocupada por estas burbujas impide el contacto mortero-prefabricado, pudiendo llegar a anular la transmisión del esfuerzo de compresión y rasante a través del mortero de la junta. Dependiendo de la importancia de estos esfuerzos se puede admitir un cierto porcentaje de la superficie ocupada por las burbujas.

– Fluidez, en su caso, que garantice el llenado completo de la junta. Debe tenerse en cuenta la geometría de la junta, su espesor, temperatura, relación agua/mortero seco, proceso de llenado, etc.

## CAPÍTULO 9

### Durabilidad de las estructuras de hormigón

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 43.2.1.a Contenido mínimo de cemento y máxima relación agua/cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																			
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	X32	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2
Máxima relación agua/cemento.	Masa	0,60	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50
	Armado	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,55	0,50	0,55	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	0,45	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,45	0,50	0,50

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																				
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	X32	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Contenido mínimo de cemento (kg/m <sup>3</sup> ).	Masa	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275	300	275	300	275	300	325	300	300	300
	Armado	250	275	275	300	300	300	325	350	325	325	325	300	325	300	325	325	350	350	325	325	325
	Pretensado	275	300	300	300	300	300	325	350	325	325	325	300	325	300	325	325	350	350	325	325	325

Tabla 43.2.1.b Resistencia característica mínima esperada para el hormigón (\*)

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición																				
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Resistencia característica (N/mm <sup>2</sup> ).	Masa	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Armado	25	25	25	30	30	30	30	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	30	30	30
	Pretensado	25	25	25	30	30	30	35	35	35	35	35	30	30	30	30	30	35	35	30	30	30

(\*) Resistencia característica mínima alcanzable para un hormigón fabricado con cemento de categoría resistente 32,5 R con un contenido mínimo de cemento y máxima relación agua/cemento, conformes a lo indicado en la tabla 43.2.1.a.

Cuando el elemento estructural esté expuesto a 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.

Cuando la resistencia especificada en la tipificación del hormigón sea inferior a la resistencia mínima esperada (tabla 43.2.1.b) asociada a la clase de exposición considerada, prevalecerá esta última en la prescripción del hormigón por ser los condicionantes de durabilidad más restrictivos que los de resistencia.

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 (kg/m<sup>3</sup>) por C+KF, así como la relación A/C por A/(C+KF) siendo F (kg/m<sup>3</sup>) 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 kg/m<sup>3</sup>, 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 solo 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 de categoría resistente 32,5 R y áridos de una calidad normal.

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, que varía dependiendo del tipo de inhibidor.

Cuando el proyecto prescriba el uso de aditivos inhibidores de la corrosión incorporados a la masa del hormigón, para las clases de exposición XS o XD podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la tabla 44.2.1.1.b, reducidos en no más de 10 mm. En este caso, será obligatorio justificar la reducción adoptada y contemplar las medidas necesarias para garantizar la eficacia del procedimiento y producto utilizados durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

#### 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 la norma UNE-EN 10088-1, produce un incremento del contenido límite de cloruros a partir del que se inicia la corrosión, que depende del tipo de acero inoxidable.

Cuando el proyecto prescriba el uso de armaduras inoxidables, para las clases de exposición XS o XD podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la tabla 44.2.1.1.b, sin que éstos puedan quedar por debajo de 30 mm. En este caso, será obligatorio justificar la reducción adoptada y contemplar las medidas necesarias para garantizar la eficacia del tipo de acero inoxidable utilizado durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

#### 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.

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 algún defecto superficial en su revestimiento galvanizado, hasta que éste no haya sido reparado.

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

Cuando el proyecto prescriba el uso de armaduras galvanizadas, para las clases de exposición XS o XD podrá disponer de unos recubrimientos mínimos inferiores a los indicados en la tabla 44.2.1.1.b, reducidos en no más de 10 mm. En este caso, será obligatorio justificar la reducción adoptada y contemplar las medidas necesarias para garantizar la eficacia del procedimiento y producto utilizados durante la totalidad de la vida útil de la estructura prevista en el proyecto.

Adicionalmente, en este caso de contemplar reducciones a los recubrimientos indicados en la tabla 44.2.1.1.b, el tratamiento de galvanizado en caliente deberá efectuarse sobre la ferralla elaborada o, en su caso, sobre la ferralla armada, sin admitirse que tras su tratamiento se puedan realizar operaciones de corte, doblado o soldadura de las armaduras galvanizadas.

#### 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 la norma 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 de exposición 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, según los criterios recogidos en la tabla 43.2.2.

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, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4, XM, XA1 (cualquier caso).	≤ 50 mm	≤ 30 mm
XA2 (en el caso de elementos en masa o armados).		
XS3 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 la norma 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 el apartado 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 en contacto con agua de mar, y por tanto sometidos a una clase de exposición XA2, y en el caso de elementos de hormigón 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 elementos estructurales situados en las clases de exposición X0, XC1 o XM, cuando estas están asociadas a un entorno permanentemente 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 emplearán preferentemente áridos no reactivos, según el apartado 30.7.5.

En el caso de que no fuera viable la utilización de áridos no reactivos, la dirección facultativa, en el uso de sus atribuciones, podrá permitir la utilización de áridos potencialmente reactivos siempre y cuando se emplee uno o varios de los siguientes métodos para controlar sus efectos sobre el hormigón:

a) Emplear cementos según la Instrucción para la Recepción de Cementos vigente, que contengan adiciones del tipo: escorias granuladas de horno alto, cenizas volantes silíceas, puzolanas naturales o humo de sílice.

b) Incorporar adiciones de humo de sílice o cenizas volantes silíceas al hormigón en la proporción adecuada que permita mitigar el comportamiento expansivo ocasionado por las reacciones álcali-árido.

c) 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.

El empleo de cualquiera de las soluciones anteriormente mencionadas deberá estar respaldada por un estudio experimental que garantice un comportamiento satisfactorio para prevenir el desarrollo de las reacciones álcali-árido, que el fabricante del hormigón pondrá a disposición de la dirección facultativa.

#### 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, 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 mayoritariamente de naturaleza cuarcítica, pudiendo emplearse otros áridos que tengan 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 tabla 43.3.5.
- 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.

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

#### 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 aquel 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:

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

donde:

$c_{\text{non}}$ : recubrimiento nominal, en mm.

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

$\Delta c_{\text{dev}}$ : margen de recubrimiento, en función del nivel de control de ejecución, y cuyo valor será conforme a la tabla 43.4.1.

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

Tipo de elemento	$\Delta c_{\text{dev}}$ [mm]
Elementos prefabricados con nivel intenso de control en la instalación de prefabricación (en obra o ajena a la obra).	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 (ver apartado 44.5), 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 el apartado 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, este 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-aleado, 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 o XD, como criterio general se comprobará que no se fisura el recubrimiento como consecuencia de la corrosión, según el apartado 44.2.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XF, se comprobará que no hay daño por ciclos hielo/deshielo, según el apartado 44.3.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XA, se comprobará que no hay daño por ataque químico al hormigón, según el apartado 44.4.
- Para elementos estructurales sometidos a clases de exposición XM, se comprobará que no hay daño por erosión del hormigón, según el apartado 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 o 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

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm <sup>2</sup> ]	Vida útil de proyecto (tL), (años)	
			50	100
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 (tg) (años)	Clase de exposición			
			XS1,	XS2	XS3	XD1, XD2, XD3
Hormigón armado.	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV., CEM II/B-V, CEM II/A-D u hormigón con adición de microsilíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%.	50	25	30	45	35
		100	30	35	50	40
	CEM II/B-S, B-P.	50	30	35	65	40
		100	35	40	70	45
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28.	50	40	45	*	*
		100	65	*	*	*
Hormigón pretensado.	CEM II/A-D o bien CEM I con adición de humo de sílice superior al 6%.	50	30	35	50	40
		100	35	40	65	45
	Resto de cementos utilizables, según el artículo 28.	50	45	55	*	*
		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 el apartado 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 30.3.

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 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.

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 los apartados 43.3.1.5 ó 43.3.1.6, respectivamente.

#### 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.

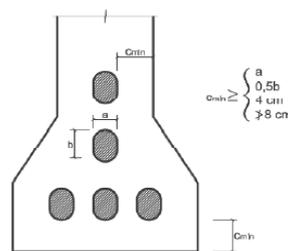


Figura 44.2.1.2

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 el apartado 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 <sup>2</sup> ]	Vida útil de proyecto (tL), (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 el apartado 43.2.1,
- los criterios específicos frente al ataque químico recogidos en el apartado 43.3.4, y
- los recubrimientos mínimos sean conformes con la tabla 44.4.

Tabla 44.4 Recubrimientos mínimos para las clases de exposición XA

Clase de exposición	Tipo de cemento	Vida útil de proyecto (tg), (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.

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 el apartado 43.2.1,
- los criterios específicos frente al ataque por erosión recogidos en el apartado 43.3.5, y

– los recubrimientos mínimos sean los obtenidos de la aplicación del resto de criterios (mecánicos o de durabilidad) más un sobre-espesor de acuerdo con lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 44.5 Sobre-espesor del recubrimiento para las clases de exposición XM

Clase de exposición	Sobre-espesor del recubrimiento, en mm
XM1	5
XM2	10
XM3	15

## CAPÍTULO 10

### Estructuras de hormigón. Dimensionamiento y comprobación

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

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 la norma UNE-EN 12812, y los apuntalamientos, preferentemente, de acuerdo con lo indicado en las normas 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 asentar en él. Las cimbras deberán estabilizarse en las dos direcciones para que el apuntalado 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 apuntalado 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 kN/m<sup>2</sup> 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 apuntalados 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 apuntalados. Los puntales deberán poder transmitir la fuerza que reciban y, finalmente, permitir el desapuntalado 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 estas 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 calidad.

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:

- control interno de cada uno de los procesos de ferralla,
- ensayos e inspecciones para el autocontrol de las armaduras elaboradas o, en su caso, de la ferralla armada,
- 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
- 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  $R_m$ ,  $R_e$ ,  $R_m/R_e$ ,  $R_e/R_e \text{ nom}$ ,  $A_{gt}$  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 efectuará al menos una medida diaria, correspondiente 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 ferrallas 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  $\epsilon_{m\acute{a}x}$  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 concurran en cada caso, la disminución de las distancias mínimas que se indican en los apartados siguientes previa justificación especial.

##### 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 prearmado.

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.

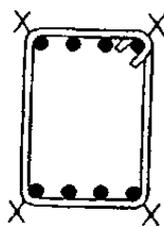
La disposición de los puntos de atado cumplirá las siguientes condiciones en función del tipo de elemento:

a) Losas y placas:

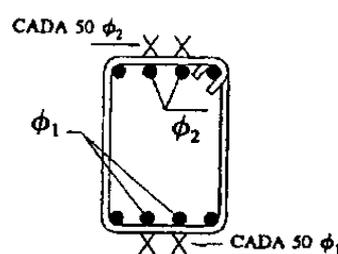
- se atarán todos los cruces de barras en el perímetro de la armadura;
- cuando las barras de la armadura principal tengan un diámetro no superior a 12 mm, se atarán en el resto del panel los cruces de barras de forma alternativa, al tresbolillo. Cuando dicho diámetro sea superior a 12 mm, los cruces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

b) Pilares y vigas:

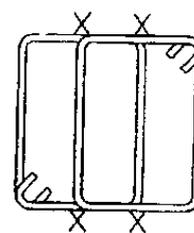
- se atarán todos los cruces de esquina de los estribos con la armadura principal;
- cuando se utilice malla electrosoldada doblada formando los estribos o armadura de pre-armado para la disposición automática de estribos, la armadura principal debe atarse en las esquinas a una distancia no superior 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.



Barras de esquina en todos los estribos



Restantes barras



Estribos múltiples

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:

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

Las características de los electrodos a emplear en los procedimientos a) y b), serán las indicadas en la norma UNE-EN ISO 17660-2. En cualquier caso, los parámetros del proceso deberán establecerse mediante la realización de ensayos previos, que garanticen la no afección 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 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 en posesión de un certificado de adherencia a partir del ensayo de la viga, según el apartado 34.2. 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 estas 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° y 90° o que en el caso de formar un ángulo inferior a 45°, 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:

- $10 \phi$ ;
- 150 mm;
- la tercera parte de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas y los dos tercios de dicha longitud para barras comprimidas.

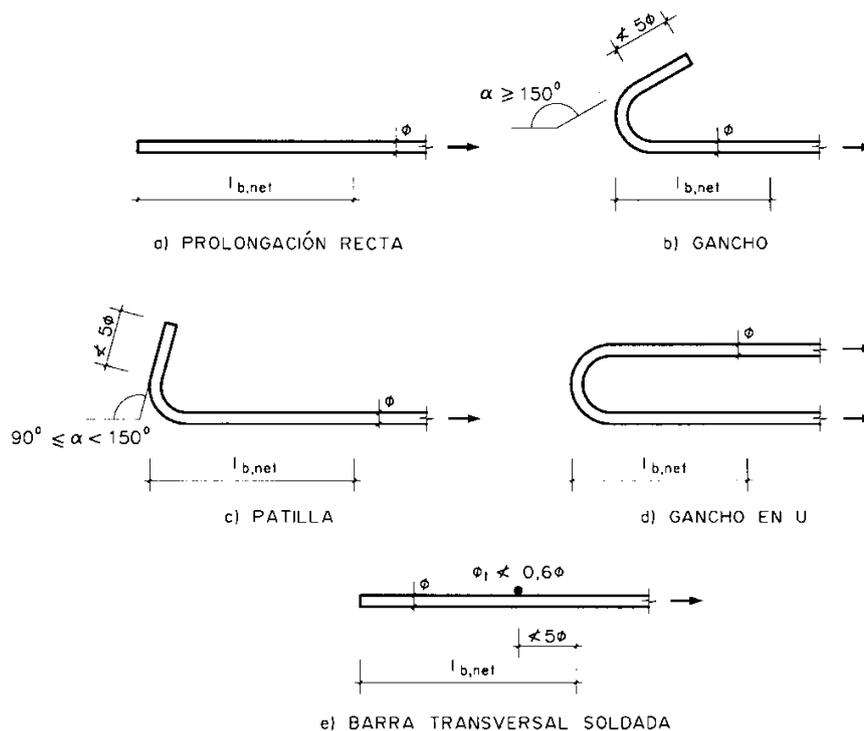


Figura 49.5.1.1 Procedimientos normalizados para los anclajes extremos de las barras

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:

$$l_{bl} = m \varnothing^2 \leq \frac{f_{yk}}{20} \varnothing$$

– Para barras en posición II:

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

donde:

$\varnothing$  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>.

$l_{bl}$  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  $3 \varnothing$ . En caso contrario  $\beta = 1$ .

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

#### 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:

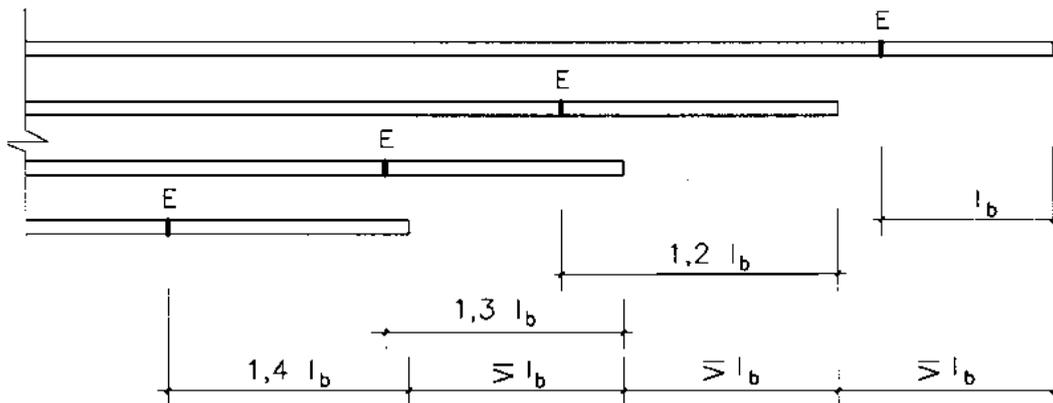
- 1,3  $l_b$  para grupos de 2 barras;
- 1,4  $l_b$  para grupos de 3 barras;
- 1,6  $l_b$  para grupos de 4 barras;

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:

- 1,2  $l_b$  si va acompañada de 1 barra en la sección en que deja de ser necesaria;
- 1,3  $l_b$  si va acompañada de 2 barras en la sección en que deja de ser necesaria;
- 1,4  $l_b$  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 49.5.1.2).



E: Sección en que deja de ser necesaria la barra

Figura 49.5.1.2 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 en posesión de un certificado de adherencia a partir del ensayo de la viga, según el apartado 34.2. 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).

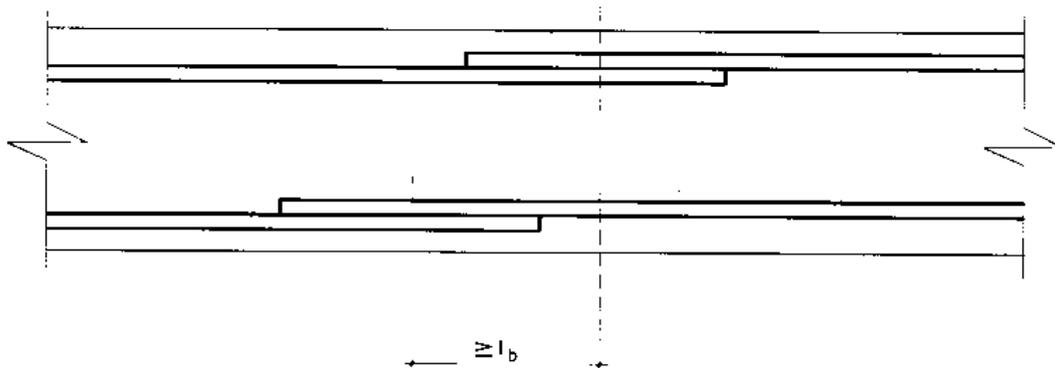


Figura 49.5.2.1 Empalmes de las distintas barras en tracción

##### 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.

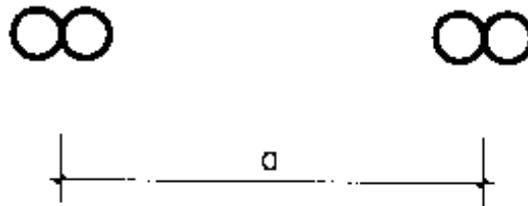


Figura 49.5.2.2 Distancia transversal entre empalmes

Tabla 49.5.2.2 Valores de  $\alpha$

Distancia entre los empalmes más próximos (figura 49.5.2.2)	Porcentaje de barras solapadas trabajando a tracción, con relación a la sección total de acero					Barras solapadas trabajando 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, solo 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.

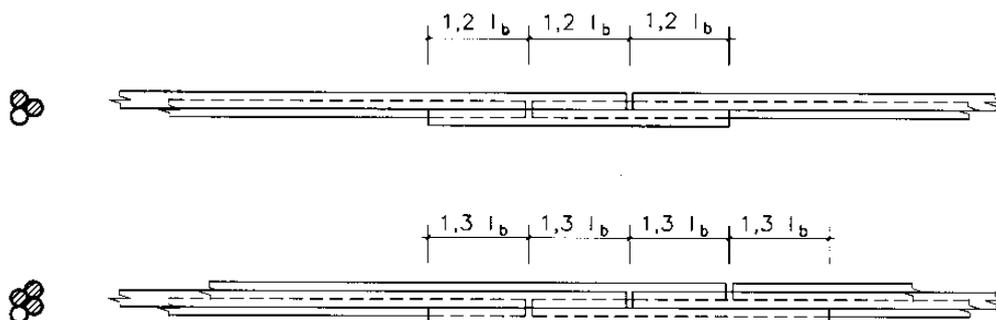


Figura 49.5.2.3 Empalmes por solapo de grupos de barras

## 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  $\alpha l_{b, \text{neta}}$ , siendo  $l_{b, \text{neta}}$  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 solo 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  $l_{b, \text{neta}}$ .

## b) Solapo de mallas superpuestas:

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

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

- a)  $15\phi$ .
- 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  $1,5 l_b$ . Con barras dobles de  $\phi > 8,5$  mm, solo se permite solapar, como máximo, el 60 por 100 de la armadura.

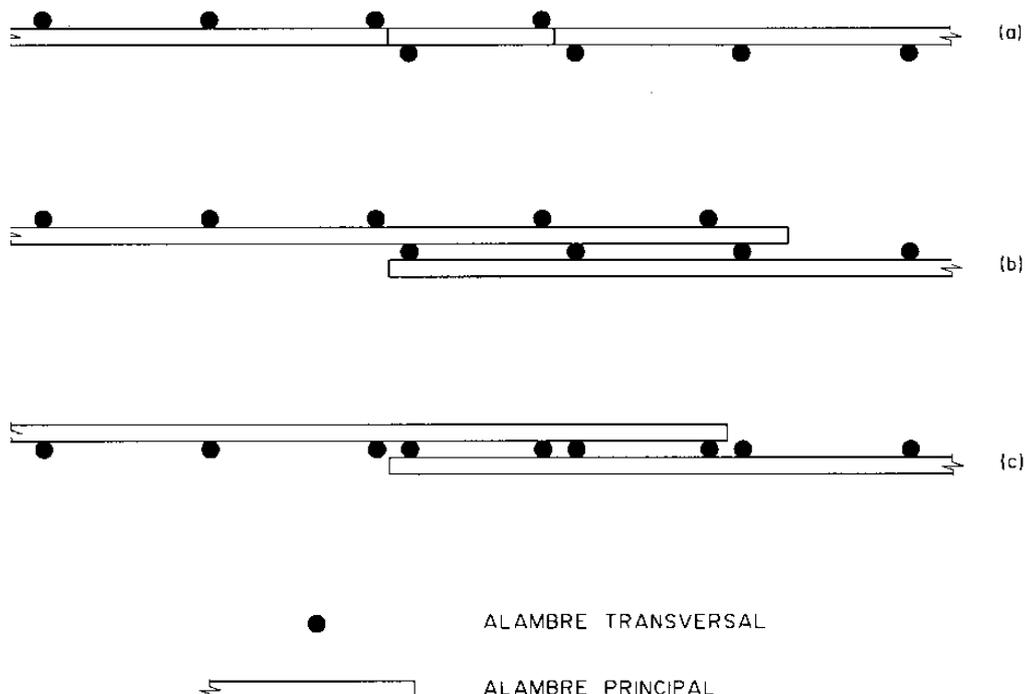


Figura 49.5.2.4 Posiciones de solapo según la disposición de las mallas

#### 49.5.2.5 Empalmes por soldadura resistente.

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

- a) soldadura por arco manual con electrodo revestido,
- b) 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 solicitaciones 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 ferralla (elaborada y armada).

La ferralla elaborada 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, 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 estas 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 cm
	Emparrillado superior.	50 $\varnothing$ $\leq$ 50 cm

Elemento		Distancia máxima
Muros.	Cada emparrillado.	50 $\varnothing$ o 50 cm
	Separación entre emparrillados.	100 cm
Vigas <sup>1)</sup> .		100 cm
Soportes <sup>1)</sup> .		100 $\varnothing$ $\leq$ 200 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 electrofónica 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 (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, de acuerdo con lo indicado en la correspondiente Evaluación Técnica Europea (ETE) que satisfaga los requisitos del Documento de Evaluación Europeo EAD 160004-00-301.

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.

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, que incluye entre otra información 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.

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

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 Documento de Evaluación Europeo EAD 160027-00-301.

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 desgarró 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.

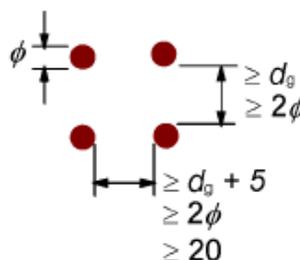
Los desviadores se colocarán siguiendo estrictamente las instrucciones del suministrador.

#### 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):

- a) 20 milímetros (solo para la separación horizontal),
- b) 2 veces el diámetro de la mayor,
- c) el tamaño máximo del árido más 5 mm para la separación horizontal y el tamaño máximo del árido para la separación vertical.



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

Figura 50.2.2.3 Separación libre mínima de los tendones individuales

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.

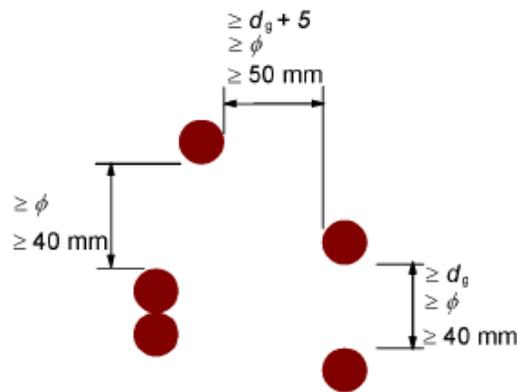
Las distancias libres entre vainas o grupos de vainas en contacto, o entre estas vainas y las demás armaduras, deberán ser al menos iguales al mayor de los valores siguientes:

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.



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

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

### 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. En el apartado 8.10.2 del anejo 19 se dan indicaciones relativas a la obtención de dichos valores.

### 50.2.4 Empalmes de las armaduras activas.

En el caso de acopladores móviles, 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 irreemplazables 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.

Solo 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, salvo indicación específica incluida en la Evaluación Técnica Europea (ETE) del sistema.

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 (ETE) 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 el porcentaje de aire ocluido especificado en la Evaluación Técnica Europea (ETE) 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 pretensas.

El destesado es la operación mediante la cual se transmite el esfuerzo de pretensado de las armaduras al hormigón, en el caso de armaduras pretensas, 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 estas 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 7, 8 y 9 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 4.º de la Ley 21/1992, 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, que cumple con las disposiciones físicas y documentales que contempla la legislación industrial vigente 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.

#### 51.2.2.3 Agua.

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

#### 51.2.2.4 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.

#### 51.2.2.5 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.

En plantas de hormigón preparado, las instalaciones de dosificación cumplirán los requisitos recogidos en la reglamentación vigente relativa al control de producción de hormigones fabricados en central.

Se dispondrá de silos con compartimentos adecuados y separados para cada una de las fracciones granulométricas necesarias de árido. Cada compartimento de los silos será diseñado y montado de forma que pueda descargar con eficacia, sin atascos y con una segregación mínima, sobre el sistema de pesaje.

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, 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, salvo que exista una reglamentación específica que marque una frecuencia mayor.

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 conforme a la reglamentación industrial vigente relativa al control de producción de hormigones fabricados en central.

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 solo 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 (kg/m<sup>3</sup>), 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.

La central garantizará el volumen del hormigón que compone la carga y dispondrá de un protocolo informativo para los clientes que deseen verificar la comprobación del volumen basado en la determinación del peso transportado.

##### 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 y de los productos de protección, reparación y refuerzo.*

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.

#### 52.6 Puesta en obra de los productos de protección, reparación y refuerzo.

La ejecución de los trabajos de protección, reparación y refuerzo deberá hacerse en base a un informe justificativo de la actuación en el que se incluyan las hojas técnicas de los productos utilizados así como cualquier otra documentación relativa a su aplicación. Dicho informe justificativo deberá ser facilitado por el constructor a la dirección facultativa para su aprobación.

### 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 desmoldadas, no presentarán coqueras 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 el caso de elementos paletizados (bloques, bovedillas, baldosas, etc.), sus únicas prescripciones serán las de asentarlos sobre un terreno regular, claramente diferenciado y protegido de posibles impactos accidentales de personas o vehículos que transiten en la obra, ya que se trata de elementos por lo general más delicados.

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, que contendrán como mínimo:

- planos de instalación consistentes en plantas y secciones con la posición y las conexiones de los productos en las obras terminadas,
- datos de instalación con las propiedades requeridas in situ del material, cuando sea necesario,
- instrucciones de instalación con los datos necesarios para el manejo, almacenaje, ajuste, conexión y trabajos de finalización.

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**

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.
Jácnas.	10 %	20 %	Mínimo 3 jácnas 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.
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.

Tabla 55. Frecuencia de comprobación (continuación)

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
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 estas 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**

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) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán evaluarse de conformidad 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 según lo especificado en la norma armonizada 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 o a los materiales componentes 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 Instrucción para la recepción de cementos vigente.

### 56.4.2 Áridos.

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.

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, salvo aquellos sancionados por la práctica, 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 la norma 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 desecharán 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 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  $f_{ck} \geq 50$  N/mm<sup>2</sup> 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 R<sup>2</sup> 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:

$$f_c = \lambda_{cil,cub15} f_{c,cúbica}$$

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.

$\lambda_{cil,cúb15}$  Coeficiente de conversión.

Tabla 57.3.2 Coeficientes de conversión

Resistencia en probeta cúbica, $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\lambda_{cil,cúb15}$
$f_c < 60$	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 ± 2 °C y humedad relativa ≥ 95 %.

Antes de iniciar el ensayo, se someterá a las probetas a un periodo de secado previo de 72 horas en una estufa de tiro forzado a una temperatura de 50 ± 5 °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.

En su caso, certificado de inspección de la central suministradora del hormigón preparado, según proceda, en función de lo establecido en la reglamentación industrial vigente relativa al control de producción de hormigones fabricados en central.

##### 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 reconocido.

Cuando el hormigón proceda de una misma central que tenga documentada su experiencia de uso anterior en otras obras con la misma dosificación, con las mismas materias primas de igual naturaleza y origen, y se utilicen las mismas instalaciones no serán necesarios los ensayos previos, ni los característicos tanto los de resistencia como los de durabilidad.

#### 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.

El constructor, o la persona designada en obra que le represente técnicamente, comprobará, bajo la supervisión de la dirección facultativa, que los valores reflejados en la hoja de suministro son conformes con las especificaciones de este Código, y se corresponden con las de la dosificación declarada por el suministrador.

##### 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 el apartado 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.

Ante el incumplimiento de los criterios de aceptación podrán adoptarse medidas tendentes a garantizar la aptitud de la amasada, valorando la verdadera causa de la consistencia no conforme, considerando como punto de partida el diseño de la mezcla y las circunstancias de fabricación y transporte que hayan podido concurrir. Si tras la valoración, la amasada se considera irrecuperable, se procederá a su rechazo.

**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	N.º de elementos o dimensión	N.º de amasadas a controlar en cada lote Hormigón sin distintivo oficialmente reconocido	N.º 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
Vigas, forjados, losas para pavimentos y otros elementos trabajando a flexión	100 m <sup>3</sup>	2 semanas	1000 m <sup>2</sup> de superficie construida 2 plantas (**)	$N \geq 3$	N=1
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	$N \geq V/20$ $N \geq 4$	$N \geq V/60$ $N \geq 1$

Tipo de elemento	Volumen de hormigón	Tiempo de hormigonado	N.º de elementos o dimensión	N.º de amasadas a controlar en cada lote Hormigón sin distintivo oficialmente reconocido	N.º de amasadas a controlar en cada lote Hormigón con distintivo oficialmente reconocido
Tableros construidos por fases <sup>(***)</sup>	600 m <sup>3</sup>		1 fase	$N \geq V/30$ $N \geq 4$	$N \geq V/90$ $N \geq 1$
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	$N \geq 3$	$N=1$
Contrabóvedas de túneles	100 m <sup>3</sup>	1 día	1 fase	$N \geq 3$	$N=1$

(\*) 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.

(\*\*\*) 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.

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  $\geq f_{ck} 50 \text{ N/mm}^2$ , 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 dentro del alcance de certificación de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- 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 dentro del alcance de certificación de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
2	$f(\bar{x}) = \bar{x} - 1.66s_{35}^* \geq f_{ck}$	Se han controlado más de 36 amasadas.
3	$f(x_i) = x_i K_n \geq f_{ck}$	Hasta la 36.ª amasada.

donde:

$f(\bar{x}); f(x_i)$  Funciones de aceptación.

$\bar{x}$  Valor medio de los resultados obtenidos en las  $N$  amasadas ensayadas por lote de obra.

$x_i$  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.

$K_n$  Coeficiente que toma 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	>10
$K_n$	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	1

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 masa o armados 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,
- elementos de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas, que trabajen a flexión, con luces inferiores a 6,00 metros,
- obras de ingeniería de pequeña importancia.

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:

- los resultados de los ensayos de consistencia cumplen lo indicado en el apartado 57.5.2;
- 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;
- 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, XF o 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, XD1, XD2, XD3, XA1, XM1, XM2, XM3, XF3, XF1, 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. También se podrán elaborar certificados parciales mensuales en el caso de suministros prolongados en el tiempo.

#### 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 solo 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 la norma 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 periodo 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, 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) <sup>(*)</sup>	diaria	diaria
N.º 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 el apartado 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:

$$f(\bar{x}) = \bar{x} - 1,66 s_{35}^* \geq f_{ck}$$

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/mm<sup>2</sup>, 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:

- un control documental conforme al apartado 21.1,
- en su caso, un control mediante distintivos de calidad oficialmente reconocidos conformes con lo indicado en el artículo 18, y
- 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  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ,  $R_m/R_{p0,2}$ ,  $R_{p0,2real}/R_{p0,2nominal}$ ,  $A$ ,  $A_{gt}$ . 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 una 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:

$$\begin{aligned} \%C_{\text{ensayo}} &= \% C_{\text{certificado}} \pm 0,03 \\ \%C_{\text{eq ensayo}} &= \% C_{\text{eq certificado}} \pm 0,03 \\ \%P_{\text{ensayo}} &= \% P_{\text{certificado}} \pm 0,008 \\ \%S_{\text{ensayo}} &= \% S_{\text{certificado}} \pm 0,008 \\ \%N_{\text{ensayo}} &= \% N_{\text{certificado}} \pm 0,002 \\ \%Cu_{\text{ensayo}} &= \% Cu_{\text{certificado}} \pm 0,07 \end{aligned}$$

– 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 norma 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 la armadura normalizada

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 norma 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 norma 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 norma 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 norma 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. La renovación trienal del certificado de adherencia se realizará por un laboratorio de los contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código, o bien perteneciente a un centro directivo de las Administraciones Públicas o bien acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 para la realización de estos ensayos. El laboratorio efectuará 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.

El constructor, o la persona designada en obra que le represente técnicamente, deberá comprobar, bajo la supervisión de la dirección facultativa, 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 norma 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 las 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 norma 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 35.3, 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 solo, 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 la norma 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 la norma 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 norma UNE-EN ISO 15630 correspondiente, sobre los mandriles indicados en la norma 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 la norma 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.º.

### 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. La renovación trienal del certificado de adherencia se realizará por un laboratorio de los contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código, o bien perteneciente a un centro directivo de las Administraciones Públicas o bien acreditado conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 para la realización de estos ensayos. El laboratorio efectuará 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;
- f) 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.

El constructor, o la persona designada en obra que le represente técnicamente, deberá comprobar, bajo la supervisión de la dirección facultativa, 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  $R_m$ ,  $R_{p0.2}$ ,  $R_m/R_{p0.2}$ ,  $R_{p0.2real}/R_{p0.2nominal}$  (solo 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 norma 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 solo 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 norma 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%,  $R_{p0,1}$ . Carga al límite elástico convencional al 0,2%,  $R_{p0,2}$ . Carga de rotura,  $R_m$ . Relación  $R_{p0,2}/R_m$ . Alargamiento total bajo carga máxima,  $A_{gt}$ . Estricción,  $Z$ .
- Ensayo de doblado alternativo, solo 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 (solo para cordones de 7 alambres de diámetro  $\geq 13$ 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.

Adicionalmente, 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 la norma 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) aquella 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.

El constructor, o la persona designada en obra que le represente técnicamente, deberá comprobar, bajo la supervisión de la dirección facultativa, 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 norma EN 206, norma de referencia para los productos con marcado CE obligatorio (de acuerdo a la versión establecida en la norma de producto correspondiente), se empleará en el proyecto del elemento prefabricado unos coeficientes de ponderación, en situación persistente o transitoria, de 1,70 para el hormigón y de 1,15 para el acero. No obstante, el fabricante podrá aplicar un coeficiente parcial de seguridad de 1,50 para el hormigón, si dispone de un certificado del control de producción en fábrica, concedido por una entidad de certificación según el apartado 17.2.2.2 de este Código, en cualquier caso acreditados conforme a los apartados de este Código que le sean de aplicación y a la norma UNE-EN ISO/IEC 17065 según el Reglamento (CE) N.º 765/2008, del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de julio, que demuestre que el hormigón se fabrica de conformidad con los criterios establecidos en este Código. Dichos coeficientes podrán disminuirse hasta 1,35 en el caso del hormigón y 1,10 en el caso del acero, si el elemento prefabricado está en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido y se cumplen el resto de condiciones indicadas en el Anejo 19 de este Código.

## 62.2 Toma de muestras.

En el caso de que así lo decidiera 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 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. Solo 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 o el agente en el que delegue, 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 62.4.1.

#### 62.5 Control durante el suministro.

##### 62.5.1 Control documental durante el suministro.

El constructor, o la persona designada en obra que le represente técnicamente, deberá comprobar, bajo la supervisión de la dirección facultativa, 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 realizar las comprobaciones que considere necesarias en base al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones indicadas por la dirección facultativa.

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 43.4.1.

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 62.5.3.4 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**

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	N.º 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>
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, construidos 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

Tipo de elemento	N.º de elementos o dimensión
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 construidos 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>(1)</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

Proceso de ejecución	Tamaño máximo de la unidad de inspección
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 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.	Acabado de la superficie vista del hormigón de cada elemento de cimentación.
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.	Acabado de la superficie vista del hormigón de cada elemento de cimentación.
Alzados de pilares, y muros en edificación.	Encofrado de cada pilar. Encofrado de 5 m de muro, en su caso.	Armadura de cada pilar. Armadura correspondiente a 5 m 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 5 m de muro, en su caso.	Desencofrado de cada pilar. Desencofrado de 5 m de muro, en su caso.	Curado de la superficie de cada pilar. Curado correspondiente a 5 m de muro, en su caso.	Superficie de cada pilar. Superficie de cada 5 m 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 5 m 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 5 m de muro, en su caso.	Curado de la superficie de cada pila o estribo. Curado correspondiente a 5 m de muro, en su caso.	Superficie de cada pila o estribo. Superficie de cada 5 m de muro, en su caso.

Tipo de elemento	Procesos de ejecución						
	Encofrado	Montaje de armaduras pasivas	Operaciones de pretensado	Vertido y compactación	Desencofrado	Curado	Acabado
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 constate 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 se indica en las normas UNE-EN ISO 17660-1, para soldaduras resistentes y UNE 17660-2 para soldadura no 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 bajo la supervisión de la dirección facultativa, se 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 UNEEN 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 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 estas 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 estas (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 bajo la supervisión de la dirección facultativa comprobará 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 bajo la supervisión de la dirección facultativa comprobará 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, solo 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**

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 se 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 reparación (con recuperación de los niveles de seguridad), 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 de análisis estructural 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 de este Código. 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 de este Código.

### 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 previsibles, 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 previsibles 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**

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,
- identificación de posibles servicios públicos afectados por la demolición, e
- identificación de los materiales peligrosos que contiene la estructura a demoler.

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,
- medidas previstas para la separación de los residuos generados, así como medidas previstas para la retirada de los posibles residuos peligrosos 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.

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 tipos y cantidades de residuos generados por la demolición, con especial atención a los residuos peligrosos,
- elaboración de un estudio de gestión de residuos que contenga los destinos previstos para los residuos generados,
- 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.

## TÍTULO 3

### Estructuras de acero

#### CAPÍTULO 17

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

### Artículo 79. *Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras de acero.*

Este título es aplicable a todas las estructuras y elementos de acero 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:

- los elementos estructurales realizados con aceros especiales tales como los aceros de alto límite elástico, o los aceros inoxidable, que presenten un límite elástico superior a 700 N/mm<sup>2</sup>, salvo en elementos de unión (tornillos, bulones, etc.), y los aceros provenientes de aleaciones especiales como el acero inoxidable con un límite elástico superior a 480 N/mm<sup>2</sup>,
- perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío,
- los elementos estructurales mixtos de acero estructural y hormigón que se regirán por lo contemplado en el título 4 en aquello que les es específico y,
- en general, las estructuras mixtas de acero y cualquier otro material de distinta naturaleza con función resistente.

En el caso de que la estructura de acero se pretense con armaduras activas, todo aquello que concierna al pretensado, en lo que se refiere a bases de proyecto, análisis estructural, dimensionamiento y comprobación, ejecución y control, se llevará a cabo de acuerdo con lo establecido en el título 2.

Cuando, en función de las características de la estructura, exista reglamentación específica de acciones, este Código se aplicará complementariamente a la misma.

Cuando a la vista de las características de la obra, definidas por la propiedad, la estructura pueda considerarse como una obra especial o singular, 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 este Código, con su mismo nivel de garantía.

#### Artículo 80. Criterios específicos para las estructuras de acero.

##### 80.1 Clases de exposición relativas a la corrosividad del acero estructural.

A los efectos de este Código, se definen como clases de exposición relativas a la corrosividad del acero estructural las recogidas en las tablas 80.1.a y 80.1.b.

Se distingue entre estructuras o elementos estructurales expuestos a la corrosión atmosférica (tabla 80.1.a) y estructuras o elementos estructurales sumergidos en agua o enterrados en el suelo (tabla 80.1.b). En el caso de que existan procesos mecánicos (erosión eólica por arena, abrasión por la acción de las olas o de los sólidos transportados por el agua), biológicos (acción de organismos vivos), térmicos (temperaturas superiores a 60°C), o agentes químicos particularmente agresivos (caso de ciertas instalaciones industriales especiales, como industrias papeleras, factorías de tintes y refinerías de petróleo), cuyo efecto agrava fuertemente la posible corrosión, deberá tenerse en cuenta este hecho, al objeto de reforzar la protección de la estructura.

Debe tenerse en cuenta el peligro de formación de condensaciones, que puede producirse en las áreas más frías de estructuras en el interior de edificios, en espacios cerrados y elementos huecos cuya hermeticidad no haya sido garantizada (caso de emplear soldaduras discontinuas o uniones no herméticas con pernos), o en instalaciones especiales (como las estaciones de bombeo o los circuitos de refrigeración por agua). La formación de condensaciones supone siempre un agravamiento de la corrosión.

En el caso de puentes de carretera o pasarelas peatonales, debe prestarse especial atención si existe riesgo de corrosión por la utilización de fundentes (sales de deshielo). Esto puede producir corrosión en tableros de puentes o pasarelas en las que se utilicen fundentes, en zona inferior de pilas de pasos elevados sobre carreteras en que se empleen, e incluso en la cara inferior de tableros de pasos elevados sobre carreteras en las que se utilicen, por efecto de los aerosoles salinos producidos. A estos efectos, en las zonas con más de cinco nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C, se considerará que la clase de exposición es la C5.

Tabla 80.1.a Clases de exposición relativas a la corrosividad atmosférica del acero estructural

Designación	Clase de exposición (corrosividad)	Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de espesor (tras el primer año de exposición)				Ejemplos de ambientes típicos en un clima templado	
		Acero de bajo contenido en carbono		Cinc		Exterior	Interior
		Pérdida de masa g/m <sup>2</sup>	Pérdida de espesor μm	Pérdida de masa g/m <sup>2</sup>	Pérdida de espesor μm		
C I	muy baja	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	Edificios con calefacción y con atmósferas limpias, por ejemplo: oficinas, tiendas, colegios, hoteles.

Designación	Clase de exposición (corrosividad)	Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de espesor (tras el primer año de exposición)				Ejemplos de ambientes típicos en un clima templado	
		Acero de bajo contenido en carbono		Cinc		Exterior	Interior
		Pérdida de masa g/m <sup>2</sup>	Pérdida de espesor µm	Pérdida de masa g/m <sup>2</sup>	Pérdida de espesor µm		
C2	baja	> 10 y hasta 200	> 1,3 y hasta 25	> 0,7 y hasta 5	> 0,1 y hasta 0,7	Atmósferas con bajos niveles de contaminación. Áreas rurales en su mayor parte.	Edificios sin calefacción donde pueden ocurrir condensaciones, por ejemplo: almacenes, polideportivos.
C3	media	> 200 y hasta 400	> 25 y hasta 50	> 5 y hasta 15	> 0,7 y hasta 2,1	Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad.	Naves de fabricación con elevada humedad y con algo de contaminación del aire, por ejemplo: plantas de procesamiento de alimentos, lavanderías, plantas cerveceras, plantas lácteas. Interior de puentes-cajón.
C4	alta	> 400 y hasta 650	> 50 y hasta 80	> 15 y hasta 30	> 2,1 y hasta 4,2	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad.	Plantas químicas, piscinas, barcos costeros y astilleros.
C5	muy alta	> 650 y hasta 1.500	> 80 y hasta 200	> 30 y hasta 60	> 4,2 y hasta 8,4	Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva y áreas costeras con elevada salinidad.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes, y con contaminación elevada.
CX	extrema	> 1.500 y hasta 5.500	> 200 y hasta 700	> 60 y hasta 180	> 8,4 y hasta 25	Áreas de ultramar con elevada salinidad y áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva y atmósferas subtropical y tropical.	Áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva.

Tabla 80.1.b Clases de exposición relativas al agua y suelo

Designación	Clase de exposición	Ejemplos
Im1	Agua dulce.	Instalaciones ribereñas, plantas hidroeléctricas.
Im2	Agua de mar o salobre.	Estructuras en contacto con el agua de mar sin protección catódica (por ejemplo áreas portuarias con estructuras como diques, compuertas o embarcaderos).
Im3	Suelo.	Tanques enterrados, pilotes de acero, tuberías de acero.
Im4	Agua de mar o salobre.	Estructuras en contacto con agua de mar con protección catódica (por ejemplo estructuras off-shore).

## CAPÍTULO 18

**Propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras de acero**Artículo 81. *Generalidades.*

Este capítulo prescribe los requisitos que deben cumplir los materiales utilizables en las estructuras de acero. El artículo 82 define las características de composición química, mecánicas y tecnológicas que deben cumplir, así como los métodos de ensayo para su determinación. Los Artículos 83 y 84 se refieren, respectivamente, a los tipos de acero y a los diferentes productos (perfiles y chapas) utilizables.

El artículo 85 especifica los medios de unión utilizables, y el artículo 86 se refiere a los sistemas de protección necesarios.

## Artículo 82. Características de los aceros.

### 82.1 Composición química.

La composición química de los aceros utilizables para la fabricación de perfiles y chapas para estructuras de acero será la especificada en el apartado que corresponda, según el tipo de acero, en el artículo 83.

### 82.2 Características mecánicas.

A los efectos de este Código, las características fundamentales que se utilizan para definir la calidad de los aceros son las siguientes:

- Diagrama tensión-deformación (carga unitaria-deformación).
- Carga unitaria máxima a tracción o resistencia a tracción ( $f_u$ ).
- Límite elástico ( $f_y$ ).
- Deformación correspondiente a la resistencia a tracción o deformación bajo carga máxima ( $\epsilon_{m\acute{a}x}$ ).
- Deformación remanente concentrada de rotura ( $\epsilon_u$ ).
- Módulo de elasticidad ( $E$ ).
- Estricción ( $Z$ ) expresada en porcentaje.
- Resiliencia ( $K_v$ ).
- Tenacidad de fractura.

Los fabricantes deberán garantizar, como mínimo, las características indicadas en b), c), d), e), f) y h).

### 82.3 Requisitos de ductilidad.

Los aceros utilizables deberán cumplir los siguientes requisitos, al objeto de garantizar una ductilidad suficiente:

$$\begin{aligned} f_u/f_y &\geq 1,10 \\ \epsilon_u &\geq 0,15 \\ \epsilon_{m\acute{a}x} &\geq 15 \epsilon_y \end{aligned}$$

siendo  $\epsilon_u$  la deformación remanente concentrada de rotura medida sobre una base de longitud  $5,65 \sqrt{A_0}$ , donde  $A_0$  es la sección inicial,  $\epsilon_{m\acute{a}x}$  es la deformación correspondiente a la resistencia a tracción o deformación bajo carga máxima y  $\epsilon_y$  la deformación correspondiente al límite elástico, dada por  $\epsilon_y = 0,002 + f_y/E$ , siendo  $E$  el módulo de elasticidad del acero, para el que puede tomarse el valor convencional de 210.000 N/mm<sup>2</sup>, salvo que se disponga de resultados procedentes de ensayos del acero.

### 82.4 Características tecnológicas.

La soldabilidad es la aptitud de un acero para ser soldado mediante los procedimientos habituales sin que aparezca fisuración en frío. Es una característica tecnológica importante, de cara a la ejecución de la estructura. Según la norma ISO 581:1980 «Un acero se considera soldable en un grado prefijado, por un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante una técnica adecuada pueda conseguirse la continuidad metálica de la unión, de tal manera que ésta cumpla con las exigencias prescritas con respecto a sus propiedades locales y a su influencia en la construcción de la que forma parte integrante».

La resistencia al desgarro laminar del acero se define como la resistencia a la aparición de fisuras en piezas soldadas sometidas a tensiones de tracción en dirección perpendicular a su superficie. Para evitar el desgarro laminar, se deberá reducir en lo posible dichas tensiones mediante un proyecto adecuado de los detalles constructivos correspondientes y analizar si es preciso emplear aceros poco susceptibles a este defecto, tales como los

aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto, indicados en el apartado 83.2.5.

La aptitud al doblado es un índice de la ductilidad del material, y se define por la ausencia o presencia de fisuras en el ensayo de doblado. La aptitud al doblado es una característica opcional que debe verificarse solo si lo exige el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto o si lo indica el pedido.

#### 82.5 Determinación de las características de los aceros.

##### 82.5.1 Composición química.

En cuanto a la composición química del acero, los contenidos más importantes son los de los elementos que aparecen en la expresión del valor del carbono equivalente (definido en el apartado 82.5.5), así como los contenidos en fósforo y azufre, cuya limitación obedece a la necesidad de minimizar las inclusiones.

La determinación de la composición química se efectuará mediante los métodos especificados en la norma UNE correspondiente al tipo de acero.

##### 82.5.2 Características de tracción.

La determinación de las características mecánicas de tracción ( $f_u$ ,  $f_y$ ,  $\epsilon_{m\acute{a}x}$ ,  $\epsilon_u$ ,  $E$ ) se efectuará mediante el ensayo de tracción normalizado en la norma UNE-EN ISO 6892-1.

La determinación de la estricción ( $Z$ ) se realizará a partir de las secciones rectas, inicial y de rotura, de la probeta sometida al ensayo de tracción, mediante la expresión:

$$Z = \frac{A_i - A_u}{A_i} 100$$

siendo  $A_i$  y  $A_u$ , respectivamente, la sección recta transversal inicial y de rotura.

##### 82.5.3 Resiliencia.

La determinación de la resiliencia se efectuará mediante el ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy normalizado en la norma UNE-EN ISO 148-1.

##### 82.5.4 Tenacidad de fractura.

La determinación rigurosa de la tenacidad de fractura se efectuará, en los casos especiales en que se requiera, mediante ensayos específicos de Mecánica de Fractura, que deberán realizarse en laboratorios especializados.

##### 82.5.5 Soldabilidad (carbono equivalente).

El parámetro fundamental de los aceros desde el punto de vista de la soldabilidad es el valor del carbono equivalente (CEV) que se establece para cada tipo de acero.

El valor del carbono equivalente se define mediante la siguiente expresión en la que los contenidos de los elementos químicos indicados se expresan en tanto por ciento:

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

No obstante, se considerará que se cumple el requisito de soldabilidad en un acero cuyo valor del carbono equivalente supere al establecido en este Código para el mismo, si el procedimiento de soldeo del mismo está cualificado según la norma UNE-EN ISO 15614-1 (o UNE-EN ISO 15613 si precisa utilizar un cupón de prueba no normalizado).

## 82.5.6 Características de doblado.

La determinación de la aptitud al doblado se efectuará comprobando la ausencia de fisuras en el ensayo de doblado simple, normalizado en la norma UNE-EN ISO 7438.

## 82.5.7 Resistencia al desgarro laminar.

La comprobación de que un acero es resistente al desgarro laminar se efectuará mediante la obtención de la estricción en el ensayo de tracción, debiendo cumplirse lo especificado en la tabla 83.2.5.

## Artículo 83. Tipos de acero.

Este código contempla los siguientes tipos de acero utilizables en perfiles y chapas para estructuras de acero:

- Aceros no aleados laminados en caliente. Se entiende por tales los aceros no aleados, sin características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, y con una microestructura normal de ferrita-perlita.
- Aceros con características especiales. Se consideran los siguientes tipos:
  - Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado.
  - Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente.
  - Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables).
  - Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido.
  - Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.
  - Aceros inoxidables laminados en caliente.

A los efectos de este Código, los aceros normalizados en las normas indicadas en la tabla 83 se consideran equivalentes a los tipos de aceros mencionados anteriormente:

Tabla 83. Aceros equivalentes a los tipos de acero expresados

Tipo de acero	Norma UNE-EN
Aceros no aleados laminados en caliente.	UNE-EN 10025-2
Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado.	UNE-EN 10025-3
Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente.	UNE-EN 10025-4
Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables).	UNE-EN 10025-5
Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido.	UNE-EN 10025-6:2007+A1
Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.	UNE-EN 10164 UNE-EN 10025-1
Aceros inoxidables laminados en caliente.	UNE-EN 10088-4 UNE-EN 10088-5

Los apartados 83.1 y 83.2 establecen las características y propiedades para los aceros descritos basadas en las contempladas en las normas de acero para productos laminados en caliente UNE-EN 10025-2, UNE-EN 10025-3, UNE-EN 10025-4, UNE-EN 10025-5 y UNE-EN 10025-6 y son compatibles con los tipos de acero y las características mecánicas de los aceros contemplados en las normas UNE-EN 10210-1 y UNE-EN 10219-1 de perfiles se sección hueca y UNE-EN 10162 de perfiles de sección abierta.

Para el límite elástico característico  $f_{yk}$  se tomará el valor nominal indicado en la norma UNE-EN correspondiente al tipo de acero de que se trate, en función del tipo y grado de acero y del espesor nominal de producto o, alternativamente, como simplificación, cuando

el acero disponga de unas garantías adicionales según el artículo 18, el valor nominal establecido en este artículo para el tipo de acero de que se trate. Igualmente se procederá con el resto de las características y propiedades que figuran en los distintos apartados de este artículo.

#### 83.1 Aceros no aleados laminados en caliente.

Los aceros no aleados laminados en caliente utilizables a los efectos de este Código son los que corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.1.a.

Tabla 83.1.a Aceros no aleados laminados en caliente

Tipo Grado	S 235	S 275	S 355	S 450
JR	S 235 JR	S 275 JR	S 355 JR	–
J0	S 235 J0	S 275 J0	S 355 J0	S 450 J0
J2	S 235 J2	S 275 J2	S 355 J2	–
K2	–	–	S 355 K2	–

Se admiten los estados de desoxidación FN (no se admite acero efervescente), en el caso de los grados JR y J0, y FF (acero calmado), en el caso de los grados J2 y K2.

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá cumplir la tabla 83.1.b.

Tabla 83.1.b CEV máximo

Tipo	Espesor nominal de producto $t$ (mm)			
	$\leq 30$	$30 < t \leq 40$	$40 < t \leq 150$	$150 < t \leq 250$
S 235	0,35	0,35	0,38	0,40
S 275	0,40	0,40	0,42	0,44
S 355	0,45	0,47	0,47	0,49
S 450	0,47	0,49	0,49	–

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.1.c.

Tabla 83.1.c Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 JR, S275 JR, S355 JR	0,045	0,045
S235 J0, S275 J0, S355 J0, S450 J0	0,040	0,040
S235 J2, S275 J2, S355 J2, S355 K2	0,035	0,035

En la tabla 83.1.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico  $f_y$  y resistencia a tracción  $f_u$  para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.1.d Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f <sub>y</sub>	f <sub>u</sub>	f <sub>y</sub>	f <sub>u</sub>
S 235	235	360 < f <sub>u</sub> < 510	215	360 < f <sub>u</sub> < 510
S 275	275	430 < f <sub>u</sub> < 580	255	410 < f <sub>u</sub> < 560
S 355	355	490 < f <sub>u</sub> < 680	335	470 < f <sub>u</sub> < 630
S 450	450	550 < f <sub>u</sub> < 720	410	530 < f <sub>u</sub> < 700

En la tabla 83.1.e se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.1.e Resiliencia (J), según el espesor nominal de producto t (mm)

Grado	Temperatura de ensayo (°C)	Resiliencia (J)		
		t ≤ 150	150 < t ≤ 250	250 < t ≤ 400
JR	20	27	27	-
J0	0	27	27	-
J2	-20	27	27	27
K2	-20	40 (*)	33	33

(\*) Equivale a una resiliencia de 27J a -30°C.

Para t ≤ 12 mm se aplicará lo indicado en la norma UNE-EN 10025-1.

Todos los tipos y grados de acero de la tabla 83.1.a son, generalmente, aptos para el soldeo por todos los procedimientos, siendo creciente la soldabilidad desde el grado JR hasta el K2.

### 83.2 Aceros con características especiales.

#### 83.2.1 Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado.

Los aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado, utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.1.a.

Tabla 83.2.1.a Aceros soldables de grano fino, en la condición de normalizado

Tipo Grado	S 275	S 355	S 420	S 460
N	S 275 N	S 355 N	S 420 N	S 460 N
NL	S 275 NL	S 355 NL	S 420 NL	S 460 NL

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá cumplir la tabla 83.2.1.b.

Tabla 83.2.1.b CEV máximo

Tipo	Espesor nominal t (mm)		
	$t \leq 63$	$63 < t \leq 100$	$100 < t \leq 250$
S 275 N/NL	0,40	0,40	0,42
S 355 N/NL	0,43	0,45	0,45
S 420 N/NL	0,48	0,50	0,52
S 460 N/NL	0,53	0,54	0,55

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.1.c.

Tabla 83.2.1.c Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S275 N, S355 N, S420 N, S460 N	0,035	0,030
S275 NL, S355 NL, S420 NL, S460 NL	0,030	0,025

En la tabla 83.2.1.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico  $f_y$  y resistencia a tracción  $f_u$  para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.1.d Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	$f_y$	$f_u$	$f_y$	$f_u$
S 275 N/NL	275	$370 < f_u < 510$	255	$370 < f_u < 510$
S 355 N/NL	355	$470 < f_u < 630$	335	$470 < f_u < 630$
S 420 N/NL	420	$520 < f_u < 680$	390	$520 < f_u < 680$
S 460 N/NL	460	$540 < f_u < 720$	430	$540 < f_u < 720$

En la tabla 83.2.1.e se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.1.e Resiliencia (J) según la dirección, longitudinal (L) o transversal (T), de ensayo

Grado	Dirección	Temperatura de ensayo (°C)						
		20	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50
N	L	55	47	43	40(*)	–	–	–
	T	31	27	24	20	–	–	–
NL	L	63	55	51	47	40	31	27
	T	40	34	30	27	23	20	16

(\*) Equivale a una resiliencia de 27J a - 30°C.

En esta tabla, la verificación de valores se efectuará, salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares disponga otra cosa, sobre ensayos efectuados en la dirección longitudinal, y a una temperatura de - 20°C, o - 50°C, para los grados N y NL, respectivamente.

Todos los tipos y grados de acero de la tabla 83.2.1.a deben ser aptos para el soldeo por los procedimientos habituales.

#### 83.2.2 Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente.

Los aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente, utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.2.a.

Tabla 83.2.2.a Aceros soldables de grano fino, laminados termomecánicamente

Tipo Grado	S 275	S 355	S 420	S 460
M	S 275 M	S 355 M	S 420 M	S 460 M
ML	S 275 ML	S 355 ML	S 420 ML	S 460 ML

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá cumplir la tabla 83.2.2.b.

Tabla 83.2.2.b CEV máximo

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	63 < t
S 275 M/ML	0,34	0,34	0,35	0,38
S 355 M/ML	0,39	0,39	0,40	0,45
S 420 M/ML	0,43	0,45	0,46	0,47
S 460 M/ML	0,45	0,46	0,47	0,48

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.2.c.

Tabla 83.2.2.c Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S275 M, S355 M, S420 M, S460 M	0,035	0,030
S275 ML, S355 ML, S420 ML, S460 ML	0,030	0,025

En la tabla 83.2.2.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico  $f_y$  y resistencia a tracción  $f_u$  para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.2.d Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Espesor nominal t(mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f <sub>y</sub>	f <sub>u</sub>	f <sub>y</sub>	f <sub>u</sub>
S 275 M/ML	275	370 < f <sub>u</sub> < 530	255	360 < f <sub>u</sub> < 520
S 355 M/ML	355	470 < f <sub>u</sub> < 630	335	450 < f <sub>u</sub> < 610
S 420 M/ML	420	520 < f <sub>u</sub> < 680	390	500 < f <sub>u</sub> < 660
S 460 M/ML	460	540 < f <sub>u</sub> < 720	430	530 < f <sub>u</sub> < 710

En la tabla 83.2.2.e se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.2.e Resiliencia (J) según la dirección, longitudinal (L) o transversal (T), de ensayo

Grado	Dirección	Temperatura de ensayo (°C)						
		20	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50
M	L	55	47	43	40(*)	—	—	—
	T	31	27	24	20	—	—	—
ML	L	63	55	51	47	40	31	27
	T	40	34	30	27	23	20	16

(\*) Equivale a una resiliencia de 27J a - 30°C.

En esta tabla, la verificación de valores se efectuará, salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares disponga otra cosa, sobre ensayos efectuados en la dirección longitudinal, y a una temperatura de - 20°C, o - 50°C, para los grados M y ML, respectivamente.

Todos los tipos y grados de acero de la tabla 83.2.2.a deben ser aptos para el soldeo por los procedimientos habituales.

83.2.3 Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros patinables).

Los aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (también llamados aceros patinables o aceros auto-protectores) utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.3.a.

Tabla 83.2.3.a Aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica

Tipo Grado	S 235	S 355
J0	S 235 J0 W	S 355 J0 W
J2	S 235 J2 W	S 355 J2 W
K2		S 355 K2 W

El valor del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada deberá ser menor o igual que 0,44 para el tipo S235, y que 0,52 para el tipo S 355.

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.3.b.

Tabla 83.2.3.b Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S235 J0 W, S355 J0 W	0,040	0,040
S235 J2 W	0,040	0,035
S355 J2 W, S355 K2 W	0,035	0,035

En la tabla 83.2.3.c se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico  $f_y$  y resistencia a tracción  $f_u$  para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.3.c Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	$f_y$	$f_u$	$f_y$	$f_u$
S 235 J0W S 235 J2W	235	$360 < f_u < 510$	215	$360 < f_u < 510$
S 355 J0W S 355 J2W S 355 K2W	355	$490 < f_u < 680$	335	$470 < f_u < 630$

En la tabla 83.2.3.d se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.3.d Resiliencia (J)

Grado	Temperatura de ensayo (°C)	Resiliencia (J)
J0	0	27
J2	-20	27
K2	-20	40 (*)

(\*) Equivale a una resiliencia de 27 J a -30°C.

Para  $t \leq 12$  mm se aplicará lo indicado en la norma UNE-EN 10025-1.

Todos los tipos de aceros indicados son soldables, pero su soldabilidad no es ilimitada para los diferentes procesos de soldadura. Por ello, el suministrador deberá facilitar a la dirección facultativa los procedimientos recomendados para realizar, cuando sea necesario, las soldaduras. En todo caso, debe eliminarse antes de la soldadura la pátina autoprotectora que se haya formado en la zona próxima (a menos de 20 mm) de los bordes de la unión. Debe asegurarse que la soldadura sea también resistente a la corrosión atmosférica.

#### 83.2.4 Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido.

Los aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido utilizables a los efectos de este Código corresponden a los tipos y grados recogidos en la tabla 83.2.4.a.

Tabla 83.2.4.a Aceros de alto límite elástico, en la condición de templado y revenido

Tipo Grado	S 460
Q	S 460 Q
QL	S 460 QL
QL1	S 460 QL1

Los porcentajes de fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.4.b.

Tabla 83.2.4.b Contenidos máximos en P y S

Tipo	P (% máx)	S (% máx)
S460 Q	0,030	0,017
S460 QL, S460 QL1	0,025	0,012

En la tabla 83.2.4.c se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico mínimo  $f_y$  y resistencia a tracción  $f_u$  para estos aceros.

Tabla 83.2.4.c Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Espesor nominal t(mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	$f_y$	$f_u$	$f_y$	$f_u$
S 460 Q S 460 QL S 460 QL1	460	$550 < f_u < 720$	440	$550 < f_u < 720$

En la tabla 83.2.4.d se detallan las especificaciones de resiliencia de los distintos grados de acero.

Tabla 83.2.4.d Resiliencia (J) según la dirección, longitudinal (L) o transversal (T), de ensayo

Grado	Dirección	Temperatura de ensayo (°C)			
		0	-20	-40	-60
Q	L	40	30	—	—
	T	30	27	—	—
QL	L	50	40	30	—
	T	35	30	27	—
QL1	L	60	50	40	30
	T	40	35	30	27

En esta tabla, la verificación de valores se efectuará, salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares disponga otra cosa, sobre ensayos efectuados en la dirección longitudinal, y a una temperatura de - 20 °C, - 40 °C o - 60 °C, para los grados Q, QL y QL1 respectivamente.

Dada su composición química, y al objeto de garantizar la soldabilidad del acero, el suministrador deberá informar a la dirección facultativa de los elementos de aleación que se han incorporado al acero que se suministra, y de los procedimientos recomendados para realizar, cuando sea necesario, las soldaduras.

83.2.5 Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.

Los aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto utilizables a los efectos de este Código son aceros tipificados en alguno de los apartados de este artículo 83, que cumplen, además, los valores mínimos de estricción de la tabla 83.2.5, obtenida en ensayo de tracción en la dirección del espesor.

Tabla 83.2.5 Grados y valores mínimos de estricción

Grado	Estricción (%)	
	Valor mínimo medio de 3 ensayos	Valor mínimo individual
Z 15	15	10
Z 25	25	15
Z 35	35	25

83.2.6 Aceros inoxidables, laminados en caliente.

Los aceros inoxidables, utilizables a los efectos de este Código, corresponden a los aceros laminados en caliente de los tipos ferríticos y austenoferríticos recogidos en la tabla 83.2.6.a, así como los incluidos en el Anejo 24, el cual detalla las reglas adicionales para el proyecto de estructuras con aceros inoxidables.

En caso de utilización de otros aceros inoxidables incluidos en la tabla A24.2.1 del Anejo 24, se complementarán los correspondientes parámetros de las tablas 83.2.6.b, 83.2.6.c y 83.26.d a partir de los valores recogidos en la norma UNE-EN 10088.

Tabla 83.2.6.a Aceros inoxidables estructurales

Tipo Grado	Ferrítico	Austeno-ferrítico	Austeno-ferrítico	Austeno-ferrítico
J0, J2, K2	1.4003	1.4482	1.4362	1.4462

Los porcentajes de carbono, fósforo y azufre, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.6.b.

Tabla 83.2.6.b Contenidos máximos en C, P y S

Tipo	C (% máx.)	P (% máx.)	S (% máx.)
1.4003	0,030	0,040	0,015
1.4482	0,030	0,035	0,030
1.4362	0,030	0,035	0,015
1.4462	0,030	0,035	0,015

Los porcentajes de aleantes, en el análisis de producto, deberán cumplir la tabla 83.2.6.c.

Tabla 83.2.6.c Contenido máximo y rango mínimo/máximo de aleantes, en masa (%)

Tipo	N	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
1.4003	0,03	1,00	1,5	10,5/12,5	0,3/1,0	–	–
1.4482	0,05/0,20 0,20	1,00	4,0/6,0 4,0/5,0	19,5/21,5	1,5/3,5 1,0/3,0	0,10/0,60	1,00
1.4362	0,05/0,20 0,20	1,00	2,0	22,0/24,5 22,0/24,0	3,5/5,5	0,10/0,60	0,10/0,60
1.4462	0,10/0,22 0,22	1,00	2,0	21,0/23,0	4,5/6,5	2,5/3,5	–

En la tabla 83.2.6.d se recogen las especificaciones correspondientes a límite elástico  $f_y$  y resistencia a tracción  $f_u$  para los distintos tipos de acero.

Tabla 83.2.6.d Valor mínimo de límite elástico y rango resistencia a tracción (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 13,5$		$13,5 < t \leq 75$	
	$f_y$	$f_u$	$f_y$	$f_u$
1.4003	280 (L) 320 (T)	450/650	250 (L) 280 (T)	450/650
1.4482	480	660/900	450	650/850
1.4362	400	650/850	400	630/800
1.4462	460	700/950	460	640/840

En la tabla 83.2.6.e se detallan las especificaciones de resiliencia mínima de los distintos grados de acero incluidos en la tabla 83.2.6.a. En caso de utilización de otros aceros inoxidables incluidos en la tabla A24.2.1 del Anejo 24, los requisitos de resiliencia serán los indicados en la norma UNE-EN 10088-4.

Tabla 83.2.6.e Resiliencia (J)

Temperatura de Ensayo (°C)	Dirección Longitudinal (J)	Dirección Transversal (J)
20	100	60

A efectos de cálculo, para el análisis global y para determinar la resistencia de elementos y secciones, pueden adoptarse, para el acero inoxidable laminado en caliente, un módulo de elasticidad de 200.000 N/mm<sup>2</sup> para austenoferríticos (220.000 N/mm<sup>2</sup> para ferríticos) y un coeficiente de Poisson en régimen elástico de 0,3.

Todos los tipos de aceros inoxidables son soldables, pero su soldabilidad no es ilimitada para los diferentes procesos de soldadura. Por ello, el suministrador deberá facilitar a la dirección facultativa los procedimientos recomendados para realizar, cuando sea necesario, las soldaduras. Debe asegurarse que la soldadura sea también inoxidable y resistente a la corrosión atmosférica.

Artículo 84. *Productos de acero.*

En las estructuras de acero se utilizarán exclusivamente los perfiles y chapas contemplados en este Artículo, con las dimensiones y tolerancias que en cada caso se indican.

Los perfiles y chapas deben ser elaborados con los aceros especificados en el Artículo 83.

## 84.1 Perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente.

Los perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente, a los efectos de este Código, son los productos obtenidos mediante laminación en caliente, de espesor mayor o igual que 3 mm, de sección transversal llena y constante, empleados en la construcción de estructuras o en la fabricación de elementos de acero estructural.

Deberán corresponder a alguna de las series indicadas en la tabla 84.1.

Tabla 84.1 Series de perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Perfil IPN	UNE 36521	UNE-EN 10024
Perfil IPE	UNE 36526	UNE-EN 10034
Perfil HEB (base)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil HEA (ligero)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil HEM (pesado)	UNE 36524	UNE-EN 10034
Perfil U Normal (UPN)	UNE 36522	UNE-EN 10279
Perfil UPE	UNE 36523	UNE-EN 10279
Perfil U Comercial (U)	UNE 36525	UNE-EN 10279
Angular de lados iguales (L)	UNE-EN 10056-1	UNE-EN 10056-2
Angular de lados desiguales (L)	UNE-EN 10056-1	UNE-EN 10056-2
Perfil T	UNE-EN 10055	UNE-EN 10055
Redondo	UNE-EN 10060	UNE-EN 10060
Cuadrado	UNE-EN 10059	UNE-EN 10059
Rectangular	UNE-EN 10058	UNE-EN 10058
Hexagonal	UNE-EN 10061	UNE-EN 10061
Chapa (*)	UNE-EN 10029	UNE-EN 10029

(\*) La chapa es el producto laminado plano de anchura mayor que 600 mm, utilizado principalmente como material de partida para la fabricación de elementos planos. Según su espesor  $t$ , se clasifica en chapa media ( $3 \text{ mm} \leq t \leq 4,75 \text{ mm}$ ) y chapa gruesa ( $t > 4,75 \text{ mm}$ ).

## 84.2 Perfiles de sección hueca acabados en caliente.

Los perfiles de sección hueca acabados en caliente, a los efectos de este Código, son los perfiles huecos estructurales de sección transversal constante, de espesor igual o mayor que 2 mm, conformados en caliente, con o sin tratamiento térmico posterior, o conformados en frío con tratamiento térmico posterior, empleados en la construcción de estructuras.

Deberán corresponder a alguna de las series indicadas en la tabla 84.2.

Tabla 84.2 Series de perfiles de sección hueca acabados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	UNE-EN 10210-2	UNE-EN 10210-2
Sección cuadrada		
Sección rectangular		
Sección elíptica		

## 84.3 Perfiles de sección hueca conformados en frío.

Los perfiles de sección hueca conformados en frío, a los efectos de este Código, son los perfiles huecos estructurales soldados conformados en frío sin tratamiento térmico posterior, de espesor mayor o igual que 2 mm, de sección transversal constante, empleados en la construcción de estructuras.

Deberán corresponder a alguna de las series indicadas en la tabla 84.3.

Tabla 84.3 Series de perfiles de sección hueca conformados en frío

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	UNE-EN 10219-2	UNE-EN 10219-2
Sección cuadrada		
Sección rectangular		

## 84.4 Perfiles de sección abierta conformados en frío.

Los perfiles de sección abierta conformados en frío, a los efectos de este Código, son los perfiles de sección constante, con formas diversas, producidos por conformado en frío de chapas planas laminadas en caliente o en frío, empleados en la construcción de estructuras.

Deberán corresponder a alguna de las secciones siguientes:

- Perfil L.
- Perfil U.
- Perfil C.
- Perfil Z.
- Perfil Omega.
- Perfil Tubular con bordes rejuntados.

La norma UNE-EN 10162 establece las dimensiones y tolerancias de los perfiles de sección abierta conformados en frío.

## 84.5 Perfiles y chapas no normalizados.

Además de los perfiles y chapas considerados en los apartados 84.1 a 84.4, que corresponden a series normalizadas, podrán emplearse en la construcción de estructuras perfiles y chapas no normalizados, bien sean de formas abiertas especiales, o variantes de series normalizadas, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Los perfiles y chapas están elaborados con aceros especificados en el artículo 83.
- El fabricante garantiza las dimensiones y tolerancias, dimensionales y de forma, de los perfiles y chapas.

– El fabricante suministra los valores de los datos de la sección necesarios para el proyecto (área de la sección transversal, momentos de inercia, módulos resistentes, radios de giro, posición del centro de gravedad).

#### Artículo 85. Medios de unión.

##### 85.1 Generalidades.

Los medios de unión que contempla este Código son los constituidos por tornillos, tuercas y arandelas, para uniones atornilladas, y el material de aportación, para uniones soldadas.

##### 85.2 Tornillos, tuercas y arandelas.

Los tornillos utilizables a los efectos de este Código en uniones de estructuras de acero corresponden a los grados recogidos en la tabla 85.2.a, con las especificaciones de límite elástico  $f_{yb}$ , y resistencia a tracción  $f_{ub}$  que en la misma se indican.

Tabla 85.2.a Límite elástico mínimo  $f_{yb}$  y resistencia a tracción mínima  $f_{ub}$  de los tornillos (N/mm<sup>2</sup>)

Tipo	Tornillos ordinarios			Tornillos de alta resistencia	
	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$	240	300	480	640	900
$f_{ub}$	400	500	600	800	1000

No se utilizarán tornillos de grado inferior a 4.6 o superior a 10.9 sin justificación experimental documentada de que son adecuados para la unión a la que se destinan.

Los tornillos normalizados en las normas recogidas en la tabla 85.2.b se consideran tornillos utilizables a los efectos de este Código. En la tabla se indican, para cada grupo normalizado de tornillos, las normas relativas a las tuercas y arandelas que pueden utilizarse con aquellos. Esta tabla aplica a tornillos, tuercas y arandelas para conjuntos no pretensados, de acuerdo con la norma UNE-EN 15048.

Tabla 85.2.b Compatibilidad de uso de tornillos, tuercas y arandelas

Tornillos normalizados	Tuercas hexagonales normalizadas	Arandelas planas normalizadas
UNE-EN ISO 4014 UNE-EN ISO 4016 UNE-EN ISO 4017 UNE-EN ISO 4018	UNE-EN ISO 4032 UNE-EN ISO 4033 UNE-EN ISO 4034	UNE-EN ISO 7089 UNE-EN ISO 7090 UNE-EN ISO 7091 UNE-EN ISO 7092 UNE-EN ISO 7093-1 UNE-EN ISO 7093-2 UNE-EN ISO 7094

Las arandelas de la serie normal son las normalizadas en las normas UNE-EN ISO 7089, 7090 y 7091; las de la serie estrecha son las normalizadas en UNE-EN ISO 7092; las de la serie ancha son las normalizadas en UNE-EN ISO 7093-1 y 7093-2; finalmente, las de la serie extra ancha son las normalizadas en UNE-EN ISO 7094.

Podrán pretensarse únicamente los tornillos de grados 8.8 y 10.9 normalizados según UNE-EN 14399-1. En este caso, los conjuntos seguirán las partes aplicables de la norma UNE-EN 14399: para tornillo y tuerca, partes 3, 4, 7, 8 y 10; para arandelas, partes 5 y 6.

### 85.3 Tipos especiales de tornillos.

Este Código contempla la utilización, como tipos especiales, de los tornillos de cabeza avellanada, los tornillos calibrados y los tornillos de inyección.

Deben ser fabricados con materiales que cumplan lo establecido en el apartado 85.2. Pueden utilizarse como tornillos sin pretensar o tornillos pretensados (en este último caso, deben cumplir los requisitos establecidos al respecto en el apartado 85.2).

#### 85.3.1 Tornillos de cabeza avellanada.

Son tornillos cuya forma y tolerancias dimensionales hacen que, una vez instalados, deben quedar enrasados nominalmente con la cara exterior de la chapa externa.

#### 85.3.2 Tornillos calibrados.

Los tornillos calibrados se instalan en agujeros que, cuando están previstos para ser escariados in situ, deben pretaladrarse mediante taladro o punzón con un diámetro, al menos, 3 mm inferior al diámetro definitivo. Cuando el tornillo debe unir varias chapas, deben mantenerse firmemente unidas estas durante el escariado.

El escariado debe realizarse con un dispositivo de husillo fijo, no debiendo emplearse lubricantes ácidos.

#### 85.3.3 Tornillos de inyección.

Los tornillos de inyección son tipos especiales de tornillos que disponen de una perforación en la cabeza por donde se inyecta resina para rellenar toda la holgura existente entre su espiga y el agujero.

La cabeza del tornillo de inyección debe presentar un agujero con diámetro mínimo 3,2 mm, al que se acopla la cánula del dispositivo de inyección. Debajo de la cabeza del tornillo debe usarse una arandela especial, cuyo diámetro interior debe ser como mínimo 0,5 mm mayor que el diámetro real del tornillo y que debe tener un lado mecanizado. Debajo de la tuerca debe emplearse una arandela especial ranurada.

El apriete del tornillo debe realizarse antes de iniciar el procedimiento de inyección. Esta consistirá en una resina de dos componentes, cuya temperatura debería estar comprendida entre 15°C y 25°C. En el momento de la inyección la unión debe estar limpia de agua.

### 85.4 Bulones.

En la norma UNE-EN 10083-1 se define la calidad de los aceros para los bulones utilizables a los efectos de este Código en uniones de estructuras de acero, con las especificaciones de límite elástico  $f_{yb}$ , y resistencia a tracción  $f_{ub}$  que se indican a continuación en la tabla 85.4.

Tabla 85.4 Límite elástico mínimo y resistencia a tracción del acero utilizable para bulones (N/mm<sup>2</sup>)

Estado	Temple y revenido						Normalizado			
	d ≤ 16 mm		16 mm < d ≤ 40 mm		40 mm < d ≤ 100 mm		d ≤ 16 mm		16 mm < d ≤ 100 mm	
Designación	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$
C 22	340	500 a 650	290	470 a 620	--	--	240	430	210	410
C 25	370	550 a 700	320	500 a 650	--	--	260	470	230	440
C 30	400	600 a 750	350	550 a 700	300 (*)	500 a 550(*)	280	510	250	480
C 35	430	630 a 780	380	600 a 750	320	550 a 700	300	550	270	520

Estado	Temple y revenido						Normalizado			
	d≤16 mm		16 mm<d≤40 mm		40 mm<d≤100 mm		d≤16 mm		16mm<d≤100mm	
Designación	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$	$f_{yb}$	$f_{ub}$
C 40	460	650 a 800	400	630 a 780	350	600 a 750	320	580	290	550
C 45	490	700 a 850	430	650 a 800	370	630 a 780	340	620	305	580
C 50	520	750 a 900	460	700 a 850	400	650 a 800	355	650	320	610
C 55	550	800 a 950	490	750 a 900	420	700 a 850	370	680	330	640
C 60	580	852 a 1000	520	800 a 950	450	750 a 900	380	710	340	670

(\*) Aplicable solo hasta  $d = 63$  mm.

### 85.5 Material de aportación.

El material de aportación utilizable para la realización de soldaduras (alambres, hilos y electrodos) deberá ser apropiado para el proceso de soldeo, teniendo en cuenta el material a soldar y el procedimiento de soldeo; además deberá tener unas características mecánicas, en términos de límite elástico, resistencia a tracción, deformación bajo carga máxima y resiliencia, no inferiores a las correspondientes del material de base que constituye los perfiles o chapas que se pretende soldar.

En el caso de soldar acero con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica, el material de aportación deberá tener una resistencia a la corrosión equivalente a la del metal base, salvo que permita otra cosa el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

### Artículo 86. *Sistemas de protección.*

Este apartado establece principalmente los tipos de pintura y sistemas de pintura que pueden utilizarse para la protección de estructuras de acero, así como las prescripciones técnicas que deben cumplir, según la durabilidad requerida del sistema de pintura protector.

Otros sistemas de protección de las construcciones en acero de probada eficacia y amplia utilización, como son la «proyección térmica de cinc» o la «galvanización en caliente», se tratan a continuación y en el artículo 95.

#### 86.1 Tipos de pintura.

Pueden emplearse los siguientes tipos de pintura:

- Pinturas de secado al aire.
- Pinturas de curado físico.
- Pinturas en base disolvente.
- Pinturas en base agua.
- Pinturas de curado químico.
- Pinturas epoxídicas de dos componentes.
- Pinturas de poliuretano de dos componentes.
- Pinturas de curado por humedad.

#### 86.2 Sistemas de pintura.

Los sistemas de pintura están constituidos por un conjunto de capas de imprimación (1 o 2, según los casos), y de capas de acabado (entre 1 y 4, según los casos) de pintura con espesores nominales de película seca definidos que, aplicados sobre una superficie de acero con un grado de preparación preestablecido, conducen a una durabilidad determinada del sistema de pintura protector.

La durabilidad de un sistema de pintura protector depende del tipo de sistema de pintura, del diseño de la estructura, del estado de la superficie de acero (a su vez función de la condición previa de la superficie y del grado de preparación de la misma), de la calidad de la aplicación, de las condiciones durante la aplicación y de las condiciones de exposición en servicio.

Por ello, el grado de durabilidad de un sistema de pintura es un concepto técnico útil para seleccionar el sistema a emplear en un caso concreto y para definir el programa de mantenimiento correspondiente, pero no puede, en ningún caso, tomarse como un período de garantía.

Se establecen cuatro grados de durabilidad de los sistemas de pintura:

- Bajo (L): hasta 7 años.
- Medio (M): más de 7 y hasta 15 años.
- Alto (H): más de 15 y hasta 25 años.
- Muy alto (H): más de 25 años.

### 86.3 Prescripciones y ensayos de los sistemas de pintura.

Los sistemas de pintura que se utilicen para las estructuras de acero deben cumplir las prescripciones de la tabla 86.3.a, en la cual, para cada clase de exposición de la estructura indicada en el apartado 80.1 y grado de durabilidad del sistema de pintura, se fija la duración en horas de ensayo que debe resistir el sistema de pintura.

En dichas tablas, los ensayos referidos son los siguientes:

- Ensayo de envejecimiento cíclico, según el Anexo B de la norma UNE-EN ISO 12944-6.
- Ensayo de inmersión, según UNE-EN ISO 2812-2, en agua (clase Im1) o en solución acuosa de cloruro sódico al 5 % (clases Im2 e Im3).
- Ensayo de condensación continua de agua, según UNE-EN ISO 6270-1.
- Ensayo de niebla salina neutra, según UNE-EN ISO 9227.

Tabla 86.3.a Prescripciones relativas a los sistemas de pinturas aplicados sobre acero

Clase de exposición	Grado de durabilidad	Ensayo de envejecimiento cíclico h	Ensayo de inmersión h	Ensayo de condensación de agua h	Ensayo de niebla salina neutra h
C2	Bajo	–	–	48	–
	Medio	–	–	48	–
	Alto	–	–	120	–
	Muy alto	–	–	240	480
C3	Bajo	–	–	48	120
	Medio	–	–	120	240
	Alto	–	–	240	480
	Muy alto	–	–	480	720
C4	Bajo	–	–	120	240
	Medio	–	–	240	480
	Alto	–	–	480	720
	Muy alto	1680	–	720	1440
C5	Bajo	–	–	240	480
	Medio	–	–	480	720
	Alto	1680	–	720	1440
	Muy alto	2688	–	–	–
Im1	Alto	–	3000	1440	–
	Muy alto	–	4000	2160	–

Clase de exposición	Grado de durabilidad	Ensayo de envejecimiento cíclico h	Ensayo de inmersión h	Ensayo de condensación de agua h	Ensayo de niebla salina neutra h
Im2	Alto	–	3000	–	1440
	Muy alto	–	4000	–	2160
Im3	Alto	–	3000	–	1 440
	Muy alto	–	4000	–	2160

Las probetas para la realización de los ensayos deben ser del mismo tipo de acero que se vaya a emplear (y, en su caso, con el mismo recubrimiento de cinc que se vaya a utilizar), con un tamaño mínimo de 150 x 75 mm y un espesor, dependiente del ensayo, pero en todo caso no menor que 3 mm. Las probetas cumplirán las condiciones de preparación y estado superficial prescritas en la norma UNE-EN ISO 12944-6.

Un ensayo de una probeta se considera que cumple una determinada prescripción de la tabla 86.3.a cuando:

Antes del ensayo, la clasificación obtenida por la probeta de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 2409 de 0 o 2. Cuando el espesor de la película seca del sistema de pintura es mayor que 250  $\mu\text{m}$ , este requisito debe sustituirse por la inexistencia de rotura adhesiva entre la pintura y el acero en el ensayo de adherencia por tracción (método A o B) según UNE-EN ISO 4624, a menos que los valores de la tracción sean mayores o iguales que 5 N/mm<sup>2</sup>.

Después del ensayo, con la duración en horas indicada en la tabla 86.3.a, para la clase de exposición y grado de durabilidad exigidos, la probeta no presenta defectos según los métodos de evaluación de las normas UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 y la clasificación obtenida de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 2409 es de 0 o 2. Cuando el espesor de la película seca del sistema de pintura es mayor que 250  $\mu\text{m}$ , se utiliza la misma sustitución de este último requisito indicada en el párrafo anterior. La evaluación de la condición tras el ensayo según UNE-EN ISO 2409 o según el ensayo sustitutivo se efectúa tras 24 h de reacondicionamiento de la probeta.

Se considera que la probeta no presenta defectos según los métodos de evaluación de las normas UNE-EN ISO 4628-2 a UNE-EN ISO 4628-5 cuando se cumplen los siguientes requisitos:

- Según UNE-EN ISO 4628-2: ampollamiento 0 (S0).
- Según UNE-EN ISO 4628-3: óxido Ri 0.
- Según UNE-EN ISO 4628-4: agrietamiento 0 (S0).
- Según UNE-EN ISO 4628-5: descamación 0 (S0).

Además de estos requisitos, que se evalúan de manera inmediata, debe cumplirse, en evaluación realizada tan pronto como sea posible, y siempre dentro de las 8 h siguientes al final del ensayo, que el avance medio de corrosión del sustrato, a partir de la incisión, calculado según UNE-EN ISO 12944-6, no supera 1,5 mm, en el caso del ensayo de niebla salina, ó 3 mm, en el caso del ensayo de envejecimiento cíclico.

En la evaluación de defectos, no debe tenerse en cuenta ninguno que se produzca a menos de 10 mm de los bordes de la probeta.

86.4 Prescripciones para los sistemas de protección con proyección térmica de cinc y de galvanización en caliente.

Las duraciones mínimas y máximas (en años) de los recubrimientos de cinc hasta el primer mantenimiento, para las diferentes categorías de corrosividad de la norma ISO 9223, se incluyen en la norma UNE-EN ISO 14713.

Así, por ejemplo, para el caso de recubrimientos de galvanización en caliente (realizada conforme a la norma UNE-EN ISO 1461) de 85 micrómetros de espesor (que es el valor mínimo del espesor medio de recubrimiento exigible sobre elementos estructurales de acero de espesor superior a 6 mm), en la norma UNE-EN ISO 14713 se indican duraciones de la protección (en años) que van desde 40/>100 (para clase de exposición C3), 20/40 (para clase de exposición C4) y 10/20 (para clase de exposición C5).

La aptitud del acero para el recubrimiento por galvanización en caliente, en relación a su contenido en Si y P, debe ser conforme a las normas UNE-EN 10025-2, UNE-EN 10025-4, o UNE-EN 10025-6, según el tipo de acero.

## CAPÍTULO 19

### Durabilidad de las estructuras de acero

Artículo 87. *Estrategia de durabilidad en los elementos de acero.*

De acuerdo con lo indicado en el apartado 11.3, el proyecto de la estructura debe incluir una estrategia de durabilidad para los elementos de acero que defina las medidas necesarias para que se pueda alcanzar la vida útil establecida por la propiedad, en función de las condiciones de agresividad ambiental a la que van a estar sometidos.

La agresividad a la que está sometido cada elemento de acero se identificará por el tipo de ambiente, definido en el apartado 80.1.

En el caso de los elementos de acero, las uniones pueden suponer un punto de debilidad frente a la agresividad del ambiente, si no están correctamente ejecutadas de acuerdo con lo indicado en el capítulo 21 de este Código.

En este artículo se recogen los criterios para el desarrollo en el proyecto de la estrategia de durabilidad que incluirá, al menos, las siguientes fases:

- Selección de formas estructurales adecuadas, de acuerdo con lo indicado en el apartado 87.1.
- Selección de materiales, según el apartado 87.2.
- Medidas específicas frente a la corrosión, según el apartado 87.3.
- Detalles constructivos, según el apartado 87.4.
- Medidas de mantenimiento durante la fase de uso, según el apartado 87.5.

Además de la corrosión, puede haber otros mecanismos de daño en función de las condiciones de exposición específicas de cada elemento estructural (por ejemplo, ataque por erosión, etc.). En este caso, el autor del proyecto deberá valorar si concurren tales circunstancias e incluir las medidas específicas adicionales que sean necesarias dentro de la estrategia de durabilidad. Asimismo, debe valorar la posibilidad de ataques localizados en alguna zona del elemento. Se pondrá especial cuidado en el análisis de zonas que no serán accesibles durante la vida de servicio.

#### 87.1 Selección de la forma estructural.

En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura. El proyecto debe facilitar la preparación de las superficies, el pintado, las inspecciones y el mantenimiento.

Se procurará evitar el empleo de diseños estructurales que conduzcan a una susceptibilidad elevada a la corrosión. Para ello, se recomienda que las formas de los elementos estructurales sean sencillas, evitando una complejidad excesiva, y que los métodos de ejecución de la estructura sean tales que no se reduzca la eficacia de los sistemas de protección empleados (por daños en el transporte y manipulación de los elementos).

Se tenderá a reducir al mínimo el contacto directo entre las superficies de acero y el agua, evitando la formación de depósitos de agua, facilitando la rápida evacuación de esta

e impidiendo el paso de agua sobre las zonas de juntas. Para ello, deben adoptarse precauciones, tales como:

- evitar la disposición de superficies horizontales que promuevan la acumulación de agua, o suciedad,
- la eliminación de secciones abiertas en la parte superior que faciliten dicha acumulación,
- la supresión de cavidades y huecos en los que puede quedar retenida el agua, o
- la disposición de sistemas adecuados y de sección generosa para conducción y drenaje de agua.

Cuando la estructura presente áreas cerradas (interior accesible) o elementos huecos (interior inaccesible), debe cuidarse que estén protegidos de manera efectiva contra la corrosión. Para ello, debe evitarse que quede agua atrapada en su interior durante el montaje de la estructura, deben disponerse las medidas necesarias para la ventilación y drenaje (interiores accesibles), y deben sellarse de manera efectiva frente a la entrada de aire y humedad, mediante soldaduras continuas, los interiores inaccesibles.

Debe evitarse la corrosión potencial en orificios estrechos, hendiduras ciegas y uniones solapadas, mediante un sellado eficaz, que en general estará constituido por soldaduras continuas.

Debe prestarse una atención especial a la protección contra la corrosión de las uniones, tanto atornilladas (de manera que los tornillos, tuercas y arandelas tengan la misma durabilidad que el resto de la estructura) como soldadas (cuidando que la superficie de la soldadura esté libre de imperfecciones, como fisuras, cráteres y proyecciones, que son difíciles de cubrir eficazmente por la pintura posterior), así como tener en cuenta, en el caso de disposición de refuerzos o de ejecución de entallas (en almas, refuerzos, etc.), la necesidad de permitir una adecuada preparación de la superficie y aplicación de la pintura (soldando de manera continua la intersección entre el refuerzo y el elemento reforzado, disponiendo un radio mínimo de 50 mm en las entallas y evitando cualquier retención de agua).

Debe evitarse la aparición de pares galvánicos, que se producen cuando existe continuidad eléctrica entre dos metales de diferente potencial electroquímico (tales como acero inoxidable y acero al carbono), aislando eléctricamente mediante pintado u otros procedimientos, las superficies de ambos metales.

#### 87.2 Selección de materiales.

En el caso de ambientes especialmente agresivos, el proyecto podrá considerar el uso de acero con comportamiento mejorado frente a la corrosión como, por ejemplo:

- aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica, según el apartado 83.2.3,
- aceros inoxidables, según el apartado 83.2.6, o
- aceros con tratamiento de galvanizado en caliente, según el apartado 86.4.

Los aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica de acuerdo con lo indicado en el apartado 83.2.3, podrán utilizarse sin pintura de protección en las superficies exteriores en ambientes no expuestos a iones cloruro, incrementando el espesor nominal, obtenido en el cálculo, en 1 mm para la superficie expuesta al ambiente exterior. En la superficie interior de secciones cerradas inaccesibles se aplicarán las disposiciones establecidas en el apartado 87.3 (sistema de protección adecuado a la vida útil prevista y sobreespesor de acero). El empleo de estos aceros en los casos en que se prevé que su superficie va a estar en contacto con el terreno o el agua durante largos períodos, permanentemente húmeda, o sometida a ambiente marino con salinidad moderada o elevada, ambiente industrial con alto contenido en  $\text{SO}_3$ , o presencia de sales de deshielo, precisa un estudio detallado de su conveniencia, debiendo en tales casos protegerse superficialmente el acero.

El proyecto considerará, en su caso, el uso de sistemas de protección, como por ejemplo, los indicados en el apartado 87.3.1.

### 87.3 Medidas específicas frente a la corrosión.

Como criterio general, el autor del proyecto adoptará uno de los siguientes procedimientos:

- sistemas de protección superficial, conformes con el apartado 87.3.1, o
- disposición de sobreespesores, conforme con el apartado 87.3.2.

En cualquier caso, se deberá cumplir también el resto de las consideraciones derivadas de la estrategia de durabilidad adoptada y, en particular, las relativas a detalles constructivos indicados en el apartado 87.4.

#### 87.3.1 Sistemas de protección superficial.

Como criterio general de protección de la estructura de acero frente a la corrosión, se utilizarán sistemas de protección superficial, conformes con lo indicado en los apartados 86.2 y 86.3 de este Código.

En función de la agresividad a la que está sometida el elemento, el autor del proyecto seleccionará un sistema de protección que considere adecuado, definiéndolo por:

- grado de preparación de la superficie,
- tipo, ligante, espesor total y número de capas de la imprimación,
- ligante, espesor total y número de capas de acabado,
- durabilidad del sistema de protección y frecuencia de reposición durante la vida de servicio.

#### 87.3.2 Sobreespesores de la sección de acero.

En ausencia de estudios más detallados, el sobreespesor (incremento del espesor nominal) tendrá el siguiente valor mínimo, expresado en mm por cara inaccesible y por cada 30 años de vida útil prevista de la estructura:

- Clases de exposición C4 (corrosividad alta), C5 (corrosividad muy alta): 1,5 mm.
- Clase de exposición C3 (corrosividad media): 1 mm.
- Clase de exposición C2 (corrosividad baja): 0,5 mm.

No se precisa sobreespesor en el caso de la clase de exposición C1 (corrosividad muy baja).

El espesor resultante (espesor nominal más sobreespesor) en los cajones inaccesibles de puentes no podrá ser inferior a 8 mm.

En el caso de aceros patinables con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica de acuerdo con lo indicado en el apartado 83.2.3, podrán utilizarse sin pintura de protección en las superficies exteriores, incrementando el espesor nominal, obtenido en el cálculo, en 1 mm para la superficie expuesta al ambiente exterior. En el caso de superficies interiores de secciones cerradas inaccesibles, se adoptará un sistema de protección superficial o un sobreespesor con los mismos criterios que se aplicarían en el caso de un acero convencional. Además, se requerirá de un estudio específico que analice su conveniencia y, en su caso, la necesidad de sistemas de protección adicionales, cuando se prevea que la superficie del elemento va a estar en alguna de las siguientes circunstancias:

- en contacto con el terreno,
- en contacto con agua durante largos períodos,
- permanentemente húmeda,
- sometida a ambiente marino con salinidad moderada o elevada,
- sometida a un ambiente industrial con alto contenido en SO<sub>3</sub>,
- en presencia de sales de deshielo.

### 87.3.3 Sistemas de protección catódica.

El autor del proyecto podrá incluir en la estrategia de durabilidad un sistema de protección catódica. El proyecto deberá incluir una memoria específica en la que se justifique técnicamente las características del sistema a disponer.

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 la norma UNE-EN ISO 12499.

Estos sistemas requieren de un mantenimiento específico que deberá estar incluido en el plan de mantenimiento desarrollado durante el proyecto.

### 87.4 Detalles constructivos.

Se recomienda evitar los detalles constructivos indicados como inadecuados en las figuras 87.4a a 87.4.f, empleando los considerados adecuados en las mismas.

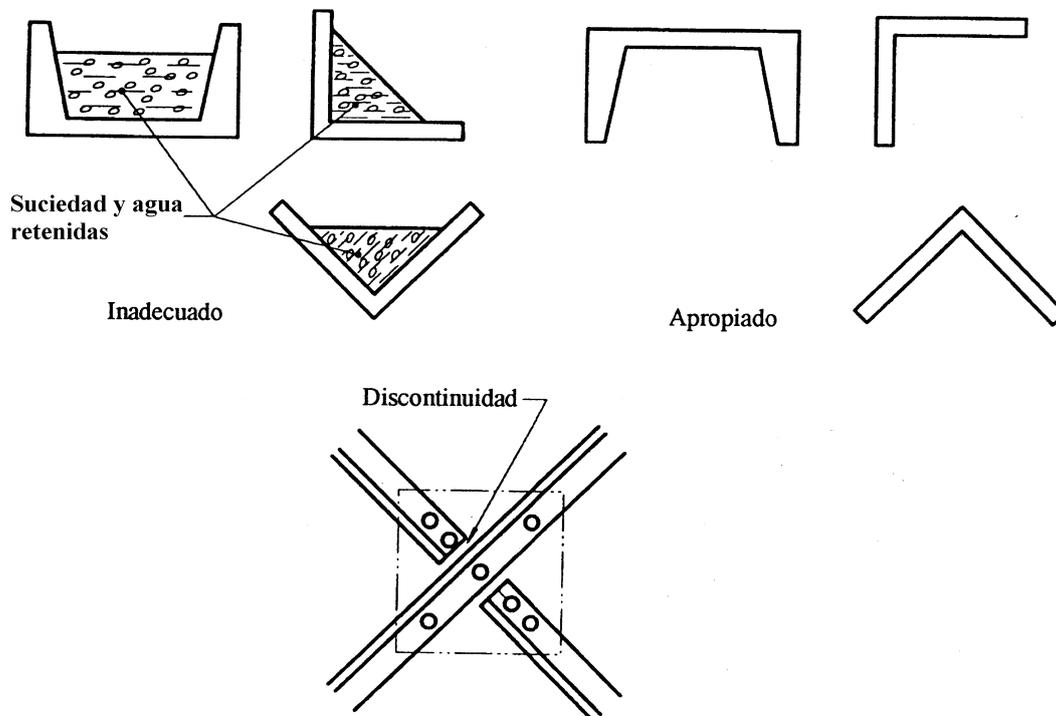


Figura 87.4.a Prevención de la acumulación de agua y suciedad

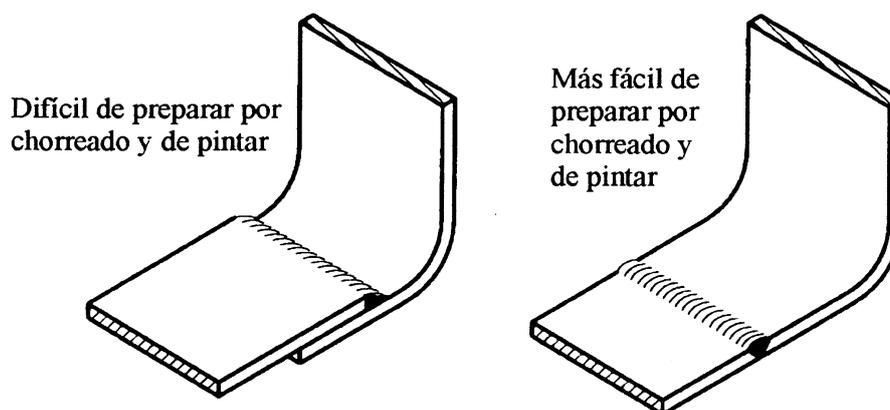


Figura 87.4.b Realización de soldaduras

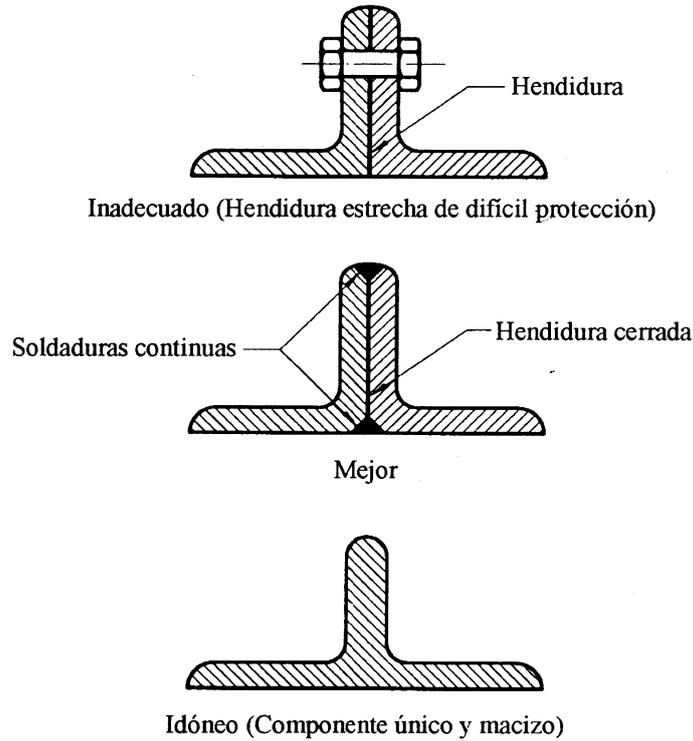


Figura 87.4.c Tratamiento de huecos

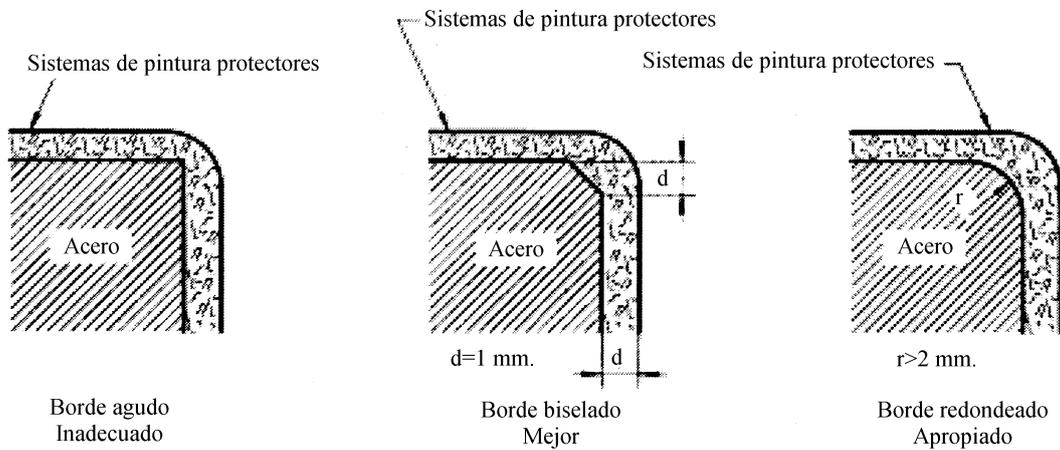


Figura 87.4.d Eliminación de bordes agudos

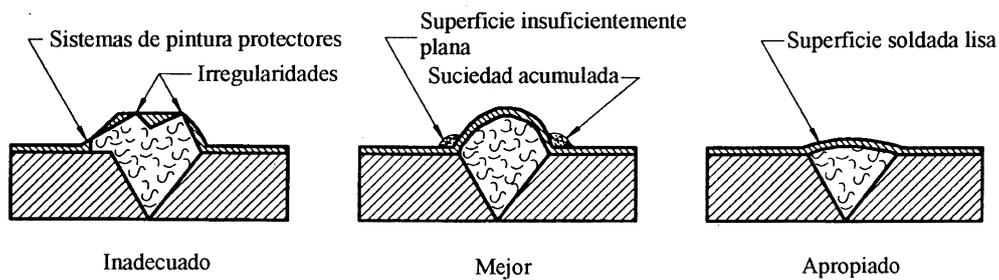
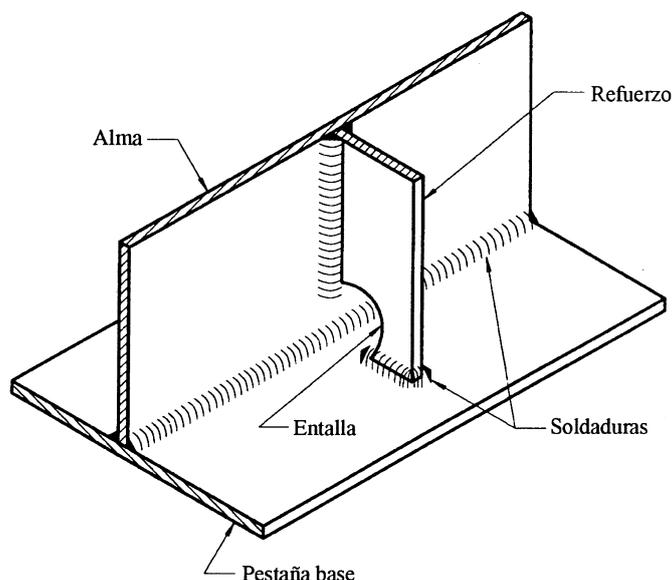


Figura 87.4.e Eliminación de imperfecciones en la superficie de las soldaduras



Para entallas,  $r \geq 50$  mm

Figura 87.4.f Diseño recomendado de refuerzos para la protección frente a la corrosión

#### 87.5 Medidas de mantenimiento durante la fase de uso.

En el caso de que la estrategia de durabilidad para garantizar la vida útil se base en sistemas de protección superficial, hay que tener en cuenta que dichos sistemas tienen vidas útiles inferiores a las de la estructura, por lo que requieren ser repuestas sistemáticamente, como parte del plan de mantenimiento.

Debe prestarse una atención especial a la accesibilidad a áreas cerradas de la estructura como, por ejemplo, en el caso de cajones metálicos. Las aberturas de acceso deben tener un tamaño suficiente para permitir un acceso seguro, tanto para los operarios como para los equipos de mantenimiento. Salvo justificación en sentido contrario, sus dimensiones no deben ser inferiores a 500 x 700 mm (ancho x alto) en los accesos rectangulares u ovales, y ni a 600 mm de diámetro mínimo en el caso de los accesos de forma circular. Además, deben existir orificios de ventilación adecuados al sistema de protección empleado en el mantenimiento.

## CAPÍTULO 20

### Estructuras de acero. Dimensionamiento y comprobación

Artículo 88. *Comprobación y dimensionamiento de las estructuras de acero.*

Para el análisis estructural, el dimensionamiento y la comprobación de las estructuras de acero, el autor del proyecto empleará el conjunto de principios y reglas establecidos en los Anejos 22 a 29.

Artículo 89. *Proyecto de estructuras de acero frente al fuego.*

En el caso de estructuras de acero que puedan estar sometidas a la acción del fuego, se estará a lo dispuesto en el Anejo 23.

Artículo 90. *Proyecto de estructuras de acero frente al sismo.*

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

## CAPÍTULO 21

**Fabricación y montaje de las estructuras de acero**Artículo 91. *Preparación y fabricación.*

## 91.1 Generalidades.

Este capítulo establece los requisitos mínimos de ejecución adecuados al nivel previsto de seguridad, que proporcionan los criterios de proyecto de este Código y dentro del ámbito de aplicación del mismo.

Con carácter general, este capítulo es aplicable a toda estructura sometida a cargas predominantemente estáticas. Para estructuras solicitadas a fatiga se requieren niveles superiores de ejecución acordes así mismo con la clasificación de los correspondientes detalles constructivos.

El pliego de prescripciones técnicas particulares incluirá todos los requisitos de fabricación, montaje y materiales necesarios para garantizar el nivel de seguridad del proyecto, pudiendo contener indicaciones complementarias sin reducir las exigencias tecnológicas ni invalidando los valores mínimos de calidad establecidos en este Código. A estos efectos se podrá tener en cuenta lo relativo a la información adicional que se define en la tabla A1 del Anexo A de la norma UNE-EN 1090-2.

Entre las estructuras que merecen una ejecución más cuidadosa se encuentran las que, de acuerdo con el apartado 14.3, pertenecen a las clases de ejecución 3 y 4.

La fabricación de las piezas de acero estructural que forman parte de las estructuras metálicas requiere disponer de unas instalaciones que permitan desarrollar, de conformidad con lo indicado en este Código, las siguientes actividades:

- recepción y acopio de los productos de acero empleados,
- elaboración de planos de taller, y
- procesos de corte, conformado, enderezado y perforación.

Además, el taller deberá disponer de zonas para poder realizar el ensamblado, armado previo y montaje en blanco de las piezas que fabrica.

Asimismo, deberá tener implantado un sistema de control de la conformidad de la producción conforme a los requisitos del mercado CE.

Al objeto de garantizar la trazabilidad de los productos de acero empleados en los talleres, la dirección facultativa podrá recabar, a través del constructor, evidencias sobre la misma.

## 91.2 Clases de ejecución.

El proyecto incluirá la clasificación de todos los elementos de la estructura, según su ejecución, que es necesaria para garantizar el nivel de seguridad definido. Una obra, o parte de la misma, puede incluir elementos de distinta clase. Es necesario que se agrupen los elementos por clases para facilitar la descripción de requisitos y la valoración de su ejecución y control.

## 91.2.1 Nivel de riesgo.

El nivel de riesgo de una obra define las consecuencias que podría tener su fallo estructural durante su construcción o en servicio (edificio público, almacén privado, obra estratégica, paso superior sobre vía importante, marquesina de aparcamiento, etc.).

La definición del nivel de riesgo se establece según los siguientes criterios:

- Nivel CC 3. Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, como es el caso de un edificio público, o puede generar grandes pérdidas económicas.
- Nivel CC 2. Elementos cuyo fallo compromete la seguridad de personas, pero no del público en general, o puede generar apreciables pérdidas económicas.

- Nivel CC 1. Elementos no incluidos en los niveles anteriores.

Una estructura puede contener partes y componentes de diferente nivel de riesgo.

#### 91.2.2 Condiciones de ejecución y uso.

Las condiciones de ejecución y uso tratan de categorizar los riesgos inherentes al tipo de construcción y al tipo de acciones que pueden incidir sobre la estructura.

En general puede aceptarse que la complejidad de la construcción o el empleo de técnicas y procedimientos especiales pueden suponer un aumento del riesgo, así como también la existencia de esfuerzos dinámicos y condiciones climáticas desfavorables (soldadura en obra frente a uniones atornilladas, carrileras de puente grúa frente a soportes de barandillas, temperaturas bajas frente a elementos en interiores, etc.).

La definición de la condición de ejecución y uso se puede establecer de acuerdo con la tabla 91.1 basada en las categorías de uso y ejecución que se definen a continuación.

##### 91.2.2.1 Categorías de uso.

La categoría de uso depende del riesgo ligado al servicio para el que se diseña la estructura:

- SC1: Estructuras y componentes sometidas a acciones predominantemente estáticas (edificios). Estructuras con uniones diseñadas para acciones sísmicas moderadas que no requieren ductilidad. Carrileras y soportes con cargas de fatiga reducida, por debajo del umbral de daño del detalle más vulnerable.

- SC2: Estructuras y componentes sometidas a acciones de fatiga (puentes de carretera y ferrocarril, grúas y carrileras en general). Estructuras sometidas a vibraciones por efecto del viento, paso de personas o maquinaria con rotación. Estructuras con uniones que requieren ductilidad por requisito de diseño antisísmico.

##### 91.2.2.2 Categoría de ejecución.

La categoría de ejecución depende de la fabricación y montaje de la estructura.

- PC1: Componentes sin uniones soldadas, con cualquier tipo de acero. Componentes con soldaduras de acero de grado inferior a S355, realizadas en taller.

- PC2: Componentes con soldaduras de acero de grado S355 o superior. Ejecución de soldaduras en obra de elementos principales. Elementos sometidos a tratamiento térmico durante su fabricación. Piezas de perfil hueco con recortes en boca de lobo.

#### 91.2.3 Determinación de la clase de ejecución.

La clase de ejecución se define a partir de los criterios anteriores de nivel de riesgo y de categoría de las condiciones de ejecución y uso de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 91.1 Determinación de la clase de ejecución

Nivel de riesgo		CC1		CC2		CC3	
Categoría de uso		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categoría de ejecución	PC1	1	2	2	3	3	3
	PC2	2	2	2	3	3	4

En casos particulares, de conformidad con la propiedad, puede ser conveniente imponer una clase de ejecución superior en algunos elementos particulares. Asimismo la clasificación anterior no limita la inclusión de requisitos adicionales que explícitamente se indiquen en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

### 91.3 Planos de taller.

Antes de procederse al inicio del proceso de fabricación en taller, el constructor, a través del taller metálico, deberá elaborar los planos de taller, de conformidad con los planos y pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, que deberán definir completamente todos los elementos y detalles de la estructura metálica, incluyendo todos los datos necesarios para su ejecución. Para ello deberá comprobarse previamente las cotas de replanteo y asegurarse la compatibilidad con el resto de la construcción.

#### 91.3.1 Contenido.

Los planos de taller contendrán en forma completa:

- la subdivisión en tramos de la estructura por razones de manipulación en taller, transporte y montaje en obra;
- la acotación de las dimensiones necesarias para definir completamente todos los elementos y detalles de la estructura, así como de sus uniones;
- la definición de los perfiles y de las clases de acero, así como la indicación de los pesos y marcas de trazabilidad de cada uno de los elementos de la estructura;
- las contraflechas de ejecución, así como los contragiros en los extremos de las piezas y en las secciones de unión entre tramos de montaje;
- la forma y geometría de cada unión, incluso de las uniones provisionales para fabricación y montaje;
- las calidades y diámetros de los tornillos, así como de los agujeros en las chapas, con indicación, en su caso, de la forma de su mecanizado;
- la posición y calidades de los pernos conectadores;
- la forma, tipo y dimensiones de las uniones soldadas, incluyendo:
  - la geometría y dimensiones de las preparaciones de bordes,
  - la apertura de raíz, tanto para soldaduras a tope como en ángulo,
  - el procedimiento y, en su caso, el método y posiciones de soldeo,
  - los materiales de aportación,
  - el orden de ejecución, cuando sea necesario;
  - las secuencias de las diferentes fases de armado, ensamblado y soldeo (o fijación con elementos mecánicos) para la ejecución de las diferentes piezas o elementos de la estructura;
  - las indicaciones sobre mecanizados, tratamientos térmicos, amolados o cualquier tipo de operación previa o de acabado en todos aquellos elementos, uniones o detalles que los precisen;
  - los empalmes entre elementos que, por limitaciones de laminación, manipulación o transporte, sea necesario establecer;
  - la posición y radio de las groetas para el cruce de soldaduras, que deberán tener el radio adecuado para permitir el correcto rebordeo de las soldaduras en ángulo sin que se obture el paso;
  - la definición de todos aquellos elementos auxiliares (orejetas, cáncamos, plantillas, gálibos, arriostramientos provisionales, etc.) que sean necesarios para la manipulación, fijación, volteo, transporte, izado, etc. de los elementos principales, tanto durante su fabricación en taller, como durante su transporte, ensamblaje o montaje en obra. Se definirá la ubicación, dimensiones y tipo de unión (atornillada o soldada) de dichos elementos auxiliares a los elementos principales, así como las operaciones previstas para el saneo posterior a su eliminación;
  - la definición de las bancadas de montaje necesarias para el armado y fabricación de las piezas en taller y en su caso en obra, con la definición de los puntos de apoyo de las piezas y la geometría de la bancada que garantice la geometría final de las piezas incluyendo sus contraflechas.

No se admitirán planos de taller con esquemas, detalles, uniones, soldaduras, etc. sin escala o paramétricos para geometrías variables del detalle. Cada detalle o unión de diferente geometría exigirá un detalle específico en los planos de taller.

Las hojas de despiece de los planos de taller deberán definir completamente todas las dimensiones de cada chapa, sus marcas de trazabilidad, preparaciones de borde, groeras, etc., posicionando espacialmente de manera inequívoca la pieza según su ubicación en la estructura.

No se dispondrá ningún tipo de fijación provisional, atornillada o soldada, sobre la estructura de acero salvo aquéllas que figuren explícitamente en los planos de taller o montaje en obra, y que previamente hayan sido aceptadas por la dirección facultativa.

### 91.3.2 Revisión y modificaciones.

El constructor, antes de comenzar la ejecución en taller, entregará dos copias firmadas de los planos de taller a la dirección facultativa, que los revisará y devolverá una copia autorizada firmada en la que, si se precisan, señalará las correcciones que deben efectuarse. En este caso, el constructor entregará nuevas copias de los planos de taller corregidos para su aplicación definitiva.

Cualquier modificación introducida a lo largo del proceso de fabricación y ejecución de la estructura de acero deberá incorporarse a los planos de taller, añadiendo las notas explicativas de las mismas, para que la obra terminada quede exactamente definida en dichos planos.

No se aceptará, salvo autorización explícita por la dirección facultativa, ninguna modificación de detalles, tipos de soldadura, etc. con respecto a los planos de proyecto, ni la incorporación de ninguna fijación provisional que pudieran rebajar la resistencia o la categoría de detalle de fatiga respecto del proyecto original.

Los planos de taller irán firmados por el técnico del taller metálico responsable de su elaboración, así como por un técnico competente, con experiencia probada en el ámbito de la construcción metálica, por parte del constructor. Este último será responsable de:

- transmitir a la dirección facultativa la lista precisa de posibles insuficiencias en la definición del proyecto, en relación al desarrollo de detalles, preparación de bordes, tipo y dimensionamiento de soldaduras, etc., pudiendo proponer a la citada dirección facultativa, debidamente justificadas, posibles alternativas a las indefiniciones detectadas;
- asegurar la conformidad de los planos de taller con los planos del proyecto y las posibles directrices transmitidas por la dirección facultativa en caso de indefiniciones del proyecto;
- aportar las justificaciones técnicas de que las adaptaciones planteadas, en elementos, detalles, uniones, tipos de soldadura, etc., por razones constructivas, de fabricación o de adaptación a los medios y sistemas propios del contratista, o de su taller metálico, no afectan a la seguridad resistente o a fatiga de la estructura, a su durabilidad ni a su comportamiento frente al fuego;
- adaptar las contraflechas y contragiros del proyecto a cualquier modificación del proceso de montaje, o de su secuencia de fases en procesos evolutivos, que pudiera afectarlos.

### 91.4 Preparación del material.

Previamente al inicio de la fabricación se deberán recepcionar los materiales de acuerdo con lo establecido por los Capítulos 18 y 23, para evitar cualquier rechazo posterior atribuible al material que pueda entrar en conflicto con la ejecución.

En lo que respecta a las operaciones de marcado, manipulación, almacenamiento, enderezado, corte, conformación y perforación se estará a lo que se indica en la norma UNE- EN 1090-2.

#### 91.4.1 Marcado, manipulación y almacenamiento.

En todas las fases de fabricación las piezas deberán ser identificadas con un marcado adecuado, duradero y distinguible, acorde con el sistema de representación utilizado en los planos de taller.

El marcado permitirá el seguimiento de los diferentes elementos de la estructura para facilitar los controles establecidos en el capítulo 23 y el eventual almacenamiento o acopio previo al montaje.

En el almacenamiento se cuidará que se mantienen las condiciones de durabilidad del capítulo 19 y del apartado 95.2.

#### 91.4.2 Enderezado.

Se estará a lo que se indica en la norma UNE-EN 1090-2 sobre el particular.

#### 91.4.3 Corte.

El corte puede realizarse por procedimientos mecánicos: sierra, disco, cizalla; o térmico: plasma, oxicorte (manual o automático) y láser. Los procedimientos de cizalla y oxicorte manual no se utilizarán en el caso de clases de ejecución 3 y 4, salvo en casos excepcionales en los que no pueda recurrirse a otros métodos, con autorización expresa de la dirección facultativa y seguidos de un mecanizado y el posterior control del acabado superficial y dureza de los bordes, según se describe en los párrafos siguientes.

Una vez se cuente con la autorización expresa de la dirección facultativa, la cizalla solo puede ser utilizada hasta espesores de 25 mm. El mecanizado será obligatorio en piezas de cualquier espesor de clase de ejecución 4 y en las de clase 3, en aquellas de espesor superior a 15 mm. La eliminación de rebabas y partes dañadas es obligatoria a menos que sean fundidas en una operación de soldeo posterior.

El equipo utilizado en el corte debe ser revisado periódicamente de modo que se garantice la magnitud máxima de las irregularidades.

El mecanizado o amolado, en una profundidad superior a 0,5 mm, y su posterior control, será necesario, con independencia del método de corte, cuando se produzcan oxidaciones, entallas, estrías, mordeduras, irregularidades o endurecimientos locales superiores a 380HV10 en los bordes. En caso de que se use oxicorte automático o plasma se amolará siempre la superficie. La eliminación de rebabas y zonas dañadas es obligatoria a menos que sean fundidas en un proceso de soldeo posterior.

La calidad del acabado superficial tras el corte se define según la norma UNE-EN ISO 9013. Los test de dureza Vickers se rigen por la norma UNE-EN ISO 6507.

En el caso de realizarse el test de dureza en zonas biseladas o rectas después de un proceso de corte, se descarta realizar el mismo con el método HV (Vickers) ya que es un ensayo destructivo. Se recomienda realizar el ensayo Brinell con el empleo de un equipo de campo. Posteriormente puede realizarse una conversión a Vickers mediante el empleo de tablas.

#### 91.4.4 Conformación.

Esta operación puede realizarse por doblado o plegado hasta que se obtenga la forma requerida tanto en frío como en caliente, siempre que las características del material no queden por debajo de las especificadas en el proyecto. Se estará a lo que se indica en la norma UNE-EN 1090-2 sobre el particular.

#### 91.4.5 Perforación.

Los agujeros para tornillos pueden realizarse mediante taladrado, punzonado, láser, plasma y corte térmico siguiendo las prescripciones de ejecución que se indican en la norma UNE-EN 1090-2 sobre el particular. No estará permitido el punzonado en elementos sometidos a sollicitaciones de fatiga ni en elementos de clase de ejecución 4. Además se

recomienda que en piezas sometidas a cargas de fatiga, clase de ejecución 4, se use una guía para ejecutar los agujeros con taladro.

En el caso en que el pliego de prescripciones técnicas particulares defina un elemento o parte de él como de fabricación cuidadosa, conforme a lo señalado en el apartado 14.3, se deberán corregir los bordes de agujeros que hayan sido realizados por algún método térmico y que alcancen una dureza local superior a 380HV10 (361 HB) para las clases de ejecución 4 y 3. En éste caso la huella habrá de centrarse a una cota aproximada de 10 mm del borde del agujero a fin de evitar que la propia bola deforme el borde del mismo por proximidad y que se obtenga un resultado erróneo.

#### 91.5 Ensamblado y armado.

Esta operación consiste en presentar los elementos elaborados y proceder a su ensamblado en diferentes tramos. Se deberá obtener una coincidencia de uniones dentro de las tolerancias aplicables del Anejo 16, sin forzar o dañar los elementos.

Antes de iniciar la fabricación, el taller metálico propondrá por escrito, con los planos necesarios para su definición, la secuencia de armado y soldeo de las piezas que, en función de sus medios y experiencia, permite minimizar el embriado de las uniones a soldar, las tensiones residuales y las deformaciones parásitas de soldeo. La propuesta deberá ser informada por el constructor y se someterá a la aceptación de la dirección facultativa, previamente al inicio de la fabricación.

En el armado, el constructor comprobará que la disposición, contraflechas, marcas de trazabilidad, dimensiones, espesores y preparaciones de borde de cada elemento se ajusten a las indicadas en los planos de taller. Se rectificarán o repondrán todas las piezas que no permitan su acoplamiento, sin forzarlas, dentro de las tolerancias admisibles para los elementos y los procedimientos cualificados aplicables a sus uniones soldadas o atornilladas.

Para el armado, las piezas se fijarán entre sí o a gálibos de armado mediante elementos que aseguren su inmovilidad durante el soldeo y su enfriamiento posterior.

Podrán utilizarse como medios de fijación puntos de soldadura entre los bordes de las piezas a unir, que posteriormente se limpiarán de escoria y se controlará que no contengan fisuras, pudiendo entonces englobarse en la soldadura definitiva, si se ejecutan tal y como define el apartado 7.5.7 de la norma UNE-EN 1090-2. El constructor se responsabilizará del control y documentación del proceso.

Deben eliminarse todas las soldaduras de punteo no incorporadas en las soldaduras finales.

Cualquier recurso a medios auxiliares fijados en la estructura principal, para el armado, fijación o volteo de piezas en taller, deberá quedar reflejado en los planos de taller. A las piezas provisionales, y a sus uniones a elementos de la estructura, se les aplicarán los mismos requisitos que a los elementos definitivos.

Será responsabilidad del constructor asegurarse de que el taller metálico o el personal de obra no cierre, dejando inaccesibles, zonas de la estructura con uniones o elementos cuya conformidad no haya quedado todavía acreditada, de acuerdo con el programa de control. Para ello se establecerán los puntos de parada que sean necesarios.

#### 91.6 Montaje en blanco.

Antes de su montaje en posición definitiva en obra, se debe verificar el correcto ajuste entre los diferentes tramos ya ejecutados en taller, haciendo coincidir los tramos adyacentes de la estructura completa para comprobar que presentan idéntica configuración geométrica y que se respetan estrictamente las tolerancias admisibles para las uniones atornilladas o soldadas, principalmente a tope, a realizar posteriormente en obra.

Cuando, por razones de espacio o de ritmos de fabricación de la estructura, no sea posible el preensamblado de elementos completos adyacentes en taller, podrá recurrirse a métodos alternativos, siempre que permitan garantizar la misma precisión, y sean aceptados por el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto o, en su caso, la dirección facultativa, tales como el recurso a plantillas que reproduzcan fielmente la

geometría del extremo del tramo enviado a obra previamente a su montaje en blanco, o procedimientos de medida por métodos tridimensionales.

El montaje en blanco deberá verificar:

- la continuidad de alineaciones verticales y en planta entre tramos, así como de las pendientes longitudinal y transversal, mucho más sensibles que las primeras a los procesos de fabricación y soldeo, controlando la ausencia de discontinuidades o puntos angulosos;
- la coincidencia entre los bordes de las secciones transversales a lo largo de todo el perímetro de la sección o, en caso de haberse previsto así en el proyecto, los eventuales contragiros a disponer entre extremos de vanos adyacentes. Se exigirá una precisión de los controles acorde a las tolerancias admisibles por las uniones, atornilladas o soldadas, por las normativas de aplicación;
- en las superficies de cuñas de basas de apoyo, su geometría, planeidad, ortogonalidad y las nivelaciones en sentido longitudinal y transversal de su superficie inferior, pudiendo recurrirse al mecanizado para la corrección de ajustes;
- en algunos casos, puede resultar necesario medir y controlar que las variaciones de longitud de tramos, respecto de las teóricas de proyecto, no sufren alteraciones sensibles como consecuencia de una incorrecta estimación por el taller de las retracciones por soldeo. Si los resultados de dichas mediciones no resultan aceptables, deberán preverse las oportunas demasías en los despieces de chapas, procediéndose al posterior corte y preparación de borde de los extremos de cada tramo, una vez contrastada la longitud real del mismo tras las citadas retracciones de soldeo.

En general, y salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto establezca otros requisitos, el montaje en blanco se realizará con los tramos montados en las mismas bancadas de armado, que deben reflejar exactamente las contraflechas del proyecto.

En dicha situación de múltiple apoyo de las piezas, la geometría de las mismas puede enmascarar las eventuales deformaciones parásitas de soldeo, a las que resultan muy sensibles los contragiros verticales, así como las pendientes de las alineaciones longitudinal y transversal en los extremos de los tramos. Por ello, el proyecto podrá exigir la realización, en taller u obra, de medidas adicionales de la deformación de la pieza bajo la acción de su peso propio, en condiciones análogas a las de montaje, para verificar con precisión que se respetan las tolerancias de las uniones en situaciones de deformación análogas a las del momento de la realización de dicho montaje. Alternativamente podrá recurrirse a demasías que permitan el posterior mecanizado de ajuste tras una presentación de las piezas previa al montaje en obra.

#### Artículo 92. *Transporte y montaje.*

##### 92.1 Transporte y llegada a obra.

##### 92.1.1 Salida de taller.

Ninguna pieza podrá salir del taller sin la autorización expresa de la dirección facultativa, una vez demostrada la conformidad de la misma con el proyecto.

##### 92.1.2 Transporte a obra.

Las manipulaciones necesarias para la carga, descarga, transporte y almacenamiento a pie de obra se realizarán con los necesarios cuidados para evitar sobresolicitaciones o distorsiones en algún elemento y daños en las superficies o tratamientos de protección.

Durante el transporte y acopio a pie de obra, las piezas se fijarán y asegurarán provisionalmente, para lo que se dispondrán los sistemas adecuados para garantizar su estabilidad, rigidez y resistencia.

Se tomarán asimismo medidas para evitar la acumulación del agua de lluvia o suciedad durante la fase de almacenamiento a pie de obra.

### 92.1.3 Ensamblado a pie de obra.

Antes de proceder al montaje se deberán corregir y reparar cualquier abolladura, comba o torcedura, así como los daños o entallas superficiales, o en los bordes o biseles de las chapas, mediante procedimientos previamente aprobados con requisitos análogos a los exigidos para la fabricación en taller.

### 92.2 Actuaciones previas al montaje en obra.

#### 92.2.1 Condiciones del emplazamiento para el montaje de estructuras de acero.

Las condiciones del emplazamiento para el montaje de las estructuras de acero formarán parte de la información recogida en el Plan de seguridad y salud en el trabajo regulado en el artículo 7 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. Esta información, sin perjuicio de lo establecido en el mencionado real decreto, debería contemplar, entre otros, los siguientes aspectos:

- Zonas de aparcamiento para vehículos, maquinaria en general y acopios.
- Acceso y circulación en el interior de la obra.
- Instalación de grúas fijas.
- Preparación del terreno de emplazamiento en cuanto a condiciones de suelo, drenaje superficial y estabilidad de taludes, si ha lugar.
- Comprobación de servicios afectados, incluyendo conductos subterráneos, cables aéreos o cualquier otro condicionante físico.
- Comprobación de que las piezas de mayores dimensiones y peso pueden ser suministradas a pie de obra.
- Zonas contiguas afectadas por el montaje.
- Condiciones climáticas y medioambientales.
- Comprobación de las condiciones del terreno que permitan prever o corregir eventuales movimientos, tales como asentamientos de bases de pilares o giro de paramentos de muros durante la ejecución de la obra.
- Las actividades previas o posteriores al montaje deben disponer asimismo de un plan de seguridad compatible, sea cual sea su naturaleza y deben estar coordinadas.

#### 92.2.2 Programas de montaje.

El pliego de prescripciones técnicas particulares deberá incluir un método de montaje preliminar adecuado a las características resistentes de la estructura en sus distintas fases que servirá de orientación al constructor para la redacción del programa de montaje definitivo.

Este programa preliminar deberá tener en cuenta:

- La situación de nudos y empalmes.
- Longitudes máximas de barras.
- La secuencia de montaje.
- La estabilidad provisional, incluyendo apeos y arriostramientos.
- Condiciones para la retirada de apeos y arriostramientos.
- Piezas con reducida estabilidad lateral y frente a torsión durante el montaje que requieren izado y manipulación especial.
- Ejecución de bases de pilares y apoyos en cuanto a retacado con mortero de placas base.
- Contraflechas y ajustes en juntas de dilatación.
- La utilización de chapa perfilada como contribución a la estabilidad.
- La posibilidad de que las cargas de ejecución superen a las correspondientes al diseño.

El programa de montaje definitivo será elaborado por el constructor debiendo ser autorizado por la dirección facultativa antes del inicio de los trabajos. En su redacción, el constructor puede modificar las indicaciones del programa preliminar e introducir otros métodos o sistemas no contemplados en él siempre que se justifique ante la dirección facultativa, mediante cálculo o referencias de obra similares.

Sin perjuicio de lo que establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, el programa de montaje deberá definir los siguientes aspectos:

- posiciones, tipo y definición de las uniones a realizar en obra;
- dimensiones, centro de gravedad y peso de cada tramo a montar;
- secuencia de fases de montaje, con descripción de las mismas, calendario y tiempos de actividad de cada fase, incluyendo la necesaria coordinación con los trabajos en taller y el transporte de las piezas a obra;
- apeos o arriostramientos provisionales para asegurar la resistencia y estabilidad de las piezas, así como los eventuales requisitos para su posterior eliminación;
- definición del tipo de apoyo, definitivo o provisional, de las piezas sobre pilas, estribos o apeos intermedios;
- incorporación, en los planos de montaje o taller, de las orejetas, bulones, casquillos, cáncamos o cualquier elementos auxiliar de fijación a la estructura principal que sea preciso para las operaciones de izado, levantamiento, volteo, empuje, etc. de montaje;
- justificaciones resistentes de dichos elementos de fijación y sus uniones a la estructura principal, así como de la no afección a la resistencia y comportamiento a fatiga de la misma, firmadas por un técnico competente, con probados conocimientos en cálculo de elementos y uniones de estructuras de acero;
- procedimientos, para la posterior eliminación de dichas fijaciones auxiliares provisionales, su control y procedimientos de reparación y saneo de los eventuales daños a la estructura principal;
- posiciones y cargas para elevación con grúas, izados, contrapesos, empujes, etc.;
- en el caso de puentes de la Red de Carreteras del Estado, los proyectos específicos de los procesos de montaje y de los medios auxiliares necesarios, de conformidad con la Orden FOM/3818/2007, de 10 de diciembre, incluyendo memoria descriptiva, planos, anejo de cálculo, instrucciones de montaje, desmontaje y mantenimiento, y pliego de condiciones con las condiciones de aceptación/rechazo de materiales y componentes;
- magnitud de las deformaciones (flechas en vanos y giros sobre apoyos y en los extremos de las piezas a ensamblar) en cada fase de montajes evolutivos, para su contraste con las mediciones a realizar en obra;
- tolerancias de posicionamiento en apoyos de cada tramo, así como de ajuste entre los bordes de elementos a unir, por soldeo o por fijación con elementos mecánicos;
- eventual afección sobre los ajustes geométricos de montaje como consecuencia de los efectos térmicos (dilataciones, gradientes verticales o transversales) en el momento del montaje;
- definición de las sobrecargas de ejecución (personal y equipos) y del viento admisible durante las operaciones de montaje, justificando la resistencia y estabilidad de la estructura;
- detalle de las fases, tiempos de actividad, equipos, medios auxiliares y cualificación del personal.

Se deberán elaborar procedimientos específicos para las uniones en obra (soldadas o atornilladas) entre tramos con definición precisa de:

- la necesidad o no de montajes en blanco en obra, adicionales a los realizados en taller, o presentaciones previas con los tramos ya montados, para la verificación de las tolerancias de ajuste de las piezas con los límites exigibles por los procedimientos cualificados aplicables a las uniones soldadas o atornilladas a realizar en obra;
- los procedimientos previstos para realizar el ajuste entre piezas, así como las fijaciones provisionales para garantizar su completa inmovilidad durante la ejecución de la unión;

– los procedimientos correctores previstos en caso de que los controles de tolerancias de ajuste, antes citados, tanto en la geometría de la estructura como, principalmente, en las uniones soldadas o atornilladas no sean aceptables. Dichos procedimientos correctores deberán estar cualificados por el constructor y aceptados por la dirección facultativa.

#### 92.2.3 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 este Código.

#### 92.2.4 Soportes.

Todas las cimentaciones, tanto zapatas como losas o macizos de apoyo deben haber sido inspeccionadas previamente, incluyendo los pernos de anclaje embebidos en ellas, para garantizar que su posición y alineaciones están de acuerdo con los planos.

En caso de pernos embebidos en la cimentación, deberá disponerse de un sistema que garantice el posicionamiento dentro de las tolerancias requeridas. En este sentido, es recomendable el empleo de plantillas que garanticen la posición de los pernos.

Debe cuidarse que la posición a lo largo del montaje de los soportes no sufra modificaciones que excedan las tolerancias (ver Anejo 16).

Tanto los propios pernos de anclaje como los calzos o cuñas de nivelación de placas base han de ser capaces de soportar la estructura montada, previamente al retacado con mortero de nivelación. En el caso de que los elementos provisionales queden embebidos, debe asegurarse que disponen de una durabilidad igual a la de la estructura y de que quedan con un recubrimiento mínimo de 25 mm.

El relleno del espacio entre la placa base y el cimiento debe efectuarse con mortero de cemento o con morteros especiales sin retracción. En función del mortero utilizado y de las dimensiones del elemento se fijará el espesor mínimo que garantice el correcto relleno con un procedimiento que evite la presencia de aire bajo las placas a rellenar y pueda ofrecer espacio suficiente para colocar y manipular las cuñas o tuercas inferiores de nivelación.

El relleno de mortero debe realizarse lo antes posible una vez que los pilares y vigas inmediatas superiores estén correctamente aplomados y alineados. El material no debe mezclarse o utilizarse con temperaturas inferiores a 0 ° C salvo instrucción del fabricante del mismo. En todo caso debe obtenerse una fluidez adecuada para rellenar completamente todo el espacio.

Previamente se habrá eliminado cualquier resto de grasa, hielo o suciedad. En las placas base cuya dimensión mínima supere 400 mm es recomendable disponer orificios de venteo de 50 mm para facilitar la penetración del producto.

En el caso de soportes empotrados en zapatas con receptáculos tipo cáliz, el hormigón o mortero de relleno debe ser de una resistencia característica no inferior a la del cimiento. En la colocación inicial el hormigonado debe cubrir dos tercios de la longitud de empotramiento. No se deberá someter a ninguna carga adicional hasta que el hormigón no alcance la resistencia especificada a tal efecto por la dirección facultativa y que no será en ningún caso inferior a la mitad de su resistencia característica. La ejecución definitiva se completará con el hormigonado del último tercio.

### 92.3 Montaje.

#### 92.3.1 Planos de montaje.

Los planos de montaje de la estructura se elaborarán a partir de los planos de taller. En ellos deberá constar las plantas y alzados a una escala tal que puedan apreciarse las marcas de montaje identificadoras de cada elemento.

En los planos de montaje se indicarán los elementos y sus uniones así como cualquier tolerancia especial. Los planos correspondientes a la cimentación deben detallar la

posición y orientación de las placas base y de cualquier otro elemento en contacto directo con el hormigón.

Deberán constar las cotas de cada planta. En las placas base constarán el número, tipo, diámetro y posición de los pernos de anclaje, así como la holgura a rellenar con mortero de nivelación.

Cualquier elemento provisional, como arriostrados, escaleras de obra o accesos temporales, deberá estar incluido en los planos de montaje.

Los planos de montaje deben indicar el peso y centro de gravedad de cualquier elemento o subconjunto estructural que supere 50 kN.

#### 92.3.2 Marcado.

Los métodos de marcado cumplirán lo establecido en el apartado 91.3.1. En aquellos casos en los que no se deduzca su orientación o pueda inducir a error, provocando una inversión de esfuerzos en la pieza o subconjunto estructural, se deberá marcar la orientación en ellos (interior/exterior; arriba/abajo; superior/inferior; etc).

En producciones seriadas, con componentes idénticos en todos los aspectos, se puede repetir la marca de montaje.

#### 92.3.3 Manipulación y almacenamiento en montaje.

La manipulación y almacenamiento en obra debe realizarse de manera que se minimice el riesgo de daño a los elementos. Se deberá prestar especial atención al eslingado en las operaciones de descarga e izado.

Deberán repararse los daños que pueda sufrir cualquier elemento que afecte a sus tolerancias, acabado de protección o a sus uniones.

La tornillería, elementos de fijación, cubrición y auxiliares deberán estar embalados e identificados adecuadamente.

#### 92.3.4 Montaje de prueba.

En estructuras complejas, o bien cuando se desee asegurar un correcto y ajustado montaje en obra, el pliego de prescripciones técnicas particulares puede exigir la realización de montajes en blanco de acuerdo con el apartado 91.5. En el programa de montaje definitivo que se indica en el apartado 92.2.2, el constructor podrá incluir el montaje en blanco para evaluar el tiempo o duración de operaciones de montaje complicadas.

#### 92.3.5 Métodos de montaje.

El montaje de la estructura se realizará de acuerdo con las indicaciones contenidas en el programa de montaje indicado en el apartado 92.2.2. A lo largo de todo el proceso deberá estar garantizada la resistencia y estabilidad de la obra.

En edificios es recomendable iniciar el montaje por núcleos rígidos que hagan intraslacional todo el conjunto, confiriendo estabilidad a las piezas que se montan posteriormente.

Los pernos de anclaje en base de pilares no empotrados no deben de considerarse eficaces para evitar el vuelco, a menos que se compruebe mediante cálculo.

Debe preverse el efecto de las cargas de ejecución, incluyendo peso de personal y equipo, durante el montaje, así como la acción del viento sobre la estructura no completa.

Los arriostramientos o rigidización provisional deberán mantenerse hasta que el montaje esté lo suficientemente avanzado, de modo que puedan ser retirados sin comprometer la seguridad.

Cabe la posibilidad en edificios o estructuras de gran altura que sea necesario liberar a los arriostramientos del efecto de las cargas gravitatorias a medida que avanza la construcción. En estos casos, que deben estar explícitamente indicados en el pliego de prescripciones técnicas particulares y consideradas en el cálculo de la estructura, podrá

procederse liberando cada vez únicamente un recuadro y recurriendo a otro arriostrado provisional alternativo si es necesario.

A las uniones de los elementos provisionales de montaje les es aplicable el pliego de prescripciones técnicas particulares. Dichas uniones deben realizarse de forma que no limiten ni la resistencia ni la capacidad de servicio de la estructura definitiva.

En caso de que el montaje implique la rodadura, u otro tipo de traslación de la estructura o de parte de ella, hasta su posición definitiva, deberán tomarse las medidas pertinentes para conseguir el frenado controlado de la misma y preferiblemente para poder actuar en el sentido de invertir la dirección del desplazamiento si es necesario.

Los anclajes provisionales deberán estar asegurados contra cualquier posible aflojamiento involuntario.

El constructor será responsable de que ninguna parte de la estructura sea sobretensionada o distorsionada por acopio de materiales o cargas de montaje a lo largo de la construcción.

#### 92.3.6 Alineaciones.

Cada parte de la estructura debe quedar alineada, nivelada y ajustada tan pronto como sea posible una vez que haya sido montada; la ejecución de sus uniones debe realizarse inmediatamente después.

Si dichas uniones son definitivas, deberá asegurarse que su ejecución no compromete el ajuste, nivelación y aplomado de elementos posteriores.

En la alineación y ajuste de la estructura pueden emplearse tuercas de nivelación, cuñas y forros. Cuando exista riesgo de desplazamiento, las cuñas podrán soldarse, el material de las mismas será acero y el espesor mínimo será de 4 mm cuando se empleen en el exterior.

Cuando no sea posible corregir los errores de montaje o ajuste mediante cuñas en forma de calzos o forros, se deberá modificar adecuadamente la fabricación de los elementos, consignando los cambios introducidos en los planos de montaje.

Debe prestarse especial atención en no forzar el ajuste, si ello implica introducir esfuerzos en las barras no considerados en el cálculo de la estructura.

Para facilitar el montaje debe considerarse la posibilidad de disponer agujeros sobredimensionados o rasgados.

### Artículo 93. *Fijación con elementos mecánicos.*

#### 93.1 Generalidades.

En este Código se contemplan diferentes posibilidades en cuanto a disposiciones constructivas que permiten una ejecución razonable y acorde con los requisitos de calidad y seguridad de la estructura en cada caso concreto.

La ejecución de uniones mediante tornillos deberá tener en cuenta las características específicas del diseño cuyos requisitos se establecen en el Anejo 26 y las de los materiales utilizados que se contienen en el artículo 85. Por lo tanto los diámetros de agujeros, separaciones mutuas y a bordes, sistemas de apretado y estado de superficies entre otros datos, deben constar en el pliego de prescripciones técnicas particulares y es recomendable que además figuren en los planos.

El constructor debe reconocer la clasificación de las uniones atornilladas a realizar, de acuerdo con el Anejo 26, de modo que pueda elaborar los planos de taller con las disposiciones constructivas que permiten cumplir las hipótesis consideradas en el cálculo.

#### 93.2 Situación y tamaño de los agujeros.

El diámetro de los agujeros en relación con el de los tornillos debe ser apropiado a los principios indicados en el apartado anterior. Para las placas base y de testa que alojan pernos de anclaje en hormigón, se aplican otras disposiciones no contempladas aquí.

Las holguras nominales, que sumadas al diámetro del tornillo proporcionan el del agujero, son:

- a) Agujeros redondos normales:
  - 1 mm para tornillos M12 y M14.
  - 2 mm para tornillos M16 a M24.
  - 3 mm para tornillos M27 y mayores.
- b) Agujeros redondos sobredimensionados en uniones resistentes por rozamiento:
  - 3 mm para tornillos M12 y M14.
  - 4 mm para tornillos M16 a M22.
  - 6 mm para tornillos M24.
  - 8 mm para tornillos M27 y mayores.
- c) Agujeros rasgados cortos, sentido longitudinal en uniones resistentes al deslizamiento normal:
  - 4 mm para tornillos M12 y M14.
  - 6 mm para tornillos M16 a M22.
  - 8 mm para tornillos M24.
  - 10 mm para tornillos M27 y mayores.

Para los agujeros rasgados, en el sentido corto, las holguras serán idénticas a las de agujero redondo.

Los tornillos calibrados se colocarán en agujeros con una holgura de 0,3 mm.

En las uniones resistentes al deslizamiento pueden disponerse holguras superiores a las indicadas en el sentido longitudinal siempre que no se supere en dos veces y medio el diámetro nominal del tornillo.

En uniones al exterior los agujeros rasgados deberán quedar cubiertos por tapajuntas o arandelas de dimensiones adecuadas cuyos agujeros serán de holgura normal.

Las distancias entre ejes de tornillos y de éstos a los bordes deberán cumplir con los valores mínimos establecidos en el proyecto y también con los máximos, especialmente si la unión ha sido concebida para permitir redistribución plástica de esfuerzos en tornillos y su capacidad está determinada por la resistencia a aplastamiento.

### 93.3 Utilización de tornillos.

A menos que figure explícitamente en el pliego de prescripciones técnicas particulares que se ha considerado el cortante en la parte roscada, la longitud de los tornillos se deberá determinar de manera que con la suma de espesores de chapas y arandelas el plano de cizalladura quede fuera de la parte roscada de la espiga.

No se podrán utilizar tornillos calibrados roscados hasta la cabeza.

Después del apriete, la espiga con rosca debe sobresalir de la tuerca al menos un filete. En los tornillos sin pretensado también debe quedar por lo menos un filete al otro extremo de la tuerca, es decir, dentro de la unión. En tornillos pretensados este último requisito será de cuatro filetes como mínimo.

Los tornillos no se soldarán a menos que se establezca un procedimiento cualificado de soldeo según la norma UNE-EN ISO 15609-1 y conste explícitamente en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

### 93.4 Utilización de tuercas.

Las tuercas serán adecuadas al tipo de tornillo utilizado, especialmente en el caso de que sean pretensados de acuerdo con las tablas del artículo 85.

Deberán poder desplazarse sin dificultad sobre el tornillo previamente a su instalación. Su designación debe quedar accesible, de modo que la cara en que conste su identificación resulte visible para la posterior inspección.

En estructuras sometidas a vibraciones se tomarán medidas especiales para evitar la pérdida de la rosca y la eventual salida del tornillo. En este caso, los tornillos de eje vertical tendrán su cabeza en la parte superior de la unión. Las tuercas de tornillos sin pretensar deberán estar dotadas de contratueras u otro medio mecánico eficaz. En tornillos pretensados no es necesario utilizar contratueras.

Con respecto a la soldadura de tuercas, es de aplicación lo indicado para los tornillos en el apartado anterior.

#### 93.5 Utilización de arandelas.

Independientemente de su calidad, los tornillos no pretensados no requieren el empleo de arandelas, a menos que se trate de superficies con recubrimientos de gran espesor, donde haya que evitar daños locales.

Mediante el uso de arandelas puede lograrse el requisito de mantener la parte roscada fuera del agujero en tornillos calibrados, o bien fuera del plano de cizalladura si así lo requiere el pliego de prescripciones técnicas particulares para tornillos no pretensados o pretensados.

En superficies inclinadas se utilizarán arandelas de espesor variable o en cuña en todos los casos.

Para tornillos pretensados es obligatorio el uso de arandelas tanto bajo cabeza del tornillo como bajo la tuerca. Las arandelas planas o achaflanadas a utilizar con tornillos pretensados deberán cumplir con las normas UNE-EN 14399-5 y UNE-EN 14399-6.

Si se emplean arandelas indicadoras del pretensado del tornillo, estas se instalarán con los resaltos en contacto con la parte que no gire en el apriete. En todo caso se observarán las instrucciones del fabricante, que deberán estar detalladas en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

#### 93.6 Apretado de tornillos sin pretensar.

Los tornillos de uniones no pretensadas se apretarán hasta la condición de contacto ajustado de los componentes alrededor de la zona de cada tornillo. Es admisible que queden holguras locales de 2 mm separadas de la zona donde se disponen los tornillos. Para no superar ese límite es aconsejable proceder a un apretado progresivo de tornillos desde los más interiores hacia fuera.

No es necesario un valor de par de apriete determinado para lograr la condición de contacto ajustado; se considera que es el correspondiente al proporcionado por un operario utilizando una llave normal sin prolongador, equivalente al punto en que una llave neumática empieza a impactar.

Cuando se supere el límite de holgura de 2 mm o menos, si así lo indica el pliego de prescripciones técnicas particulares pueden interponerse cuñas o forros, o bien galgas en forma de peine abarcando a los tornillos.

En las uniones no pretensadas se pueden utilizar cualquiera de los tipos de tornillos indicados en el artículo 85.

#### 93.7 Apretado de tornillos pretensados.

En las uniones con tornillos pretensados solamente se usarán los tipos 8.8 y 10.9, de acuerdo con el artículo 85. Estas uniones se consideran resistentes al deslizamiento y les son aplicables los requisitos del apartado correspondiente.

El huelgo máximo entre superficies de contacto está limitado a 1 mm. En los casos en los que dicho huelgo supere ese valor y no alcance uno superior a 2 mm en ambientes corrosivos y 4 mm en ambientes interiores, cabe la posibilidad de utilizar el sistema de ajuste a base de forros.

El pretensado de los tornillos se iniciará una vez obtenida la condición de contacto ajustado y se realizará de forma ordenada y progresiva. Salvo indicación contraria del pliego de prescripciones técnicas particulares, se considera que el esfuerzo de pretensado

que debe obtenerse en la espiga del tornillo es el 70 % de la resistencia a tracción del tornillo  $f_{ub}$  multiplicada por el área resistente  $A_s$ :

$$N_0 = 0,7f_{ub} A_s$$

Tabla 93.7 Esfuerzo de pretensado mínimo,  $N_0$  (kN)

	Diámetro del tornillo (mm)							
	12	16	20	22	24	27	30	36
Tipo de tornillo 8.8.	47	88	137	170	198	257	314	458
Tipo de tornillo 10.9.	59	110	172	212	247	321	393	572

Este esfuerzo de pretensado puede obtenerse con uno de los siguientes métodos:

- Llave dinamométrica.
- Arandela con indicación directa de tensión.
- Método combinado.

El constructor, como responsable de aplicar, y asegurar, la tensión de apriete en los tornillos deberá:

- elaborar un procedimiento cualificado para el apriete de las diferentes uniones atornilladas pretensadas de la obra,
- realizar la campaña de ensayos previos para asegurar la calibración de los citados procedimientos cualificados de apriete,
- implantar un procedimiento de ejecución de las uniones, con una metodología de obligado cumplimiento, clara y precisa de las tareas y requisitos a respetar por los operarios y equipos responsables del apriete de las uniones, así como de la documentación exigida a dicho proceso,
- elaborar y llevar a cabo el control de la ejecución de dichas uniones, cuyo desarrollo deberá minimizar la afección a los ritmos y secuencias de fabricación y montaje de la estructura.

Solo son válidos aquellos procedimientos de apriete cualificados a través de ensayos de calibración realizados en condiciones estrictamente idénticas a las que se vayan a dar, en obra o taller, en el apriete de las uniones a las que sean de aplicación.

Se deberán implementar procedimientos cualificados de apriete para cada tipo de unión, entendiendo como tal aquél en el que varía alguna de las siguientes circunstancias:

- fabricante o suministrador,
- diámetro o tipo de tornillo,
- tipo de tuerca,
- tipo de arandela,
- número, tipo, ubicación y posición relativa de las diferentes arandelas (normales, DTI, etc.),
- tipo de agujero (estándar, rasgados, sobredimensionados, etc.),
- clase, tipo o suministrador del lubricante,
- estado de las superficies de los elementos a apretar o de su lubricación,
- tipo de llave o sistema de apretado a utilizar,
- secuencia de apriete a aplicar,
- condiciones de ejecución, en taller u obra.

La dirección facultativa podrá fijar las condiciones y requisitos que entiende aconsejables para evitar la necesidad de multiplicar el número de procedimientos cualificados a aplicar.

Las llaves de apriete serán calibradas. La documentación de su calibración será exigida antes de iniciarse el proceso de apriete estableciéndose asimismo al comienzo la frecuencia y el procedimiento a aplicar para las sucesivas calibraciones que fuera necesario realizar durante el plazo de la obra. Se utilizará siempre el mismo tipo de llaves que aquellas usadas en los ensayos de comprobación del procedimiento de apriete, en obra o taller.

#### 93.7.1 Método de la llave dinamométrica.

El par torsor aplicado a los tornillos induce un esfuerzo de pretensado en la espiga del tornillo que depende del diámetro del mismo y de un coeficiente que resume las características del rozamiento entre los componentes de la parte que gira.

Las llaves dinamométricas tendrán una precisión que evite un error superior al 4 % en la aplicación del par torsor. Deberán ser verificadas diariamente a lo largo del montaje.

Con un estado de suministro de tuerca y tornillo ligeramente engrasados el par torsor vale orientativamente:

$$M_t = 0,18 d N_0$$

El par torsor será el recomendado por el fabricante del conjunto tornillo y tuerca, de acuerdo con la clasificación que establece la norma UNE-EN 14399-1. Será aplicado sin modificar las condiciones de suministro.

Si no se dispone de tal recomendación, se procederá siguiendo uno de los dos procedimientos siguientes:

a) El par torsor se determinará a partir de los denominados valores  $k$ , indicados por el fabricante, aplicando las fórmulas del apartado 8.5.2 de la norma UNE-EN 1090-2.

b) El par torsor se determinará mediante ensayo según el Anexo H de la norma UNE-EN 1090-2.

Para asegurar que se obtiene el esfuerzo  $N_0$  se procederá, a partir de la condición de contacto ajustado con una apriete progresivo con un mínimo de dos fases:

- Aplicación del 75 % de  $M_t$
- Apriete hasta completar un 110 % de  $M_t$

No es aconsejable sobrepasar ese valor, ya que si el rozamiento en la rosca es inferior al indicado, se puede propiciar la rotura del tornillo.

Se puede utilizar un valor del par torsor obtenido mediante ensayo según la norma UNE-EN 14399-2.

#### 93.7.2 Método de la arandela con indicación directa de tensión.

Este método consiste en utilizar arandelas especiales, de acuerdo con la norma UNE-EN 14399-9, que se disponen bajo la parte fija. Cuando se aplica un giro a la parte opuesta se induce un esfuerzo de pretensado en la espiga del tornillo que actúa sobre unos resaltes o protuberancias existentes en la arandela. Al alcanzar el valor prescrito dichos resaltes se chafan y se produce el contacto directo contra la tuerca o cabeza del tornillo, eliminándose la holgura que ocupaban.

#### 93.7.3 Método combinado.

A partir de la condición de contacto ajustado se aplica un 75 % del par torsor. Seguidamente se procede a marcar la posición de las tuercas y se aplica un giro complementario dado de acuerdo con ensayos previos, realizados según la norma UNE-EN 14399-2.

Para uniones con superficies planas, puede utilizarse la siguiente tabla en función del espesor total, incluyendo arandelas y forros, en relación al diámetro del tornillo.

Tabla 93.7.3 Giro complementario en función del espesor de la unión

Espesor de la unión	Giro complementario
$t < 2d$	60 grados
$2d < t < 6d$	90 grados
$6d < t < 10d$	120 grados

### 93.8 Superficies de contacto en uniones resistentes al deslizamiento.

En este tipo de uniones, el pretensado de los tornillos implica un estado de compresión de las superficies unidas que, afectado por el coeficiente de rozamiento entre las mismas, se opone al deslizamiento relativo mutuo. El estado final de esas superficies determina su coeficiente de rozamiento.

En el pliego de prescripciones técnicas particulares debe indicarse cuál es la clase de superficie a obtener, especialmente si en el diseño se utilizan valores altos del coeficiente de rozamiento. Las superficies deben estar limpias y exentas de grasa. No es aceptable la limpieza con soplete.

En la tabla 93.8 se indican los tratamientos superficiales y el coeficiente de rozamiento respectivo. En los dos primeros casos el chorreado o granallado implica que debe obtenerse el grado Sa 2 ½ según la norma UNE-EN ISO 8504-1.

En el caso de que las superficies de contacto no hayan sido protegidas por una imprimación en taller y se difiera el montaje de las mismas, debe eliminarse la incipiente oxidación, o cualquier otra contaminación, mediante un cepillo de púas de acero suave.

Tabla 93.8 Valores del coeficiente de rozamiento en función del tratamiento superficial

Clase	Tratamiento	Coefficiente $\mu$
A	A1 - Chorreado o granallado sin picaduras de corrosión.	0,50
	A2 - Chorreado o granallado y metalizado por pulverización con aluminio.	0,50
	A3 - Chorreado o granallado metalizados por pulverización a base de zinc, con ensayo de deslizamiento.	0,50
B	Chorreado o granallado con imprimación de pintura de silicato alcalino de zinc hasta un espesor de 80 micras.	0,40
C	Limpieza por cepillado o flameo con eliminación de toda la cascarilla o herrumbre.	0,30
D	Sin tratamiento.	0,20

En el caso de superficies de contacto de acero galvanizado con tratamiento superficial de cepillado con cepillo de alambre se considerará clase C. Las superficies galvanizadas sin tratamiento son de clase D.

En casos no contemplados en esta tabla, o para afinar el diseño se puede recurrir a la determinación mediante ensayo, siguiendo las directrices del Anexo G de la norma UNE-EN 1090-2.

### 93.9 Fijaciones especiales.

Dentro de este apartado se incluyen los elementos de unión de estructura de acero a hormigón en sus tres modalidades:

- Pernos embebidos en hormigón.
- Pernos anclados en taladros rellenos de mortero.
- Pernos anclados mecánicamente, tipo expansión o cuña.

Además de cumplir los requisitos propios de anclaje por adherencia o forma, deberán satisfacer todos los requisitos propios de tornillos de este Código, de acuerdo con su material y montaje, excepto los que hacen referencia a diámetros de agujeros.

Otros sistemas o métodos de unión no contemplados en este Código se podrán utilizar si así figura en el pliego de prescripciones técnicas particulares, cuando se disponga de suficiente experiencia y estén amparados por otras normas, y siempre bajo la responsabilidad del autor del proyecto o la dirección facultativa.

#### 93.10 Utilización de tipos especiales de tornillos.

##### 93.10.1 Tornillos de cabeza avellanada.

Los tornillos de cabeza avellanada deben quedar con la misma enrasada con la superficie de la chapa más exterior. Pueden utilizarse pretensados o sin pretensar y les son aplicables todos los apartados anteriores.

Las dimensiones del avellanado y sus tolerancias deben ser detalladas en cada caso. La profundidad del avellanado será 2 mm menor que el espesor nominal de la chapa externa.

En caso de que esta operación afecte a más de dos chapas, aquélla deberá ser ejecutada con ambas firmemente unidas.

##### 93.10.2 Tornillos calibrados y bulones.

Los tornillos calibrados y los bulones o pasadores en rótulas o articulaciones se consideran tipos especiales de tornillos en este Código.

Sus características mecánicas deben cumplir el apartado 85.2 y su tolerancia será la correspondiente a clase H13 de la norma UNE-EN ISO 286-2 para la espiga.

Los agujeros se ejecutarán con un pretaladro de 3 mm menos y escariados a diámetro definitivo cuando se realicen in situ. Si se trata de una unión con varias chapas estas deben ser escariadas de forma simultánea con una firme sujeción durante la operación. El escariado debe realizarse con un husillo fijo.

La tolerancia para tornillos calibrados y bulones en agujeros será de clase H11 según la norma UNE-EN 286-2 (ISO 286-2). Si un bulón o pasador no requiere la condición de calibrado, se le aplicará la holgura definida en el apartado 93.2.

La rosca no quedará incluida en el interior de la unión en el caso de tornillos calibrados. En los bulones o pasadores no es obligatorio este requisito pero se evitará que exista zona roscada en los planos de cizalladura.

La instalación se realizará con un ligero golpeo y sin dañar la rosca.

##### 93.10.3 Tornillos de inyección.

Los tornillos de inyección son tipos especiales de tornillos que disponen de una perforación en cabeza por donde se inyecta resina para rellenar toda la holgura existente entre su espiga y el agujero.

Son adecuados para sustituir roblones u otros tornillos sin modificar el agujero existente. Con la inyección de resina se proporciona resistencia al aplastamiento. Pueden ser utilizados pretensados o no.

Su utilización será conforme a lo establecido en el Anexo J de la norma UNE-EN 1090-2.

#### Artículo 94. Soldadura.

##### 94.1 Introducción.

Los requisitos de calidad para el soldeo que se han de aplicar en cada clase de ejecución según la norma UNE-EN ISO 3834 serán los recogidos en la tabla 94.1.

Tabla 94.1 Requisitos de calidad para el soldeo en función de la clase de ejecución

Clase de ejecución 1.	Parte 4, requisitos elementales.
Clase de ejecución 2.	Parte 3, requisitos estándar.
Clases de ejecución 3 y 4.	Parte 2, requisitos completos.

#### 94.2 Plan de soldadura.

El constructor dispondrá de un plan de soldadura aplicable a los aceros definidos en el capítulo 18 de este Código que incluirá precauciones adecuadas frente al riesgo de desgarro laminar en caso de que se transmitan tensiones de tracción en el sentido perpendicular al espesor del material.

Para la elaboración del plan de soldadura se deberá tener en consideración la parte aplicable de la norma UNE-EN ISO 3834 tal y como se muestra en la tabla del Anexo A de la parte 1 de dicha norma.

A modo de ejemplo, para las clases de ejecución 3 y 4, el plan de soldadura debería incluir al menos los aspectos siguientes:

- Detalle de la unión.
- Tamaño y tipo de la unión.
- Referencias a las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS).
- Secuencia de soldeo, limitaciones a la soldadura discontinua o comprobaciones intermedias.
- Detalle de la unión de fijaciones provisionales.
- Detalle de elementos auxiliares para utilizar en inicios y finales de soldaduras.
- Condiciones ambientales (por ejemplo protección contra el viento y/o la lluvia).
- Disposiciones frente a desgarro laminar.
- Disposiciones referentes a precalentamientos o postcalentamientos, si aplican, de carácter general (prevaleciendo sobre las temperaturas reflejadas en los WPS cuando estas sean inferiores).
- Referencia al plan de inspección y ensayos.
- Asignación del personal cualificado o sistema de cualificación del personal.
- Todos los requisitos para identificación de soldaduras.

#### 94.3 Proceso de soldeo.

Todo proceso de soldeo a aplicar deberá estar incluido en la norma UNE-EN ISO 4063. Cualquier otro proceso de soldeo debe constar explícitamente en el pliego de prescripciones técnicas particulares y ser aprobado por la dirección facultativa.

#### 94.4 Cualificación del procedimiento de soldadura.

##### 94.4.1 Procedimiento de soldeo.

El soldeo debe realizarse con procedimientos cualificados utilizando una especificación del procedimiento de soldeo (WPS) de acuerdo con la parte correspondiente de las normas UNE-EN ISO 15609 o UNE-EN ISO 14555, según proceda.

En el caso de chapas con imprimación, la cualificación debe realizarse con el mayor espesor de capa aceptado.

La cualificación de procedimientos para el soldeo de espárragos se deberá realizar con la norma UNE-EN ISO 14555.

##### 94.4.2 Cualificación de soldadores y operadores de soldeo.

Los soldadores y operadores de soldeo deberán estar cualificados para las uniones que realicen, según la norma UNE-EN ISO 9606-1 o UNE-EN ISO 14732 respectivamente. Para los operadores de soldeo que aplican el proceso de soldeo 78 (soldero de espárragos)

solo se permite los métodos de cualificación descritos en los apartados 4.2.1 y 4.2.2 de la norma UNE-EN ISO 14732.

La documentación acreditativa de la cualificación de los soldadores deberá archivar y quedar disponible para verificación. La susodicha cualificación acorde con UNE-EN ISO 9606-1 para soldadores, o según UNE-EN ISO 14732 para operadores de soldeo, deberá estar certificada por un organismo con garantías suficientes a juicio de la dirección facultativa. Los registros de los ensayos realizados en aplicación de la norma correspondiente para la cualificación de soldadores, deberán estar a disposición de la dirección facultativa o persona por ella designada, como es el coordinador de soldadura.

#### 94.4.3 Coordinación del soldeo.

Para asegurar que se dedica una atención apropiada al proceso de soldeo, deberá contarse con un especialista, denominado coordinador de soldeo, mientras duren las actividades relacionadas con el mismo, en las estructuras correspondientes a clases 4, 3 y 2.

El coordinador de soldeo debe tener capacitación profesional y experiencia acorde con el proceso de soldeo del que es responsable, según indica la norma UNE-EN ISO 14731.

#### 94.5 Preparación y ejecución de la soldadura.

##### 94.5.1 Preparación de bordes.

La preparación de bordes de las piezas a unir con soldadura a tope tiene por objeto asegurar la penetración, parcial o completa, adaptándose a las diferentes condiciones de tipo técnico y económico existentes en cada caso concreto. La superficie de las piezas y los bordes propiamente dichos estarán exentos de fisuras y entalladuras visibles.

En soldaduras de ángulo, la distancia entre elementos a unir deberá considerarse para la aplicación del correspondiente procedimiento de soldeo y el cálculo del espesor de garganta existente.

Las superficies a soldar estarán secas y libres de cualquier material que pueda afectar negativamente a la calidad de la soldadura. La imprimación puede admitirse si el procedimiento de soldeo ha sido cualificado con ella.

La preparación de bordes forma parte del procedimiento de soldeo. La elección del tipo adecuado es responsabilidad del coordinador de soldeo. En la norma UNE-EN ISO 9692-1 se indican los tipos más recomendables para varios procedimientos.

Las desviaciones de forma y ajuste entre caras deben ser inferiores a las admisibles indicadas en el procedimiento de soldeo particular. Cualquier corrección de defecto debido a entalladura o error en la geometría de la junta mediante recargue de soldadura debe estar soportado por un procedimiento de soldeo. En todo caso, la zona afectada debe ser amolada, quedando su superficie lisa y enrasada con el resto de la pieza. En clases de ejecución 3 y 4 se debe amolar siempre la superficie de corte.

##### 94.5.2 Almacenamiento de consumibles.

El material de aportación, electrodos o hilo deberá ser almacenado y manipulado de acuerdo con las instrucciones del fabricante, especialmente los de revestimiento básico susceptibles de deterioro por la humedad. Cualquier defecto o daño en forma de fisuración o descamación del revestimiento de oxidación del hilo implicará el rechazo. La norma UNE-EN ISO 3834 incluye un punto en el que desarrolla la actividad de almacenamiento de consumibles y material base.

##### 94.5.3 Protección contra la intemperie.

Tanto las piezas a soldar como el soldador deberán estar protegidos del viento, nieve y lluvia, especialmente cuando el proceso de soldeo se realice con protección de gas. En general, es recomendable que todas las actividades de soldadura se lleven a cabo en taller. Las superficies a soldar deben mantenerse secas y libres de condensación.

Se adoptarán medidas adecuadas que permitan la realización de soldaduras en condiciones similares a las soldaduras de taller cuando las mismas se realicen en campo.

#### 94.5.4 Montaje para el soldeo.

Las piezas a soldar deberán estar alineadas y correctamente posicionadas manteniendo su inmovilidad durante el soldeo. Para ello pueden utilizarse soldaduras de punteo entre ellas o bien dispositivos externos, tales como plantillas o gálibos de armados con medios adecuados de fijación.

Se deberá tener en cuenta la contracción longitudinal y transversal que experimentan las soldaduras durante el enfriamiento. A tal fin, la citada posición relativa inicial entre piezas debe ser tal, que el resultado final cumpla con las tolerancias dimensionales del Anejo 16. En todo caso puede recurrirse al enderezado que se indica en el apartado 94.5.13.

Para la fijación durante el montaje, debe evitarse la unión a los gálibos de armado u otras piezas exteriores mediante soldadura de punteo, ya que puede dar lugar a tensiones residuales por deformación coartada durante el enfriamiento. No deben realizarse soldaduras adicionales, taladros o rebajes que no estén definidos en los planos.

El hecho de hacer compatible las tolerancias dimensionales con el plan de soldeo de conjuntos de elementos puede obligar a establecer secuencias de ejecución, en las que algunas barras de arriostrados o secundarias sean montadas en último lugar.

#### 94.5.5 Precalentamiento.

El precalentamiento de las superficies de los elementos a unir tiene por objeto modificar el tiempo de enfriamiento, de modo que se reduzca la probabilidad de formación de componentes frágiles en el material de aportación y en la zona afectada por el calor del material base. El precalentamiento puede resultar necesario con grandes espesores o con aceros de alto contenido de carbono equivalente. En todo caso, deberá constar como parte del plan de soldeo, si así se requiere. Su definición será responsabilidad del coordinador de soldeo y la temperatura será, como mínimo, la especificada en el procedimiento de soldeo.

La extensión de la temperatura predeterminada para el precalentamiento alcanzará por lo menos 75 mm a cada lado de los elementos a unir. La temperatura de precalentamiento deberá ser medida a 75 mm del borde del bisel o junta de chapas (para el caso de las uniones en ángulo).

El precalentamiento deberá realizarse de modo que se garantice la efectividad del mismo, considerándose efectividad a alcanzar una temperatura homogénea en todo el espesor de la chapa y en la franja de 75 mm a cada lado de la misma.

Se deberá precalentar utilizando métodos que no focalicen excesivo calor en un punto concreto. Esto es, se utilizarán bocas de oxigas aptas para la aplicación, mantas térmicas, los denominados tubos de propano (mecheros). No se deberán utilizar sopletes diseñados para realizar el corte térmico (oxicorte), ni lanzas térmicas diseñadas para su empleo en el enderezado de chapas.

Las soldaduras de punteo, en uniones que requieran precalentamiento, también deberán ser precalentadas. Asimismo se debe considerar la conveniencia del precalentamiento en el caso de elementos de espesores muy diferentes entre sí.

El método a emplear para el cálculo de la temperatura de precalentamiento deberá detallarse en el plan de soldadura.

La norma de homologación del procedimiento de soldadura UNE-EN ISO 15614-1, establece unos valores máximos admisibles de dureza HV10, en función del tipo de acero y su estado de suministro, para la aceptación del test de dureza en una homologación. Se deberá seguir el criterio de dicha norma a la hora de aceptar una soldadura, en el caso en el que se inspeccione el valor de dureza de la misma o de su ZAT (Zona Afectada Térmicamente). Para ello se recomienda realizar una inspección por el método Brinell, ya que el tamaño de la bola de indentación absorbe las pequeñas irregularidades superficiales

o faltas de planeidad de la propia chapa, típicos de un proceso de soldeo. Podrá utilizarse posteriormente la conversión de durezas según tablas a HV10.

En algunos procesos, como el 783 «Soldadura de espárragos por arco inducido con férula cerámica o gas de protección» y el 784 «Soldeo de espárragos por arco inducido de ciclo corto» de la norma UNE-EN ISO 4063, puede superarse ese valor, si así se hace constar en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

#### 94.5.6 Uniones temporales.

Si por facilidad constructiva o de montaje es necesario recurrir a uniones provisionales mediante soldaduras de punteo, estas se situarán de modo que puedan ser eliminadas posteriormente sin dañar a la pieza definitiva.

Todas las soldaduras de uniones provisionales, se ejecutarán de acuerdo con instrucciones específicas. En el caso de que deban ser eliminadas mediante corte o cincelado, la superficie del metal base debe quedar lisa por amolado.

Una vez eliminadas las uniones provisionales deberá procederse a la inspección de las zonas afectadas para garantizar la inexistencia de defectos.

Esta última precaución será especialmente necesaria en el caso de estructuras sometidas a cargas de fatiga. En este caso es obligatoria la eliminación de las uniones provisionales en estructuras de clase 4 y 3.

#### 94.5.7 Soldaduras de punteo.

Como medio de fijación de elementos entre sí para mantener la posición durante el soldeo se pueden utilizar este tipo de soldaduras. La longitud mínima debe ser el menor valor entre cuatro veces el espesor de la parte más gruesa y 50 mm.

#### 94.5.8 Soldaduras en ángulo.

En procesos automáticos, las condiciones de ejecución de estas soldaduras estarán contempladas en el procedimiento de soldeo. Si fuesen a formar parte de una soldadura definitiva, su forma será la apropiada para tal fin. En los procedimientos manuales, los soldadores que ejecuten este tipo de soldaduras también deberán estar cualificados según se indica en el apartado 94.4.2 para Soldaduras en ángulo.

Los elementos a unir mediante cordones de soldadura en ángulo han de estar en contacto lo más estrecho posible.

El espesor de garganta y la longitud del cordón no deberán ser inferiores a los indicados en el proyecto, teniendo en cuenta el uso de electrodos de gran penetración o el caso de penetración parcial, según sea el detalle indicado.

#### 94.5.9 Soldaduras a tope.

##### 94.5.9.1 Generalidades.

El acabado de la superficie de cordones de soldaduras a tope debe ser tal que garantice una soldadura sana en ausencia de concavidad y convexidad tal y como se indica en la norma UNE-EN ISO 5817. Los niveles de calidad de la soldadura son los recogidos en el apartado 94.6.

El coordinador de soldeo debe indicar cuándo es necesario recurrir a piezas adicionales de prolongación del cordón para garantizar que en el extremo exterior de un cordón se mantiene el espesor de garganta, evitando los cráteres producidos por el cebado y el corte de acero. Estas piezas adicionales se pueden utilizar para eventuales ensayos destructivos.

Una vez ejecutadas las soldaduras, tanto las piezas adicionales de prolongación como cualquier otro elemento complementario serán eliminadas.

Si se requiere una superficie lisa, deberá eliminarse cualquier sobre-espesor o bombeo en el acabado de la superficie de los cordones a tope. Esto puede resultar necesario por motivos estéticos o para atenuar el efecto de cargas de fatiga.

#### 94.5.9.2 Soldaduras por un solo lado.

Las soldaduras de penetración completa por una sola cara pueden realizarse indistintamente con o sin chapa dorsal (chapa de respaldo). La susodicha chapa dorsal puede consistir en una placa de respaldo permanente solo en caso de que el pliego de prescripciones técnicas particulares así lo permita y los requisitos correspondientes consten en el proceso de soldadura homologado al efecto.

La chapa dorsal debe estar fijada estrechamente al metal base y debe ser continua a lo largo del cordón de soldadura. En el caso de que la chapa dorsal sea de cobre, deberá quitarse al final de la soldadura, teniendo la precaución a lo largo de la misma de no cebar el arco en ella para que no se produzcan inclusiones de cobre que puedan inducir fisuras.

Las soldaduras con solo una cara accesible realizadas con chapa dorsal tienen el inconveniente de que pueden producirse efectos de entalladura en la zona de la raíz por lo que no son aptas para cargas de fatiga. Aunque el soldeo se efectúe por una sola cara, como en las preparaciones de borde en V y U, es recomendable depositar un cordón dorsal de raíz (cordón de respaldo) previo saneado de la misma.

#### 94.5.9.3 Toma de raíz.

En todas las soldaduras a tope en clases de ejecución 4 y 3 de penetración completa con caras accesibles se deberá sanear la raíz antes de depositar el cordón de cierre o el primer cordón de la cara dorsal. Este saneado se podrá realizar utilizando el ranurado por arco-aire/soplete, con el posterior esmerilado, o burilado con útiles redondeados y esmerilado.

Deberá practicarse hasta la suficiente profundidad para garantizar la penetración dentro del metal sano de aportación depositado previamente. El saneado debe conseguir un contorno en forma de U, con sus caras fácilmente accesibles para el cordón de toma de raíz.

#### 94.5.10 Soldaduras de ranura.

Las soldaduras de ranura se utilizan para unir chapas mediante cordones en ángulo depositados en los bordes de ojales practicados en la más exterior. La disposición y dimensiones de dichos ojales deberán figurar en los planos del proyecto.

La forma de las ranuras puede ser cuadrada, ovalada o circular. El ancho recomendable no debe ser superior a dos veces el espesor de la chapa, ni superior a siete veces dicho espesor, con la limitación razonable en cuanto a número de ojales, separaciones mutuas y a los bordes que permita una fácil ejecución de la soldadura.

No es recomendable utilizar este tipo de unión en estructuras sometidas a cargas dinámicas o de fatiga (clases 4 y 3).

A menos que lo indique explícitamente el pliego de prescripciones técnicas particulares, no debe rellenarse con soldadura todo el hueco libre después de realizado el cordón en ángulo del contorno. Este tipo de remate, denominado soldadura de tapón, es si cabe más perjudicial frente a cargas dinámicas o de fatiga, y solamente debe realizarse previa inspección del cordón en ángulo del contorno.

#### 94.5.11 Soldadura de conectadores.

Los conectadores (espárragos) cumplirán la norma UNE-EN ISO 13918 y se situarán en zonas libres de herrumbre, cascarilla de laminación y grasa, y en caso de que la superficie esté pintada, se levantará y eliminará completamente, a menos que el procedimiento de soldeo haya sido cualificado con ese sistema de protección particular.

Los conectadores pueden soldarse a través de chapa perfilada de acero conformada en frío en las vigas, cumpliendo los siguientes requisitos:

- Las chapas perfiladas no galvanizadas tendrán un espesor nominal inferior a 1,5 mm.
- Las chapas perfiladas galvanizadas tendrán un espesor nominal inferior a 1,25 mm y un espesor nominal de galvanizado en cada cara no superior a 30 micras.

- Las zonas donde se suelden los conectadores, incluso bajo chapas perfiladas y entre ellas, deben estar secas y libres de eventuales condensaciones.
- Las chapas deben estar en un contacto lo más estrecho posible con las vigas en el momento del soldeo. El procedimiento de soldeo deberá estar cualificado para una holgura límite máxima. No son aceptables holguras que superen 2 mm en ningún caso.
- A menos que el procedimiento de soldeo contemple esa opción no se aceptará practicar la soldadura en zonas de solape de chapas o afectando al borde de una de ellas.
- Los conectadores se situarán concentrados en el seno de una chapa o bien alternativamente a cada lado, si en el centro del seno discurre un pequeño nervio rigidizador.

#### 94.5.12 Tratamiento post-soldadura.

En estructuras sometidas a cargas de fatiga puede resultar ventajoso aplicar procedimientos de atenuación de tensiones residuales mediante tratamientos térmicos. En caso de que el pliego de prescripciones técnicas particulares prescriba este tratamiento, el mismo deberá estar contemplado en el plan de soldadura.

En cualquier caso, la cualificación de la especificación del proceso de soldadura (WPS) deberá realizarse con tratamiento post-soldadura (PWHT) y se seguirán los rangos establecidos en la norma de cualificación en lo referente a temperaturas.

El post calentamiento, en caso de aplicarse al objeto de facilitar la difusión de hidrógeno, no se considera tratamiento post-soldadura (PWHT).

#### 94.5.13 Enderezado.

Para cumplir con las tolerancias o por motivos estéticos, puede recurrirse a corregir las distorsiones, tanto en frío mediante prensa o máquinas de rodillo, como en caliente con llama por medio de aplicación local de calor. En este caso, se deberá establecer previamente la temperatura máxima que alcanzará el acero y el procedimiento de enfriamiento.

#### 94.5.14 Limpieza y saneado en la ejecución de soldaduras.

Debe evitarse la proyección de chispas erráticas por cebado del arco y, en caso de que se produzca, en las clases 4 y 3 se debe amolar la superficie afectada e inspeccionarla. Asimismo, deberá evitarse la proyección y salpicaduras de soldadura y eliminarlas en caso de que se produzcan. En cada pasada deben eliminarse la escoria y los defectos que se aprecien en la superficie antes de proceder a la siguiente.

En el plan de soldeo se debe contemplar cómo proceder para reparar soldaduras defectuosas y el rectificado y amolado de acabado superficial de las soldaduras.

#### 94.6 Criterios de aceptación de soldaduras.

Los elementos constituidos por soldaduras deben cumplir los requisitos de tolerancias indicados en el Anejo 16.

A menos que el pliego de prescripciones técnicas particulares indique otra cosa, los criterios de aceptación de soldaduras se basarán en la norma UNE-EN ISO 5817. Los niveles de calidad de dicha norma son D (moderado), C (intermedio) y B (elevado) y dependen de la gravedad y extensión de los defectos detectados. Para cada clase de ejecución se establecen los siguientes niveles, recogidos en la tabla 94.6.a.

Tabla 94.6.a Niveles de calidad de las soldaduras para las diferentes clases de ejecución

Clase 1.	Nivel D.
Clase 2.	Nivel C, en general, y nivel D para los defectos de mordedura (5.011, 5.012), solapamiento (506), cebado del arco (601) y rechupe de cráter abierto (2.025).

Clase 3.	Nivel B.
Clase 4.	Nivel B y requisitos complementarios (B+).

Los requisitos complementarios para la clase 4 de ejecución se indican en la tabla 94.6.b; se deben al hecho de que para esta clase de ejecución es necesario tener en cuenta aspectos relacionados con la fatiga. Para tableros de puente debe aplicarse además un conjunto de requisitos más severos.

Tabla 94.6.b Requisitos complementarios para la clase de ejecución 4

Tipo de defecto	Límite del defecto
Mordedura (5011 y 5012) <sup>(1)</sup>	No permitido
Exceso de sobrespesor (502) <sup>(1)</sup>	< 2 mm
Ángulo de sobrespesor (505) <sup>(1)</sup>	< 165°
Poros interno o sopladura (2011 a 2014) <sup>(1)</sup>	<0,1 del espesor de garganta; máx. 2 mm
Inclusión sólida (300) <sup>(1)</sup>	Ancho inferior a 0,1 del espesor de garganta; máx. 1 mm Largo inferior al espesor de garganta; máx. 10 mm
Falta de alineación (507) <sup>(1)</sup>	< 0,05 t; máx. 2 mm
Rechupe de raíz (515) <sup>(1)</sup>	No permitido

<sup>(1)</sup> Número de referencia según la norma UNE-EN ISO 6520-1. Clasificación de las imperfecciones geométricas en las soldaduras de materiales metálicos Parte 1: Soldeo por fusión.

Tabla 94.6.c Requisitos adicionales para tableros de puente<sup>a, b</sup>

Porosidad y sopladuras (2011, 2012 y 2014) <sup>(1)</sup>	Solo aceptables pequeños poros aislados
Sopladuras agrupadas (2013) <sup>(1)</sup>	Suma máxima de poros: 2 %
Sopladuras alargadas y sopladuras vermiculares (2015 y 2016) <sup>(1)</sup>	Sin poros largos
Abertura de raíz incorrecta para soldaduras en ángulo (617) <sup>(1)</sup>	Soldaduras transversales a ensayar totalmente, aceptables los pequeños rechupes de raíz solo localmente $h \leq 0,3$ mm, + 0,1 a, pero máx. 1 mm
Discontinuidades múltiples en una sección transversal (n.º 4.1)	Prohibidas
Inclusiones sólidas (300) <sup>(1)</sup>	Prohibidas

<sup>a</sup> Los símbolos se definen en la norma UNE-EN ISO 5817.

<sup>b</sup> Estos requisitos son adicionales para B+.

<sup>(1)</sup> Número de referencia según la norma UNE-EN ISO 6520-1. Clasificación de las imperfecciones geométricas en las soldaduras de materiales metálicos. Parte 1: Soldeo por fusión.

En el caso de que se supere alguna de las anteriores limitaciones, se deberá proceder a una evaluación particular. Se tendrá en cuenta la función y nivel tensional del elemento afectado y las características del defecto (tipo, tamaño, situación) para decidir si la soldadura puede ser aceptada o bien hay que proceder a su reparación. Puede recurrirse a una evaluación mediante cálculo para juzgar la aceptación de un defecto.

## Artículo 95. *Tratamientos de protección.*

### 95.1 Generalidades.

Este artículo se aplicará tanto a las estructuras tratadas en taller como en obra. El pliego de prescripciones técnicas particulares debe definir el sistema de protección contra la corrosión y los requisitos adicionales para obtener unas condiciones de servicio acordes con la vida útil de la estructura y el plan de mantenimiento, de acuerdo con los criterios establecidos en el artículo 24, teniendo en cuenta la clase de exposición (apartado 80.1) y grado de exposición de los diferentes componentes. El diseño en cuanto a tipo de elementos y detalle de uniones debe evitar zonas donde pueda depositarse humedad y suciedad, tanto en elementos interiores como en aquellos directamente expuestos al exterior.

Se deberá cuidar especialmente el drenaje de las cubiertas y fachadas, de modo que la estructura quede lo más protegida posible.

Deberá considerarse conjuntamente el tratamiento de protección frente a incendio, ya que los requisitos del mismo pueden determinar un grado de defensa frente a la corrosión muy superior al estrictamente necesario, especialmente en el caso de pinturas intumescentes y morteros proyectados.

### 95.2 Preparación de las superficies.

La superficie de los elementos se limpiará y preparará de forma adecuada al tratamiento de protección correspondiente. En principio, deben eliminarse la suciedad, cascarilla de laminación, restos de escoria de soldaduras y también la grasa y la humedad superficial. Si existieran revestimientos anteriores, deben ser igualmente eliminados.

Las normas aplicables son las normas UNE-EN ISO 8504-1 y UNE-EN ISO 8504-2 para el chorreado y la norma UNE-EN ISO 8504-3 para la limpieza mecánica y manual.

Los métodos de preparación deberán obtener el grado de rugosidad definido en el pliego, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8503, partes 1 a 5. Las instalaciones de chorreado fijas deberán inspeccionarse periódicamente. Para facilitar la inspección, es necesario conocer el estado inicial de la superficie de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8501-1.

La preparación de las superficies en obra debe ser realizada en condiciones ambientales tales que no perjudiquen la calidad del acabado. Por tanto, no se realizarán en tiempo lluvioso, ni con humedad superior al 85 %, ni con temperaturas bajas que puedan producir condensaciones. La temperatura del sustrato a pintar deberá estar 3°C por encima de la del punto de rocío del ambiente. Se deberán tomar las precauciones oportunas para no dañar a otras superficies.

La preparación de las superficies en taller, cuando se realice mediante métodos abrasivos, debe ir seguida de una escrupulosa eliminación de polvo, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 8502-3 y de la aplicación de una imprimación de secado rápido que no altere las fases siguientes.

### 95.3 Métodos de protección.

#### 95.3.1 Metalización.

En este método, la protección se consigue mediante proyección de cinc o aluminio pulverizado, realizado según la norma UNE-EN ISO 2063.

Las superficies metalizadas deben ser tratadas con una imprimación anticorrosiva especial, de naturaleza sellante y tapaporos, para evitar la formación de ampollas antes de revestirse de pintura.

#### 95.3.2 Galvanización en caliente.

La protección mediante galvanización en caliente consiste en la formación de un recubrimiento de cinc o aleaciones de cinc-hierro, por inmersión de las piezas y elementos

fabricados con hierro y acero en un baño de cinc fundido a una temperatura de 450°C. La norma que rige estos recubrimientos es la UNE-EN ISO 1461.

Cuando se diseñe un elemento que vaya a protegerse mediante galvanización en caliente, es importante tener en cuenta algunos requisitos, como pueden ser las dimensiones de dichos elementos, que deben adecuarse al tamaño de los crisoles de galvanización, si bien, en algunos casos en los que el tamaño de la pieza sea mayor que el de los baños disponibles, pueden sumergirse parcialmente y después darles la vuelta para introducir la parte no tratada.

La preparación superficial de los elementos a galvanizar debe incluir la limpieza de todos los contaminantes superficiales que no puedan ser eliminados mediante el decapado, como es el caso de las grasas, pinturas, escorias de soldadura, etc.

En la norma UNE-EN ISO 14713 (Anexo A) se relacionan detalladamente las diferentes cuestiones de diseño que se deben tener en cuenta para obtener un recubrimiento adecuado y de calidad.

En el caso de que tengan que soldarse elementos que ya hayan sido galvanizados o restaurar aquéllos que tengan pequeños defectos de galvanización, existe la posibilidad de restaurar la zona afectada del recubrimiento mediante proyección térmica de cinc (según la norma UNE-EN ISO 2063) o mediante una pintura rica en cinc de elevado contenido en cinc metálico en la película seca (mínimo 80 % en masa). Los tipos de pintura más adecuados para esta finalidad son los que tienen ligantes epoxídicos, de poliuretano (1 componente) de secado al aire y de silicato de etilo (1 componente) de secado al aire.

En el caso de que el sistema protector especifique un pintado posterior de las superficies galvanizadas, es necesario que estas estén adecuadamente tratadas mediante desengrase y un posterior tratamiento de imprimación para asegurar el anclaje de las pinturas, según la norma UNE-EN ISO 12944-4. Por último, se aplican capas bases y de acabado en función de la agresividad del medio, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 12944-5 (tabla A7).

Como complemento de la galvanización, se pueden usar pinturas en polvo de polimerización en horno de acuerdo con las normas UNE-EN 13438 y UNE-EN 15773.

Los elementos realizados a base de chapa galvanizada por procedimiento en continuo (espesores de hasta 3 mm) según la norma UNE-EN 10346, deben especificarse en un espesor o masa del recubrimiento adecuado a la categoría de corrosividad ambiental, según la norma UNE-EN ISO 14713.

### 95.3.3 Pintado.

El pliego de prescripciones técnicas particulares deberá definir, para cada zona de la estructura metálica a proteger mediante un sistema de pintado (exterior, interior accesible, zonas inaccesibles, etc.), en función de la clase de exposición (apartado 80.1). Así mismo deberá definir la durabilidad requerida para el sistema de protección mediante pinturas.

En base a dichas clases de exposición y durabilidad especificadas, el pliego de prescripciones técnicas particulares deberá definir el sistema de tratamiento, detallando como mínimo los siguientes aspectos:

- Preparación de las superficies.
- Tipo y espesor de la capa de imprimación anticorrosivo.
- Tipo y espesor de capas intermedias.
- Tipo y espesor de capas de acabado.
- Tipo de pintura para retoques y repasos.

La pintura debe ser aplicada de acuerdo con la hoja de datos del fabricante del producto.

Se deberá comprobar previamente que el estado de la superficie es el previsto en la fase anterior, es decir, tanto el grado de limpieza y rugosidad para una capa de imprimación, como el curado, compatibilidad y naturaleza de la capa previa para capas posteriores.

Las distintas pinturas que constituyen un sistema de pintado deben ser compatibles entre sí. Es recomendable utilizar productos de un mismo fabricante. En caso contrario, deberá asegurarse la compatibilidad entre productos de distintos fabricantes.

En el plan de obra deben establecerse las fases de aplicación de la protección, considerando adecuadamente el resto de las actividades. En el caso de realizarse el pintado en obra, los elementos deberán ser imprimados en taller con un espesor mínimo que impida la oxidación incipiente antes del montaje, ante la eventualidad de un acopio o almacenamiento prolongado.

Para facilitar el control, es aconsejable que cada capa tenga un color o matiz diferenciado, según la norma UNE 48103.

Una vez ejecutada y retocada la superficie, debe respetarse estrictamente el período de secado y endurecimiento que aconseje el fabricante frente a un eventual contacto con agua.

En zonas de repasos de zonas soldadas o zonas dañadas en taller o en obra, deberá especificarse el sistema de pintado a aplicar, definiendo capa a capa, en función de la magnitud del daño, el número de capas a reponer, así como las dimensiones mínimas y máximas del solapo del repaso sobre zonas correctamente protegidas. Asimismo el sistema deberá definir la preparación superficial requerida.

#### 95.4 Requisitos especiales.

Las superficies de elementos de acero que vayan a quedar en contacto con hormigón no será necesario protegerlas, con excepción de los 50 mm más próximos a los bordes, siempre que a su vez no sea previsible que los procesos de carbonatación del hormigón puedan alcanzar a dicha superficie metálica. Únicamente requieren un cepillado de eliminación de cascarilla de laminación, suciedad y grasa. En caso de venir con imprimación desde taller, no necesitan ninguna operación adicional. Se deberá sellar el contacto entre el hormigón y el acero con un producto adecuado en los casos en que dicha interfase pueda ser susceptible de entrada de agua o suciedad.

Las superficies que vayan a transmitir esfuerzos por rozamiento y las que alojen tornillos pretensados deberán satisfacer los requisitos propios de las superficies de contacto indicadas en el apartado 93.8.

Deberá evitarse el daño o contaminación de estas superficies durante el transporte y montaje mediante una adecuada cobertura de protección impermeable.

Las inspecciones de uniones atornilladas se deben realizar antes de la aplicación de la pintura en obra.

Las uniones mediante soldadura se deberán realizar en franjas sin pintura de 150 mm de ancho, o bien con capa de imprimación compatible. La soldadura y la parte adyacente deberá pintarse una vez se haya eliminado completamente la escoria y se haya aceptado la unión.

Debe preverse la dificultad de pintado de elementos inaccesibles y proceder a su ejecución antes del montaje. En el pliego de prescripciones técnicas particulares debe indicarse si los perfiles cerrados o tubulares requieren tratamiento interno o no. En el caso de que la estanqueidad quede asegurada por las soldaduras estructurales o bien mediante soldaduras de sellado de extremos, se considerará que el espacio interior queda protegido previa aceptación de dichas soldaduras. Para las soldaduras de sellado solamente se requiere inspección visual. Deben tomarse precauciones especiales de estanqueidad en los elementos de fijación que atraviesen elementos en cajón o tubulares sellados.

Los perfiles cerrados o tubulares quedan igualmente protegidos por sus superficies internas cuando se protegen mediante galvanización en caliente, lo que, por otra parte, puede hacer innecesario el sellado de sus extremos.

#### 95.5 Protección de elementos de fijación.

Los elementos de fijación y anclaje deberán suministrarse con una protección adecuada a la clase de exposición ambiental.

La protección más adecuada para los elementos de fijación que vayan a utilizarse con estructuras protegidas mediante galvanización en caliente o proyección térmica de cinc es también la galvanización en caliente, según UNE-EN ISO 1068, con objeto de garantizar la ausencia en la unión de posibles fenómenos de corrosión por pares galvánicos.

Cualquier protección suplementaria a aplicar en obra se llevará a cabo una vez inspeccionada la unión. Los pernos de anclaje no requieren ningún tratamiento, a menos que así lo indique el pliego de prescripciones técnicas particulares.

#### 95.6 Tratamientos de protección de aceros patinables.

Las superficies de aceros patinables deberán obligatoriamente prepararse en taller para favorecer el desarrollo adecuado de su mecanismo de autoprotección, bajo ciclos alternados secos y húmedos, tras su exposición a la intemperie. Las condiciones de uso de este tipo de aceros se establecen en los apartados 83.2.3 y 87.2.

En estos casos, el tratamiento superficial se hará siempre en taller mediante chorreado, generalmente con agua a presión, para garantizar un color homogéneo y una textura uniforme, eliminando todo resto de cascarillas de la calamina de laminación.

Se deberán adoptar las medidas o detalles constructivos oportunos para que, durante el proceso de estabilización de la autoprotección, las escorreduras de óxido por agua de lluvia no lleguen a contaminar o afectar a la apariencia o durabilidad del resto de la estructura, principalmente de los elementos de hormigón.

Debe tenerse en cuenta que no es posible aplicar sobre este tipo de aceros los mismos sistemas de protección pasiva contra incendios que en los aceros de la norma UNE-EN 10025.

## CAPÍTULO 22

### Gestión de la calidad del proyecto de estructuras de acero

Artículo 96. *Criterios específicos para el desarrollo del control de proyecto en las estructuras de acero.*

#### 96.1 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 Anexo 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 96.1.

Tabla 96.1 Frecuencia de comprobación de los elementos según el nivel de control adoptado

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
Elementos de contención y tablestacas.	10%	20%	Al menos 3 secciones diferentes.
Anclajes al terreno.	15%	30%	Al menos 3 anclajes.

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
Pilares y pilas de puente.	15 %	30 %	Mínimo 3 tramos.
Jácenas.	10 %	20 %	Mínimo 3 jácenas de al menos dos vanos.
Vigas.	10 %	20 %	Mínimo dos vanos En cada vano mínimo una viga interior y una viga de borde.
Cajones.	10 %	20 %	Mínimo dos vanos, uno extremo y otro interior.
Losas ortótropas.	10 %	20 %	Al menos 4 rigidizadores de la chapa del tablero, uno de borde y otro interior, ambos en un vano local extremo y en un vano local tipo Verificación de la chapa rigidizada, mínimo 3 módulos y al menos uno por vano de flexión local tipo.
Celosías.	10 %	20 %	Mínimo dos elementos tipo por vano: cordón superior, cordón inferior, diagonales, nudos, arriostramientos, etc.
Arcos, pórticos y bóvedas.	15 %	30 %	Mínimo un tramo.
Mamparos o riostras de zonas de apoyo.	15 %	30 %	Al menos 1 por tipo.
Celosías o diafragmas intermedios de rigidización.	10 %	20 %	Al menos 1 por tipo.
Rigidizadores longitudinales y transversales (vigas o cajones).	10 %	20 %	Al menos 1 por tipo, y todos los de cambio de canto o puntos con quiebros.
Paneles rigidizados. Control de abolladura.	15 %	30 %	Al menos 3 recuadros por tipo.
Detalles de soldaduras en ángulo, a penetración parcial o total.	10 %	20 %	Al menos 1 por tipo.
Costillas de voladizos.	15 %	30 %	Al menos 1 de borde y una intermedia.
Brochales o puntales.	10 %	20 %	Mínimo 3 brochales o puntales.
Escaleras.	10 %	20 %	Al menos dos tramos.
Conectores de elementos metálicos con hormigón.	10 %	20 %	Analizar al menos tres tramos de cada tipo de conexión (con losa superior e inferior).
Elementos singulares: anclajes de tendones de pretensado exterior, anclajes de tirantes o péndolas, nudos de empalme con elementos de hormigón, etc.	15 %	30 %	Al menos 1 por tipo.
Cuñas, basas o rigidización local de apoyos y zonas de sustitución de apoyos.	15 %	30 %	Al menos 1 por tipo.

Tipo de elemento	Nivel de control		Observaciones
	normal	intenso	
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.

No obstante lo anterior, se comprobará el 100% de los elementos sometidos a fatiga y a torsión principal y, en general, los elementos que sean susceptibles de roturas frágiles, que sean susceptibles de fenómenos de fatiga o que contengan nudos complejos, transiciones complicadas en geometría, etc.

#### 96.2 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, cuyo contenido será equivalente al definido para las estructuras de hormigón en el apartado 55.2.

## CAPÍTULO 23

### Gestión de la calidad de los productos en estructuras de acero

#### Artículo 97. *Control de los productos de acero.*

##### 97.1 Comprobación de la conformidad.

La conformidad de los productos de acero con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en obra e incluirá la comprobación de sus características mecánicas y geométricas, además de cualquier otra característica, que en su caso, establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares.

En el caso de productos que deban disponer del marcado CE según el Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán evaluarse de conformidad con la norma armonizada que le sea aplicable. Tal y como se recoge en el citado Reglamento, el fabricante del producto entregará la declaración de prestaciones y el marcado CE y 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 según lo especificado en la norma armonizada y de ponerla a disposición de quien la solicite con el fin de que, a su vez, pueda pasar esta garantía al usuario final de la obra o del producto en que se incorporen, facilitando para ello la documentación que incluya la información que avale dicha garantía.

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 el 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.

En el caso de que el proyecto establezca que los productos de acero dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se comprobará que los productos los poseen y que son de conformidad con el artículo 18 de este Código.

#### 97.2 Toma de muestras.

La dirección facultativa, por sí misma, a través de una entidad de control o un laboratorio de control, podrán efectuar la toma de muestras en la instalación en donde se encuentren los productos de acero. Salvo circunstancias excepcionales, la toma de muestras se efectuará preferiblemente en el taller antes del montaje de los elementos.

Podrán estar presentes durante la toma los representantes del constructor y del suministrador de los elementos.

La entidad o el laboratorio de control de calidad velarán por la representatividad de la muestra, no aceptando, en ningún caso, que se tomen muestras sobre productos que no se correspondan a los planos del proyecto, ni sobre productos específicamente destinados a la realización de ensayos. Una vez extraídas las muestras, se procederá, en su caso, al reemplazamiento de las partes de los elementos 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 suscribirán todas las partes presentes, quedándose con una copia de la misma. El tamaño de las muestras deberá ser suficiente para la realización de la totalidad de las comprobaciones y ensayos que se pretendan realizar. Todas las muestras se trasladarán para su ensayo al laboratorio de control tras ser correctamente precintadas e identificadas.

#### 97.3 Realización de los ensayos.

Cualquier ensayo sobre los productos de acero que decida el autor del proyecto o la dirección facultativa, se deberá efectuar de acuerdo con las indicaciones de éstos. En el caso del autor del proyecto, reflejará dichas indicaciones en el correspondiente pliego de prescripciones técnicas particulares.

### Artículo 98. *Control de los medios de unión.*

#### 98.1 Control de la conformidad los tornillos, tuercas, arandelas y bulones.

Los tornillos, tuercas y arandelas y bulones incluidos en los apartados 85.2, 85.3 y 85.4, deberán cumplir los requisitos establecidos al efecto en los respectivos apartados. En otros casos, deberán cumplir las especificaciones que se establezcan al efecto en el respectivo pliego de prescripciones técnicas particulares.

Para aquellos tornillos que estén afectados por el marcado CE en base al Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, el fabricante presentará la declaración de prestaciones y el marcado CE.

Para aquellos productos que no tengan marcado CE, la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo establecido en el artículo 18 de este Código, se entiende como suficiente para avalar la conformidad del medio de unión suministrado sin efectuar ensayos específicos.

Cuando un producto no tenga marcado CE o no disponga de distintivo de calidad oficialmente reconocido, se considerará un lote de tornillos, tuercas, arandelas, por cada uno de los grados y clases de tornillo que se empleen en la obra.

El control de las características de los tornillos, tuercas y arandelas se efectuará por atributos (dimensiones y características mecánicas, además de las características funcionales del conjunto) sobre al menos diez muestras, mediante los ensayos establecidos en este Código o, en su caso, por el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Los ensayos de los tornillos se deberán realizar según la norma UNE-EN ISO 898-1, las tuercas según UNE-EN ISO 898-2, y para las arandelas la norma de producto aplicable.

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, se procederá a rechazar el lote.

## 98.2 Control del material de aportación para las soldaduras.

El material de aportación utilizado para la realización de las soldaduras deberá cumplir las exigencias de aptitud al procedimiento de soldeo y de compatibilidad con el acero del producto de base que define el apartado 85.5 de este Código, así como presentar la declaración de prestaciones y ostentar el marcado CE de conformidad con la parte armonizada de la norma UNE-EN 13479.

La dirección facultativa deberá comprobar que la declaración de prestaciones del material de aportación para las soldaduras sea conforme con las especificaciones del proyecto.

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 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.

## Artículo 99. *Control de los sistemas de protección.*

### 99.1 Especificaciones.

Los sistemas de protección deberán cumplir las prescripciones establecidas en los apartados 86.3 y 86.4 en función de la clase de exposición a la que vaya a estar sometido el elemento estructural.

Todo suministro de material, deberá acompañarse de un certificado de garantía del fabricante, específico para la obra y firmado por persona física.

### 99.2 Realización de ensayos.

Los ensayos se efectuarán sobre probetas que cumplan las siguientes condiciones:

- que sean del mismo tipo de acero que el que se vaya a emplear en la obra,
- en su caso, que tenga el mismo recubrimiento de cinc que se vaya a utilizar,
- que presente un tamaño mínimo de 150x70 mm<sup>2</sup>,
- que presente un espesor no inferior a 2 mm y compatible con el ensayo que se pretenda efectuar,
- que cumplan las condiciones de preparación y estado superficial prescritas en la norma UNE-EN ISO 12944-6,
- para superficies galvanizadas en caliente aplica la norma UNE-EN ISO 1461,
- para superficies sometidas a metalización con cinc, la norma UNE-EN ISO 2063.

En los sistemas de protección que no posean un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo indicado en el artículo 18, para la realización de los ensayos, se procederá a la división en lotes de los sistemas de protección. Se considerará un lote para cada conjunto de sistemas de protección y tipo de acero empleado en la obra. El número de probetas a ensayar será al menos de tres por cada lote.

Los ensayos sobre los sistemas de pintura se efectuarán de acuerdo con los métodos definidos en el apartado 86.3.

En cuanto a la galvanización en caliente, en el caso de que el suministro del material se acompañe de un certificado de garantía del galvanizador, específico para la obra y firmado por persona física, la dirección facultativa podrá eximir de la realización de los correspondientes ensayos. La realización de ensayos, en su caso, se efectuará mediante los procedimientos establecidos en la norma UNE-EN ISO 1461, así como los que se recojan específicamente en el programa de control o el pliego de prescripciones técnicas

particulares. Para las superficies sometidas a metalización con cinc, los ensayos se realizarán conforme a lo indicado en la norma UNE-EN ISO 2063.

### 99.3 Criterios de aceptación o rechazo.

La posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido conforme a lo establecido en el artículo 18, se entiende como suficiente para avalar la conformidad del sistema de protección suministrado sin efectuar ensayos específicos.

Los ensayos sobre los sistemas de pintura, se considerarán conformes con las especificaciones cuando:

– Antes del ensayo, la clasificación obtenida por la probeta de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 2409 es 0 o 1. Cuando el espesor de la película seca del sistema de protección es mayor que 250  $\mu\text{m}$ , este requisito debe sustituirse por la inexistencia de desprendimiento de la pintura del sustrato en el ensayo de adherencia según UNE-EN ISO 4624, a menos que los valores de la tracción sean mayores o iguales a 5 MPa.

– Después del ensayo, con la duración en horas indicadas en el apartado 86.3, según el caso, para la clase de exposición y grado de durabilidad exigidos, la probeta no presenta defectos según los métodos de evaluación establecidos en las partes 2 a 5 de la norma UNE-EN ISO 4628, y la clasificación obtenida de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 2409 sea 0 o 1. Cuando el espesor de la película seca del sistema de pintura es mayor que 250  $\mu\text{m}$ , se empleará la misma sustitución de este último requisito que la indicada en el apartado anterior. La evaluación de la condición tras el ensayo según UNE-EN ISO 2409 o según el ensayo sustitutivo se efectuará tras 24 horas de reacondicionamiento de la probeta.

Se considera que la probeta no presenta defectos, según el caso, cuando cumple los siguientes requisitos:

- Aplicando UNE-EN ISO 4628-2, cuando se presente ampollamiento 0 (S0).
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-3, cuando se presente óxido Ri 0.
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-4, cuando se presente agrietamiento 0 (S0).
- Aplicando UNE-EN ISO 4628-5, cuando se presente descamación 0 (S0).

Además, deberá comprobarse que, una vez efectuado un envejecimiento artificial, conforme a la norma UNE-EN ISO 9227, no existe ningún avance de corrosión del sustrato, a partir de la incisión, que sea superior a 1 mm, determinado de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 12944.

En la evaluación de defectos anteriormente citada, no se tendrán en cuenta aquéllos que se produzcan a menos de 10 mm de los bordes de la probeta.

En cuanto a la galvanización en caliente y a la metalización con cinc, la presentación a la dirección facultativa del certificado de garantía al que hace referencia el apartado 99.1 permitirá la aceptación del correspondiente lote. En el caso de efectuarse ensayos para comprobar la conformidad del lote, se seguirán los criterios establecidos al efecto en el programa de control o el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra.

### Artículo 100. *Control de estructuras componentes.*

La conformidad de las estructuras componentes con lo establecido en el proyecto se comprobará durante su recepción en obra e incluirá la comprobación de sus características mecánicas y geométricas, además de cualquier otra característica, que en su caso, establezca el pliego de prescripciones técnicas particulares.

Al disponer estos productos del mercado CE según el Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán comprobarse de conformidad con la norma armonizada UNE-EN 1090-1. Tal y como se recoge en el citado Reglamento, el fabricante del producto entregará la declaración de prestaciones y el mercado CE y 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 ponerla a disposición de quien la solicite con el fin de que, a su vez, pueda pasar esta garantía al usuario final de la obra o del producto en que se incorporen, facilitando para ello la documentación que incluya la información que avale dicha garantía. 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 el 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.

## CAPÍTULO 24

### **Gestión de la calidad de la fabricación y ejecución de estructuras de acero**

Artículo 101. *Programación del control de las estructuras de acero.*

La organización del control de la fabricación y ejecución de las estructuras de acero deberá seguir los criterios establecidos en el capítulo 5 y, en particular, la programación del control de la fabricación y ejecución deberá respetar los criterios establecidos en el artículo 22.

El control de la fabricación y ejecución estará ligado al nivel de control de la ejecución (acorde con lo definido en el apartado 22.4) y a la clase de ejecución (acorde con lo definido en el apartado 14.3).

El control de la fabricación y 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.

#### 101.1 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.

Para cada lote de ejecución se identificarán la totalidad de actividades o procesos susceptibles de ser inspeccionados, así como las frecuencias de las comprobaciones a realizar, tanto por el control del constructor como por el control de contraste de la dirección facultativa, en su caso.

En general, y salvo que el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto defina una división de la estructura o de sus elementos en lotes más adaptada a sus características específicas, o de sus elementos, los lotes de ejecución se definirán siguiendo los siguientes criterios generales:

- a) se corresponderán con partes sucesivas en el proceso de fabricación y montaje en taller y de ejecución de la obra,
- b) no se mezclarán elementos de tipología estructural distinta, que pertenezcan a filas diferentes en la tabla 101.1,
- c) el tamaño del lote no será superior al indicado, en función del tipo de elementos, en la tabla 101.1.

Tabla 101.1 Tamaño máximo de los lotes de ejecución

Tipo de obra	Tipo de elemento	N.º de elementos o dimensión
Edificación, chimeneas torres y depósitos	Pilares y elementos verticales.	500 m <sup>2</sup> de superficie, sin rebasar las dos plantas.
	Vigas, arriostramientos, elementos superficiales y forjados.	250 m <sup>2</sup> de superficie construida sin rebasar una planta.
Puentes	Alzados de pilas.	1 pila. 10 m de altura de pila.
	Alzados de estribos.	1 estribo.
	Tableros de puentes.	1 tramo o dovela sin rebasar el menor de 30 m o un vano completo.

En el caso de otros elementos diferentes de los indicados en la tabla 101.1, el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto establecerá los criterios necesarios para definir el tamaño máximo del lote de ejecución.

Se podrá optar por utilizar otra metodología para definir el tamaño máximo de los lotes de ejecución previa aprobación por parte de la dirección facultativa y siempre que el tamaño de los lotes resultantes no exceda lo indicado en la tabla 101.1.

#### 101.2 Unidades de inspección.

Para cada lote de ejecución, se identificará la totalidad de los procesos y actividades susceptibles de ser inspeccionadas, de acuerdo con lo previsto en este Código. Se contemplarán, como mínimo, los siguientes procesos:

- elaboración de planos de taller,
- definición de los procedimientos de fabricación, elaboración del programa y planos de montaje,
- gestión de acopios de materiales y productos,
- mecanización y manipulación de productos de acero en taller,
- cualificación de soldadores y de los procedimientos de soldeo,
- cualificación de procedimientos de fijación con elementos mecánicos,
- ensamblado y armado de elementos en taller, incluido el control dimensional,
- ejecución de uniones soldadas,
- ejecución de uniones con elementos mecánicos,
- colocación de conectadores en estructuras mixtas,
- ajustes, correcciones y acabados finales en taller,
- montaje en blanco,
- recepción de elementos a su llegada a obra,
- ensamblado de elementos en obra,
- replanteo y montaje de elementos en obra,
- ajustes, correcciones y acabados finales, y
- aplicación de tratamientos superficiales de protección anticorrosiva.

La dimensión o tamaño máximo de un proceso o actividad comprobable, en general, en una visita de inspección al taller o a la obra. En función de los desarrollos de procesos y actividades previstos en el plan de obra, en cada inspección al taller o a la obra, podrá comprobarse un determinado número de unidades de inspección, las cuales, pueden corresponder a uno o más lotes de ejecución.

Para cada proceso o actividad, se definirán las unidades de inspección correspondientes cuya dimensión o tamaño será conforme al indicado en la tabla 101.2.

Tabla 101.2 Unidades de inspección

Procesos de ejecución	Tamaño máximo de la unidad de inspección
Elaboración de planos de taller.	Planos correspondientes a cada elemento estructural.
Definición de los procedimientos de fabricación, elaboración del programa y planos de montaje.	Procedimientos de fabricación y programa y planos de montaje correspondientes a cada elemento estructural.
Gestión de acopios.	Acopio correspondiente a cada material, forma de suministro, fabricante y partida suministrada, que se empleen en cada lote de ejecución <sup>(1)</sup> .
Mecanización y manipulación de los productos de acero en taller.	Conjunto de productos destinados a cada elemento estructural.
Cualificación de soldadores y de los procedimientos de soldeo.	Cada uno de los soldadores, tanto en taller como en obra Cada uno de los procedimientos de soldeo <sup>(2)</sup> .
Cualificación de procedimientos de fijación con elementos mecánicos.	Cada uno de los tipos de fijaciones con elementos mecánicos.
Ensamblado y armado de elementos en taller, incluido el control dimensional.	Cada uno de los elementos, principales o secundarios.
Ejecución de uniones soldadas.	Cada una de las soldaduras, en taller o en obra, acorde con el procedimiento de control y el porcentaje de control especificado en el PPI.
Ejecución de uniones con elementos mecánicos.	Cada una de las uniones ejecutadas mediante elementos mecánicos.
Colocación de conectadores en estructuras mixtas.	Los conectadores a colocar en una jornada de trabajo.
Ajustes, correcciones y acabados finales en taller.	Cada uno de los elementos.
Montaje en blanco.	Cada dovela, tramo o vano a montar en blanco.
Recepción de elementos a su llegada a la obra.	Cada elemento que llega a la obra.
Ensamblado de elementos en obra.	Cada unión a ejecutar en obra.
Replanteo y montaje de elementos en obra.	Cada elemento montado en obra.
Ajustes, correcciones y acabados finales.	Cada elemento montado en obra.
Aplicación de tratamientos superficiales de protección anticorrosiva.	Cada uno de los elementos fabricados en taller, para los tratamientos aplicados en taller Cada uno de los elementos montados en la obra, para los tratamientos aplicados en obra, en su caso.

<sup>(1)</sup> Un mismo acopio de material, procedente del mismo suministro, fabricante y partida, 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 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.

<sup>(2)</sup> Una cualificación del procedimiento de soldeo puede cubrir varios tipos de soldaduras, de acuerdo con los rangos de cualificación de la norma de aplicación correspondiente.

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 17 define las frecuencias de comprobación para las unidades de inspección de la fabricación y ejecución de estructuras de acero.

#### Artículo 102. *Comprobaciones previas al comienzo de la fabricación y ejecución.*

Antes del inicio de la ejecución de cada parte de la obra, la dirección facultativa deberá constatar que existe un programa de control, desarrollando el plan de control definido en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, tanto para los productos

como para la fabricación y ejecución, que haya sido redactado específicamente para la obra, conforme a lo indicado por el proyecto y lo establecido en este Código.

Cualquier incumplimiento de los requisitos previos establecidos, provocará el aplazamiento del inicio de la obra hasta que la dirección facultativa constate documentalmente que se ha subsanado la causa que dio origen al citado incumplimiento.

#### 102.1 Programa de puntos de inspección.

El programa de puntos de inspección (PPI) reflejará el conjunto de controles, inspecciones y ensayos a realizar en la fabricación y ejecución de la estructura de acero por los diferentes agentes de control implicados. El PPI formará parte del programa de control y en él se detallará al menos:

- las unidades de inspección, tanto en taller como en obra,
- el tipo de inspección y comprobaciones a realizar,
- los procedimientos o normas que regularán la verificación de la conformidad de cada inspección, así como las especificaciones de aceptación,
- la ubicación y frecuencia o intensidad de las inspecciones,
- la forma de documentación de los resultados,
- la designación de la persona responsable de la realización y firma de los diferentes controles o inspecciones,
- los puntos de espera o parada a respetar durante el proceso de control, y
- cualquier comentario u observación aclaratoria.

#### Artículo 103. *Control de la fabricación en taller y del montaje en obra.*

En el caso de productos que deban disponer del marcado CE según el Reglamento (UE) N.º 305/2011, de 9 de marzo de 2011, sus prestaciones en relación a las características esenciales deberán realizarse de conformidad con la norma armonizada UNE-EN 1090-1. 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 transmitir 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 el 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 conformidad de los procesos de fabricación en taller y de la ejecución y el montaje en obra incluirá las características mecánicas de los productos empleados, las características geométricas de los elementos, así como cualquier otra característica incluida en el proyecto o decidida por la dirección facultativa. Las consideraciones de este artículo son de aplicación independientemente de que el taller pertenezca o no a las instalaciones propias de la obra.

#### 103.1 Comprobaciones previas al inicio del suministro.

La dirección facultativa comprobará, antes del inicio del suministro, que el constructor ha comunicado el programa de obra, estableciendo las fechas límites para la recepción, en su caso, de los elementos elaborados en talleres ubicados fuera de las instalaciones de la obra.

Las comprobaciones previas al suministro de los elementos fabricados en taller ajeno a la obra tienen por objeto verificar la conformidad de los procesos y de las instalaciones que se pretenden emplear.

#### 103.1.1 Comprobación documental previa al suministro.

Además de la documentación general a la que hace referencia el capítulo 5, que sea aplicable a los elementos que se pretende suministrar a la obra, el suministrador, o en su caso el constructor, deberá presentar a la dirección facultativa la siguiente documentación:

- a) En su caso, documento que demuestre que el proceso de montaje en taller del elemento se encuentra en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- b) en su caso, documento que demuestre que los productos de acero empleados en la elaboración de los elementos se encuentran en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- c) en el caso de que se pretenda emplear procesos de soldadura:

- a. Certificados de cualificación de los soldadores asociados a los tipos de soldadura que vayan a realizar, en taller u obra, según UNE-EN ISO 9606-1;
- b. certificados de cualificación de los operadores de soldeo, según UNE-EN ISO 14732;
- c. especificaciones de los procedimientos de soldeo, WPS, para cada tipo de unión especificada; y
- d. certificados de cualificación de los procedimientos de soldadura:

– Para una clase de ejecución 3 o 4 la cualificación se hará acorde con las normas UNE-EN ISO 15613 y UNE-EN ISO 15614-1.

– Adicionalmente, para la clase de ejecución 2, la cualificación podrá hacerse también acorde con las normas UNE-EN ISO 15610, UNE-EN ISO 15611 y UNE-EN ISO 15612.

En el caso de que la estructura de acero deba ostentar el marcado CE de conformidad con el Reglamento (UE) N.º 305/2011, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, acorde a la norma armonizada UNE-EN 1090-1, el constructor deberá presentar a la dirección facultativa la documentación relativa a dicho marcado CE, entre otros:

- a) Documentación relativa al plan de control de producción en fábrica acorde con la norma UNE-EN 1090 (manual del plan de control, procedimientos de trabajo y/o fabricación, etc.).
- b) Documentación relativa al plan de control de calidad de las soldaduras.
- c) Declaración de prestaciones de la estructura.

La dirección facultativa deberá verificar que los procedimientos de fabricación, incluyendo los procedimientos cualificados de soldadura, previstos para la fabricación y montaje de la estructura son suficientes para cumplir tanto con todos los requisitos establecidos en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto como con lo indicado en el capítulo 21.

Antes del inicio del proceso de fabricación en taller, el constructor deberá presentar a la dirección facultativa, para su aceptación, los planos de taller para la fabricación de la estructura metálica, que deberán cumplir con todos los requisitos establecidos en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto y con lo definido en el apartado 91.2. Los planos de taller irán aprobados y firmados por un técnico del taller metálico responsable de su elaboración, así como por un representante del constructor, que se responsabilizará por parte de éste del cumplimiento de todas las exigencias requeridas, de conformidad con el proyecto y con este Código.

La dirección facultativa deberá dar su aceptación a los planos de taller previamente al inicio de la fabricación, tras verificar, por parte de la entidad de control de calidad, en su caso, que cualquier modificación respecto a lo previsto en proyecto se haya justificado

técnicamente, de manera que se demuestre que no supone ninguna merma apreciable en las garantías de seguridad, resistencia a fatiga, durabilidad o estética de la estructura.

Las posteriores tareas de control de la ejecución de la estructura metálica serán realizadas a partir de la definición de la estructura metálica en los planos de taller.

#### 103.1.2 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 al taller de fabricación, al objeto de comprobar su idoneidad para elaborar los elementos que se requieren para la obra.

La inspección del taller de montaje incluirá la evaluación de los siguientes aspectos:

a) Idoneidad de las instalaciones en función de los materiales base empleados y de los procedimientos de soldadura. Esta verificación incluirá tanto las instalaciones, como utillajes y herramientas que se prevé emplear en la fabricación.

b) Verificación de los equipos, incluyendo los certificados de calibración de los instrumentos de control, por ejemplo, termómetros, pinzas amperimétricas, etc.

c) Valorar la capacidad del taller para cumplir con las tolerancias establecidas en el Anexo 16 que sean de aplicación en la fabricación y montaje de la estructura metálica.

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 suficiente para las labores de montaje, espacios predeterminados para el acopio de los productos de acero y espacio fijo para la maquinaria, así como recintos específicos para acopiar los elementos antes de su entrega a la obra.

#### 103.2 Control de la fabricación en taller.

##### 103.2.1 Control documental durante el suministro.

La dirección facultativa deberá comprobar que cada remesa de elementos que se suministre a la obra desde un taller va acompañada de la correspondiente hoja de suministro.

Asimismo, deberá comprobar la coherencia entre las características de los elementos suministrados y los de la documentación de los productos de acero, declarada por el fabricante y facilitada por el constructor, verificando la adecuada trazabilidad de los mismos. En caso de detectarse algún problema de trazabilidad, se procederá al rechazo de los elementos afectados por el mismo.

Para elementos elaborados en talleres propios 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 elementos, tras comprobar que es conforme con lo especificado en el proyecto.

##### 103.2.2 Comprobaciones experimentales durante el suministro.

###### 103.2.2.1 Control de los procedimientos de corte térmico y perforación.

En el caso de empleo de procedimientos de corte térmico, previamente al inicio de la actividad, para cada tipo de elemento a cortar y para cada material se fabricarán, al menos, cuatro probetas, que deberán ser evaluadas por el control del constructor y por el control de contraste de la dirección facultativa, para evaluar la aptitud del procedimiento:

- Probeta 1: corte recto del elemento de mayor espesor.
- Probeta 2: corte recto del elemento de menor espesor.
- Probeta 3: corte en ángulo entrante con radio mínimo de acuerdo y sobre un elemento de espesor representativo.

– Probeta 4: corte en curva sobre un elemento de espesor representativo.  
Las probetas tendrán una dimensión tal que permitan cortes de, al menos, 200 mm de longitud.

La calidad de las superficies de cada corte será acorde a lo establecido en la norma UNE-EN 1090-2 correspondiente a la clase de ejecución de la estructura y la de los cortes curvados será similar a la de los rectos.

Si los resultados de la inspección de los bordes cortados fuesen no conformes, la dirección facultativa rechazará el proceso, debiendo el constructor modificar el mismo definiendo un nuevo procedimiento, debiendo procederse a iniciar un nuevo proceso de comprobación.

Si el fabricante hubiera realizado previamente ensayos para la validación de su procedimiento de corte térmico, como parte de su plan de control de la producción y cuente con la evaluación documental positiva de una entidad de control independiente, la dirección facultativa podrá decidir no realizar los ensayos de nuevo, siempre que los ensayos que haya realizado el fabricante cubran los tipos de materiales y espesores que se prevé utilizar en la fabricación y siempre que el fabricante acredite que el procedimiento de corte no ha variado desde la realización de los ensayos y que realiza un mantenimiento adecuado de la maquinaria de corte.

En el caso de procedimientos de corte o perforación que puedan producir incrementos locales de la dureza del material (corte térmico, cizallado, punzonado, etc.), deberá controlarse ésta en los bordes, si así se especifica, para lo que la entidad de control actuará según se indica:

- Se fabricarán cuatro probetas del material más susceptible al endurecimiento de entre todos los que vayan a ser utilizados en la fabricación de la estructura.
- En cada una de las cuatro probetas se medirán las durezas en cuatro puntos elegidos de entre aquéllos en los que se suponga mayor incremento. La medida se realizará conforme a la norma UNE-EN ISO 6507-1.
- El mayor de los valores medidos no excederá los valores máximos indicados en la tabla 103.1, en función del tipo de acero.

Tabla 103.1 Valores de dureza máximos permitidos

Norma de producto	Tipo de acero	Valor de dureza máxima
UNE-EN 10025-2 a UNE-EN 10025-5	S235 a S460	380 HV10
UNE-EN10210-1, UNE-EN 10219-1		
UNE-EN 10149-2, UNE-EN 10149-3	S260 a S700	450 HV10
UNE-EN 10025-6	S460 a S690	

Si los resultados de las medidas son no conformes, se modificará el proceso de corte y se repetirá el ensayo solo para aquellos casos en los que no ha habido conformidad.

Este apartado no cubre la comprobación de durezas en los cortes que vayan a ser soldados, los cuales serán ensayados conforme al procedimiento específico de soldadura.

Si el fabricante hubiera realizado previamente ensayos para la evaluación de las durezas máximas en bordes cortados y/o perforados, como parte de su Plan de control de la producción y cuente con la evaluación documental positiva de una entidad de control independiente, la dirección facultativa podrá decidir no realizar los ensayos de nuevo, siempre que los ensayos que haya realizado el fabricante cubran los tipos de materiales que se prevé utilizar en la fabricación y siempre que el fabricante acredite que los procedimientos

de fabricación no han variado desde la realización de los ensayos y que realiza un mantenimiento adecuado de la maquinaria de corte y/o perforación.

Además, deberán comprobarse periódicamente los medios y procedimientos de perforación, para lo que la entidad de control deberá:

- Fabricar ocho probetas para cada procedimiento a ensayar, cubriendo el rango de calidades de los materiales, diámetros de agujeros y espesores del material.
- Medir el diámetro de los agujeros en cada extremo del espesor taladrado utilizando patrones (pasa/no pasa). El valor medido cumplirá las tolerancias correspondientes a la clase de ejecución de la estructura.

Si los resultados de las medidas son no conformes, se modificará el proceso de perforación y se repetirá el ensayo solo para aquellos casos en los que no ha habido conformidad.

#### 103.2.2.2 Control de las operaciones de conformado.

Las operaciones de conformado en frío o en caliente, así como las operaciones de enderezado por llama aplicando calor, se controlarán acorde con lo establecido en la norma UNE-EN 1090-2.

#### 103.2.2.3 Control dimensional de los elementos.

Se deberá comprobar que los elementos elaborados en el taller presentan las dimensiones reflejadas en los planos de taller, considerando las tolerancias indicadas en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

Los medios de medida deberán estar incluidos en partes 1 y 2 de la norma ISO 7976. Por su parte, la precisión de la medida se ajustará a lo indicado en la norma ISO 17123.

Las medidas se referirán con respecto a las contraflechas especificadas en proyecto, y se corregirán para tener en cuenta las posibles deformaciones por temperatura o peso propio.

El taller dispondrá de los elementos necesarios (mesas de medida, bastidores, etc.) para la correcta ejecución de las medidas.

En el caso de aparición de no conformidades, se corregirán mediante alguno de los medios especificados en este Código, si ello fuera posible. En otro caso, se estudiará la posibilidad de modificar la geometría del resto de la estructura de forma que se compense la no conformidad, en cuyo caso dicho procedimiento deberá ser aprobado previamente por la dirección facultativa.

#### 103.2.2.4 Comprobación de la cualificación del personal para la soldadura.

La dirección facultativa deberá comprobar que los soldadores están en posesión de la cualificación adecuada, conforme a lo establecido en el apartado 94.4.2, y que dicha cualificación es vigente.

La dirección facultativa podrá establecer cualquier comprobación adicional sobre la cualificación de los soldadores, independientemente del lugar donde desarrollen su actividad (en taller u obra).

El taller mantendrá al día los correspondientes registros de identificación de sus soldadores de forma satisfactoria, en los que debe figurar:

- N.º de ficha,
- copia de homologación, y
- marca personal.

Esta documentación estará en todo momento a disposición de la dirección facultativa y de la entidad de control de calidad.

Cada soldador identificará su propio trabajo con marcas personales que no serán transferibles.

Toda soldadura ejecutada por un soldador no cualificado, será rechazada, procediéndose a su levantamiento. En caso de que esto pudiese producir efectos perniciosos, a juicio de la dirección facultativa, el conjunto soldado será rechazado y repuesto por el constructor de la estructura de acero.

#### 103.2.2.5 Control de los procedimientos de soldeo.

Antes de iniciarse la fabricación, el control del constructor desarrollará cuantas pruebas y ensayos sean necesarios para la comprobación de los distintos métodos de soldeo a tope y en ángulo, para determinar cuáles son los más indicados y se obtengan los parámetros de soldeo más adecuados.

Se comprobará además que todos los procedimientos de soldadura, levantamiento de la misma y reparación de zonas por soldadura, son objeto de un procedimiento por escrito, con indicación, entre otros, de las características de materiales de aportación, las preparaciones de borde, incluyendo las temperaturas de precalentamiento, las temperaturas mínimas entre pasadas y el calor de aportación.

El soldeo deberá realizarse mediante procedimientos cualificados, conforme a lo indicado en el apartado 94.4.1. La entidad de control de la dirección facultativa deberá certificar documentalmente que, con los procedimientos cualificados de soldeo aportados por el constructor, quedan cubiertas todas las uniones soldadas a efectuar tanto en taller como en obra y deberá verificar que los soldadores sueldan aplicando dichos procedimientos.

#### 103.2.2.6 Comprobación de la ejecución de las soldaduras.

Con anterioridad a la realización de la soldadura, se procederá a realizar una inspección visual de las piezas a unir, verificando su correcto ajuste y las soldaduras punteo conforme a la norma UNE-EN ISO 17637.

En el caso de secciones huecas, la inspección se centrará en:

- las partes centrales del talón y de los flancos, si se trata de secciones circulares, y
- las cuatro esquinas, en el caso de secciones cuadradas o rectangulares.

Después del soldeo, se debe verificar también todas las soldaduras mediante inspección visual conforme a la norma UNE-EN ISO 17637.

En general, las inspecciones visuales serán realizadas por un Inspector de soldadura de nivel 2, conforme a la norma UNE 14618, o por otra persona certificada como nivel 2 para inspección visual acorde con la norma UNE-EN ISO 9712 y que sea autorizada previamente por la dirección facultativa. En el caso de soldaduras en obras en las que sea de aplicación la clase de ejecución 2, la inspección visual la podría realizar el propio soldador cualificado bajo la supervisión de un inspector de soldadura de nivel 2, previa aprobación de la dirección facultativa.

En todo caso, la dirección facultativa podrá exigir la certificación del inspector de soldadura.

De todos los controles que se efectúen, se registrará su correspondiente protocolo de inspección, donde además de la descripción, se adjuntarán fichas de control de soldadura que incluirán los resultados del ensayo y la posición exacta de dicho control.

Se controlarán todos los cordones. Cualquier ensayo se realizará una vez transcurrido el tiempo de retención o cadencia establecido en la norma UNE-EN 1090-2, en función del tipo de acero, el espesor de las chapas a unir, el tamaño de la soldadura, la aportación de calor del procedimiento, y de posibles riesgos de embridamiento que puedan producir la fisuración en frío de la soldadura.

Las soldaduras que a lo largo del proceso de fabricación resulten inaccesibles deberán inspeccionarse antes de que ello ocurra.

Cuando un elemento o una zona del mismo haya sido deformado para corregir desviaciones geométricas resultantes de la fabricación, todas las soldaduras situadas en

las zonas afectadas serán inspeccionadas y, si procediera, ensayadas, como si no lo hubieran sido con anterioridad.

El control de las soldaduras incluirá una serie de comprobaciones que serán, como mínimo:

- Una inspección visual conforme a la norma UNE-EN ISO 17637, preceptiva para toda la longitud del 100 % de los cordones,
- unas comprobaciones adicionales mediante la realización de ensayos no destructivos, cuya frecuencia en función de la clase de ejecución, será la definida en el plan de control incluido en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto. El Anejo 17 incluye, de forma orientativa, las frecuencias de ensayos no destructivos para los diferentes tipos de soldaduras más habituales, y
- se realizarán ensayos adicionales en los puntos donde se sospeche que puedan existir defectos.

Si del control se derivase alguna no conformidad, se rechazará el lote y se incrementará la frecuencia de ensayos.

Para las cinco primeras soldaduras realizadas con un nuevo procedimiento de soldeo cualificado, se realizarán los correspondientes ensayos de producción, que deberán cumplir los requisitos siguientes:

- a) Las soldaduras cumplirán con el nivel de calidad B acorde con la norma UNE-EN ISO 5817,
- b) el % de cordones a ensayar será el doble de los valores propuestos en el Anejo 17, con un máximo del 100 %, y
- c) la longitud mínima a inspeccionar será de 900 mm.

En el caso de pernos conectadores soldados solicitados a esfuerzo cortante para estructuras mixtas de acero y hormigón, la inspección y ensayos se realizarán de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14555. Además de la inspección visual para las soldaduras de unión del 100 % de los pernos, se realizarán ensayos de doblado de cómo mínimo el 3 % del total de pernos para estructuras de clase de ejecución 2 y del 5 % del total de pernos para estructuras de clase de ejecución 3 y 4.

La inspección visual de los cordones se desarrollará una vez completadas todas las soldaduras de un área de inspección y previamente a la realización de cualquier ensayo.

La inspección visual incluirá:

- La existencia y situación de todos los cordones.
- La inspección de los cordones conforme a la norma UNE-EN ISO 17637.
- Zonas de cebado y cierre.

La inspección de la forma y superficie de los cordones de los nudos entre secciones huecas prestará atención especial a los siguientes aspectos:

- En el caso de secciones circulares, a las partes centrales del talón y de los flancos.
- En el caso de secciones cuadradas o rectangulares: a las cuatro esquinas.
- La aceptación de los cordones en la inspección visual se efectuará según lo que establece el apartado 94.6.

Se realizarán los siguientes ensayos no destructivos según los principios generales establecidos en la norma UNE-EN ISO 17635 y conforme a las especificaciones particulares de cada método de ensayo:

- Líquidos penetrantes (LP), realizados según UNE-EN ISO 3452-1 y con los criterios de aceptación de la norma UNE-EN ISO 23277.
- Partículas magnéticas (PM), realizadas según UNE-EN ISO 17638 y con los criterios de aceptación de la norma UNE-EN ISO 23278.

- Ultrasonidos (UT), realizados según UNE-EN ISO 17640 y con los criterios de aceptación de la norma UNE-EN ISO 11666.
- Radiografías (RX), según UNE-EN ISO 17636-1 y UNE-EN ISO 17636-2 y con los criterios de aceptación de la norma UNE-EN ISO 10675-1.

Cuando se localice alguna imperfección «admisibles», acorde con la normativa que establezca su criterio de aceptación, no será precisa su reparación, pero se inspeccionará un tramo adicional del mismo cordón. Si en esta nueva inspección se encuentra una imperfección no admisible se repararán todos los defectos.

Si la imperfección es «no admisible», acorde con la normativa que establezca su criterio de aceptación, será necesaria su reparación, según un procedimiento establecido. Dicha reparación no afectará únicamente a la imperfección no admisible, sino también a todas aquellas imperfecciones calificadas como «admisibles» que se hayan detectado con anterioridad en la misma soldadura. Adicionalmente, se incrementará el nivel de control para las soldaduras realizadas por ese soldador en el porcentaje adicional indicado en el plan de control o según lo que establezca la dirección facultativa.

En todos los puntos donde existan cruces de cordones de soldadura se realizará una radiografía o ensayo por ultrasonidos adicional.

Esta inspección será posterior a la visual y realizada por el mismo inspector, que seleccionará estas soldaduras, y siempre comprenderá los extremos (inicios y finales) de cordones.

Cuando la porosidad superficial sea excesiva a juicio de la dirección facultativa, será obligatorio realizar una inspección del interior del cordón.

Asimismo, en general, se realizará una inspección radiográfica o ultrasónica de las soldaduras a tope, tanto de chapas en continuación como de uniones en T, cuando estas sean a tope. Cuando coexistan la inspección visual y la realización de ensayos no destructivos en una misma costura, se simultanearán ambos cuando esto sea posible.

Las deformaciones provocadas por las soldaduras podrán ser corregidas por enderezado mediante la aplicación controlada de calor, siempre que se haga acorde con lo establecido en el apartado 91.3.2.

No se empleará agua o cualquier otro proceso para enfriar bruscamente.

Si durante la inspección visual de las soldaduras se detectase algún defecto, éste será corregido conforme al criterio que figura en la tabla 103.2:

Tabla 103.2 Defectos en soldaduras y criterio de corrección

Descripción del defecto	Corrección
Fisuras.	Saneado de las fisuras y nuevo cordón.
Poros y desbordamientos.	Soldar de nuevo después de sanear con arco-aire. Longitud mínima de saneado 40 mm.
Mordeduras.	Saneado y posterior depósito de material de aportación, longitud mínima de saneado 40 mm.
Concavidades y convexidades no previstas.	Amolado.
Otros defectos: entallas y estrías superficiales con posterior depósito de material; hendiduras de límite de aportación, etc.	Amolado o saneado por arco-aire.

#### 103.2.2.7 Control de soldaduras reparadas.

Las reparaciones de soldaduras deben realizarse conforme a procedimientos cualificados. Los cordones reparados se inspeccionarán y ensayarán de nuevo como si fueran nuevos.

#### 103.2.2.8 Control de uniones atornilladas.

El programa de control del constructor deberá considerar, en su caso, la comprobación de las uniones mediante fijación con elementos mecánicos, a las que se refiere el artículo 93.

Dichas comprobaciones deberán incluir las correspondientes a la aplicación de los pares de apriete adecuados, de acuerdo con lo especificado en el proyecto y en este Código. En el caso de tornillos pretensados se comprobará que el esfuerzo aplicado es superior al mínimo establecido en el proyecto.

Previamente a la ejecución de las uniones atornilladas, la dirección facultativa deberá aceptar, en su caso, el procedimiento de fijación con elementos mecánicos del constructor, que deberá incluir, entre otros, la secuencia de apriete, el método de apriete, los valores de referencia, la calibración periódica de las herramientas, etc.

Todas las uniones atornilladas se comprobarán visualmente después de que estén ajustadas con todos los tornillos colocados y antes de empezar el pretensado, si es el caso. En el caso de uniones con tornillos pretensados que trabajen por rozamiento, se deberá verificar visualmente el estado de las superficies a unir antes de su montaje.

En el caso de uniones con tornillos pretensados, la inspección de uniones ya ejecutadas se realizará en función del método de apriete utilizado. En general, dichas inspecciones tendrán por objetivo verificar que el esfuerzo de pretensado aplicado al tornillo es el adecuado:

- En el caso del método del par torsor (o de la llave dinamométrica), la inspección sobre un conjunto de fijación se realizará acorde con lo establecido en el punto 12.5.2.5 de la norma UNE-EN 1090-2.

- En el caso del método combinado, la inspección sobre un conjunto de fijación se realizará acorde con lo establecido en el punto 12.5.2.6 de la norma UNE-EN 1090-2.

- En el caso del método de la arandela con indicación directa de tensión, se seguirá la metodología de control indicada en el punto 12.5.2.8 de la norma UNE EN 1090-2 y en el apartado 5 de la norma UNE-EN 14399-9.

Los criterios de aceptación o rechazo serán los definidos al efecto en la norma UNE-EN 1090-2.

#### 103.2.2.9 Control del armado en taller.

Antes de iniciarse la fabricación, el constructor propondrá, por escrito y con los planos necesarios, la secuencia de armado y soldeo, que a juicio de sus conocimientos y experiencia considere óptimas, en función de la máxima reducción de tensiones residuales y deformaciones previsibles. Estas secuencias se someterán a la dirección facultativa para su aprobación.

En el armado previo de taller se comprobará que la disposición y dimensiones de cada elemento se ajustan a las indicadas en los planos de taller. Se rectificarán o rechazarán todas las piezas que no permitan el acoplamiento mutuo, sin forzarlas, en la posición que hayan de tener, una vez efectuadas las uniones definitivas.

Para cada una de las piezas preparadas en taller se debe garantizar la trazabilidad, mediante algún procedimiento de marcado adecuado acorde con lo establecido en el apartado 91.3.1, identificando cada pieza con la marca que ha sido designada en los planos de taller.

Asimismo y de forma análoga, se debe garantizar la trazabilidad de cada uno de los elementos terminados en taller, identificando además su posición relativa en el conjunto de la obra.

La dirección facultativa efectuará las visitas e inspecciones que considere oportunas para comprobar el proceso de montaje.

El constructor realizará el control del armado en taller realizando las inspecciones que establezca el programa de control y el programa de puntos de inspección (PPI), que al menos serán las siguientes:

- Identificación de los elementos.
- Situación de los ejes de simetría.
- Situación de las zonas de sujeción a los elementos contiguos.
- Paralelismo de alas y platabandas.
- Perpendicularidad de alas y almas.
- Abollamiento, rectitud y planeidad de alas y almas.
- Contraflechas.

#### 103.2.2.10 Control del montaje en blanco.

El correcto ajuste entre los diferentes tramos ejecutados en taller, antes de su envío a obra, debe ser verificado a través de un montaje en blanco en el propio taller, acorde con lo establecido en el apartado 91.5.

#### 103.3 Control del montaje en obra.

##### 103.3.1 Comprobaciones previas al montaje.

Previamente al inicio del montaje en obra, la dirección facultativa comprobará la correspondencia con el proyecto de los elementos elaborados en taller, así como la conformidad de la documentación suministrada con los mismos.

Asimismo, el constructor deberá preparar un procedimiento de montaje que deberá ser aprobado por la dirección facultativa, previamente al inicio de las operaciones de obra. El procedimiento de montaje constará, como mínimo, de los documentos, recogidos en los apartados siguientes.

##### 103.3.1.1 Memoria de montaje.

La memoria de montaje deberá incluir los procedimientos a emplear para el montaje de la estructura, considerando los requisitos técnicos relativos a la seguridad de los trabajos. Incluirá el cálculo de las tolerancias de posicionamiento de cada componente de forma coherente con el sistema general de tolerancias (en especial en lo que al replanteo de placas base se refiere), la descripción y definición de los elementos auxiliares necesarios para el montaje (casquillos provisionales de apoyo, orejetas de izado, elementos de guiado, etc.), los dispositivos de elevación necesarios, la secuencia de montaje, los arriostramientos provisionales y las condiciones para su retirada y la retirada de elementos auxiliares, la definición de las uniones en obra, los medios de protección de soldaduras, los procedimientos de apriete de tornillos, etc.

Asimismo incluirá un apartado específico relativo a las comprobaciones de seguridad durante el montaje, comprobando además que, como consecuencia del proceso de montaje, no se generan solicitudes sobre la estructura que sean diferentes a las consideradas en el proyecto.

##### 103.3.1.2 Planos de montaje.

Se comprobará que recogen la posición y movimientos de las piezas durante el montaje, los medios de izado, elementos auxiliares necesarios soldados o fijados por medios mecánicos a la estructura, los sistemas de apuntalamiento o arriostramiento provisionales y, en general, toda la información necesaria para el correcto manejo, colocación y fijación de las piezas en su posición definitiva.

##### 103.3.1.3 Programa de inspección.

El programa de puntos de inspección (PPI) del montaje en obra reflejará el conjunto de controles, inspecciones y ensayos a realizar en la ejecución de la estructura de acero en obra por los diferentes agentes de control implicados, acorde con lo descrito en el apartado 102.1.

### 103.3.2 Comprobaciones durante el montaje.

Durante las operaciones de montaje se comprobará la conformidad de todas aquellas operaciones que se lleven a cabo, mediante la aplicación de criterios análogos a los establecidos por este Código para el montaje en taller.

En particular, se comprobará que cada operación se efectúa en el orden y con las herramientas especificadas, que el personal encargado de cada operación posee la cualificación adecuada, que se mantiene el adecuado sistema de trazabilidad que permita identificar el origen de cada incumplimiento, etc.

Una vez que se haya montado en obra un tramo, dovela o elemento, se deberá inspeccionar para descartar cualquier indicio de que sus componentes hayan sido deformados o sobrecargados, y para garantizar que todas las fijaciones y arriostramientos provisionales se hayan retirado, una vez que estos no sean necesarios. Asimismo, se realizará un examen de la posición geométrica de los puntos de unión con otros tramos con el objetivo de detectar cualquier desalineación o desplome de la estructura o de alguno de sus componentes por encima de las tolerancias máximas permitidas.

## CAPÍTULO 25

### Gestión de las estructuras de acero durante su vida de servicio

Artículo 104. *Evaluación de estructuras existentes de acero.*

#### 104.1 Objeto y planteamiento.

La evaluación de estructuras existentes de acero persigue el objetivo de cuantificar los niveles de seguridad 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 105 y 106 siguientes.

En paralelo con el formato de proyecto y comprobación de estructuras de nueva planta, se mantiene, para la evaluación de estructuras existentes de acero, el marco de los Estados Límite.

Cabe advertir, no obstante, que en el contexto general del mantenimiento de las estructuras, descrito en el artículo 24, la comprobación de los Estados Límites de Servicio (ELS) no precisa 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 acero 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.

Por su parte, la determinación de la vida útil residual de una construcción de acero 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 de este Código Estructural.

#### 104.2 Principios básicos del análisis de construcciones existentes de acero.

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 metálicas existentes, 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 plástico) o procedimientos de análisis no lineal, como los que se plantean en el capítulo 5 de los Anejos 22 y 29. 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 inequación  $E_d \leq R_d$ .

#### 104.3 Propiedades de los materiales y geometría.

Las propiedades de los materiales y la geometría admiten tres niveles de definición:

- 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 en el pasado, etc.).
- Valores deducidos de una campaña de ensayos no destructivos (ultrasonidos, líquidos penetrantes, radiografías, etc.), acompañada de una caracterización completa de la geometría de las piezas y de las uniones correspondientes.
- Extracción de probetas y ensayos en laboratorio, tanto del acero de chapas y perfiles como de tornillos y otros elementos de unión.

El alcance de la investigación necesaria para caracterizar perfiles, chapas y elementos de unión 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.

Asimismo, será preciso incorporar coeficientes correctores a la geometría de partida en función del estado de deterioro de las piezas, lo que puede afectar a la reducción de su capacidad resistente.

#### 104.4 Análisis estructural.

Los criterios y procedimientos de análisis estructural responderán a los principios establecidos en el capítulo 20.

### Artículo 105. *Criterios generales para la reparación de estructuras de acero.*

#### 105.1 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 acero.

#### 105.2 Clasificación de los deterioros y daños objeto de reparación.

A los efectos de las estructuras existentes de acero, los deterioros objeto de reparación se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Deterioros y daños producidos por los procesos de degradación del propio acero por acciones mecánicas, físico-ambientales, químicas, etc.
- b) Deterioros y daños producidos en las uniones de las piezas.

#### 105.3 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. Mapa de daños o deterioros, como resultado de la inspección especial, asociado a un catálogo de daños o deterioros elaborado 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 acero, 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.

##### 105.3.1 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.

#### 105.3.2 Catálogo de soluciones de reparación.

El proyecto contendrá una definición pormenorizada de los procedimientos de reparación de las estructuras metálicas de acero afectadas por todos y cada uno de los daños y deterioros tipificados en el catálogo de daños y localizado en el correspondiente mapa de daños.

#### 105.4 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 adicional 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 106. *Criterios generales para el refuerzo de estructuras de acero.*

#### 106.1 Contexto general y objeto.

Las actuaciones de refuerzo de estructuras de acero comparten con las de reparación de estructuras del mismo material 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 acero.

#### 106.2 Clasificación de los refuerzos estructurales en piezas de acero.

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.

#### 106.3 Procedimientos de refuerzo de piezas de acero.

A partir de la clasificación realizada en el apartado 106.2, se plantean los dos procedimientos siguientes de refuerzo de estructuras existentes de acero.

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.

#### 106.3.1 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 solicitaciones 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 de 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.

#### 106.3.2 Refuerzo aplicado a la sección de la pieza.

Se suele materializar con chapas o perfiles soldados o conectados mediante tornillos o roblones (excepcionalmente).

También esta solución exige la identificación de los modos de fallo previsible y sus correspondientes implicaciones en ELS y ELU, tanto en las piezas originales como en las piezas añadidas 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.
- La historia de cargas previa y la derivada del proceso constructivo.
- Otros condicionantes de ejecución.

#### 106.4 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.

#### 106.5 Plan y Programa 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 26

### Deconstrucción de estructuras de acero

Artículo 107. *Demolición de estructuras de acero.*

#### 107.1 Generalidades.

A los efectos de este Código, se entiende por demolición de una estructura de acero 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:

- a. Se trate de la demolición de una estructura como consecuencia de un accidente, incendio o sismo,
- b. se trate de la demolición de una cubierta con estructura de acero, o cuando incluya elementos a flexión con luces de más de 10 m, o elementos verticales a compresión con alturas entre niveles superiores a 10 m.

Sin perjuicio de lo anterior, será de aplicación lo indicado en el apartado 77.1 para las estructuras de hormigón.

#### 107.2 Trabajos previos a la demolición de la estructura de acero.

Antes del inicio de los trabajos de demolición o deconstrucción de la estructura, la propiedad deberá disponer la realización de una inspección in situ de la estructura, de acuerdo a los mismos criterios establecidos en el apartado 77.2 para las estructuras de hormigón. Se prestará especial atención las uniones entre distintos elementos.

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:

- a. 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;
- b. identificación de los servicios públicos que potencialmente pudieran verse afectados por la demolición;
- c. 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;
- d. evaluación de los riesgos de afección a las construcciones adyacentes y, en su caso, medidas para evitarlos;
- e. definición de la secuencia de demolición prevista para la estructura;
- f. definición de los medios previstos para demolición de cada parte;
- g. definición de los sistemas necesarios, en su caso, para garantizar la estabilidad del conjunto durante la demolición como, por ejemplo, apuntalamientos, apoyos provisionales, etc.;
- h. memoria y cálculos de las comprobaciones estructurales realizadas, en su caso;
- i. 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;
- j. sistema previsto para la gestión de los residuos generados durante la demolición.

En el caso de estructuras de acero, en función de su tipología, su estado y la concepción de sus uniones, la secuencia de demolición puede ser especialmente sensible cara a la seguridad, por lo que el proyecto deberá analizar las situaciones generadas durante el proceso, habilitando en su caso los apuntalamientos, apeos provisionales o cualquier otros sistema que se estime como necesario durante la demolición.

#### 107.3 Proceso de demolición de la estructura.

Como criterio general, todas las actividades de demolición deberán realizarse conforme al proyecto y estar encaminadas a:

- preservar la seguridad del personal, evitando situaciones imprevistas que puedan afectar a la seguridad, y
- gestionar los residuos producidos de la manera más eficiente posible que en el caso de los elementos de acero, debe tender a la reciclabilidad de la totalidad de los mismos, en la línea de lo establecido en el artículo 108.

En general, el constructor podrá utilizar cualquiera de los métodos recogidos como aceptables en el proyecto de demolición. Entre ellos, cabe destacar los siguientes:

- a. Técnicas manuales,
- b. técnicas de percusión (por ejemplo, martillo neumático),
- c. técnicas de impacto (por ejemplo, bola de demolición),
- d. técnicas de abrasión (por ejemplo, chorro de agua a alta presión),
- e. uso de maquinaria pesada (por ejemplo, retroexcavadoras, pinzas de demolición, etc.),
- f. 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.

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 sean objeto de demolición, protegiéndolos adecuadamente, si ello fuera necesario.

#### Artículo 108. *Deconstrucción de estructuras de acero.*

Se entiende por deconstrucción de la estructura de acero 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 107 para la demolición, 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.

Dadas las características de las estructuras de acero y la potencialidad de reciclado de sus elementos, a los efectos de este Código, se entiende que cualquier desmantelamiento de la estructura debe consistir en su deconstrucción, salvo que existan razones justificadas que no lo aconsejen, de acuerdo con lo contemplado en el correspondiente proyecto.

Adicionalmente se llevará a cabo:

- Una identificación de los elementos estructurales potencialmente reutilizables,
- una identificación de los tipos y cantidades de residuos generados por la demolición, con especial atención a los residuos peligrosos,

- la elaboración de un estudio de gestión de residuos que contenga los destinos previstos para los residuos generados,
- la 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.

#### TÍTULO 4

##### Estructuras mixtas

#### CAPÍTULO 27

##### Criterios generales para las estructuras mixtas hormigón-acero

Artículo 109. *Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras mixtas hormigón-acero.*

Este título es aplicable a todas las estructuras y elementos mixtos, de hormigón y acero 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:

- Aquellas cuyos elementos de hormigón presentan resistencias menores que 25 N/mm<sup>2</sup>, ni superiores a 60 N/mm<sup>2</sup>;
- aquellas cuyos elementos de acero estructural presentan límites elásticos mayores que 460 N/mm<sup>2</sup>, salvo en elementos de unión (tornillos, bulones, etc.);
- cualquier otro tipo de estructura mixta compuesta por hormigón y otro material con función resistente de distinta naturaleza que el acero estructural;
- las estructuras que hayan de estar expuestas normalmente a temperaturas superiores a 70 °C;
- las estructuras mixtas realizadas con hormigones especiales no considerados explícitamente en este Código, tales como los pesados, los refractarios u otras sustancias análogas;
- las estructuras en las que la acción del pretensado se introduce mediante armaduras activas;
- las tuberías empleadas para la distribución de cualquier tipo de fluido.

Artículo 110. *Requisitos específicos de las estructuras mixtas hormigón-acero.*

A los efectos de este Código, se definen como clases de exposición relativas a las estructuras mixtas, las recogidas en el artículo 27 para los elementos de hormigón y en el artículo 80 para los elementos de acero.

#### CAPÍTULO 28

##### Propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras mixtas hormigón-acero

Artículo 111. *Generalidades.*

Este capítulo prescribe los requisitos que deben cumplir los materiales utilizables en las estructuras mixtas hormigón-acero.

Los materiales y productos a emplear para las estructuras mixtas deberán ser conformes con lo indicado en este Código y, en particular, en los Capítulos 8 y 18 para los elementos de hormigón y de acero estructural, respectivamente.

Las propiedades de los elementos de conexión vienen definidas en el artículo 112.

Artículo 112. *Propiedades de elementos específicos de estructuras mixtas hormigón-acero.*

#### 112.1 Pernos conectadores.

Se denomina perno conectador al elemento metálico formado por un vástago, coronado por una cabeza cilíndrica de mayor diámetro, que soldado a piezas de acero estructural constituye la conexión de estas con el hormigón circundante.

La altura total de los pernos conectadores no debe ser inferior, una vez soldados, a 3 veces su diámetro.

Las dimensiones de la cabeza deben cumplir que su diámetro sea mayor de 1,5 veces el diámetro del vástago y su altura 0,4 veces su diámetro.

Los pernos conectadores deberán cumplir los requisitos de la norma UNE-EN ISO 13918. Además, el acero de los mismos deberá cumplir las siguientes condiciones mecánicas, determinadas en ensayo de rotura a tracción, a temperatura ambiente, según la norma UNE-EN ISO 6892-1:

Límite elástico:  $f_{y,pernos} > 360 \text{ N/mm}^2$

Carga de rotura:  $f_{s,pernos} \geq 460 \text{ N/mm}^2$

Alargamiento en rotura:  $\epsilon_{u,pernos} > 15 \%$

Estricción:  $e > 50 \%$

Relación tensión de rotura y límite elástico:  $f_s / f_y \geq 1,20$

Además, el acero deberá haber superado satisfactoriamente el ensayo de calificación de aptitud a la soldadura, según ANSI/AWS D1.1.

#### 112.2 Chapa nervada para losas mixtas en edificación.

En el ámbito de este Código, se pueden emplear chapas nervadas fabricadas con uno de los siguientes materiales:

- Acero, conforme con la norma UNE-EN 10025,
- acero conformado en frío, conforme con la norma UNE-EN 10149-2 o UNE-EN 10149-3, o
- acero galvanizado, conforme con la norma UNE-EN 10346 o UNE-EN ISO 1461.

La especificación de las características de la chapa será conforme con lo indicado en los Artículos 83 y 84 de este Código.

El valor mínimo del espesor nominal de las chapas será de 0,70 mm.

Las chapas se designarán de acuerdo con, al menos, las siguientes características:

- Altura del nervio ( $h$ ), que no deberá ser inferior a 45 mm,
- ancho útil ( $p$ ) del nervio,
- paso o separación entre nervios ( $b$ ), y
- espesor de la chapa ( $e$ ).

Las chapas irán provistas de una serie de indentaciones o resaltes en su superficie de manera que el fabricante pueda garantizar su correcta adherencia al hormigón, durante su comportamiento en servicio. Dicha garantía podrá ser demostrada mediante los ensayos contemplados en el apartado B.3 del Apéndice B del Anejo 30, que permiten obtener los coeficientes a emplear en la comprobación a rasante de la sección, según el apartado 9 de dicho Anejo 30.

En el caso de que fuera necesario definirla geometría de la indentación o resalte, ésta vendrá definida por su geometría, para lo que se emplearán los siguientes parámetros:

- Tamaño,
- intensidad de repetición en la chapa,
- posición en el perfil,
- longitud, y
- en su caso, orientación respecto al eje de la chapa.

## CAPÍTULO 29

**Durabilidad de las estructuras mixtas hormigón-acero**

Artículo 113. *Bases para la consideración de durabilidad de las estructuras mixtas hormigón-acero.*

La durabilidad de una estructura mixta hormigón-acero es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

Una estructura mixta que sea durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación de la estructura, tanto de sus elementos de hormigón, como los de acero estructural y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura.

Una estrategia correcta para la durabilidad de una estructura mixta debe considerar lo establecido al efecto en los Capítulos 9 y 19, relativos a la durabilidad de los elementos de hormigón y de acero, respectivamente.

## CAPÍTULO 30

**Estructuras mixtas hormigón-acero. Dimensionamiento y comprobación**

Artículo 114. *Comprobación y dimensionamiento de las estructuras mixtas hormigón-acero.*

Para el análisis estructural, el dimensionamiento y la comprobación de las estructuras mixtas de hormigón-acero, el autor del proyecto empleará el conjunto de principios y reglas establecidos en los Anejos 30 a 32.

Artículo 115. *Proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero frente al fuego.*

En el caso de estructuras de acero que puedan estar sometidas a la acción del fuego, se estará a lo dispuesto en el Anejo 31.

Artículo 116. *Proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero frente al sismo.*

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

## CAPÍTULO 31

**Ejecución de estructuras mixtas hormigón-acero**

Artículo 117. *Fabricación y montaje de la estructura metálica.*

En relación a su ejecución, a los elementos de acero estructural de las estructuras mixtas hormigón-acero, les será de aplicación lo establecido en el capítulo 21.

Artículo 118. *Armaduras pasivas.*

Las armaduras pasivas que forman parte del hormigón estructural de las estructuras mixtas hormigón-acero se regirán, en materia de ejecución, por lo establecido en los Artículos 48 y 49 del capítulo 11.

Artículo 119. *Elaboración, transporte y suministro y puesta en obra del hormigón.*

La elaboración, transporte y suministro y puesta en obra del hormigón utilizado en las estructuras mixtas hormigón-acero estará sujeta, en lo referente a su ejecución, a lo establecido en los Artículos 51 a 54 del capítulo 11.

## CAPÍTULO 32

### **Gestión de la calidad del proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero**

Artículo 120. *Criterios específicos para el desarrollo del control de proyecto de estructuras mixtas hormigón-acero.*

#### 120.1 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 adaptado, como la que, a título orientativo, se recoge en el Anejo 3.

La frecuencia de comprobación de los elementos mixtos compuestos por hormigón y acero, según el nivel de control adoptado, no debe ser menor que el indicado en el apartado 55.1, para los elementos de hormigón, y en el apartado 96.1, para los elementos de acero.

#### 120.2 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, cuyo contenido será equivalente al definido para las estructuras de hormigón en el apartado 55.2 de este Código.

## CAPÍTULO 33

### **Gestión de la calidad de los productos en estructuras mixtas hormigón-acero**

Artículo 121. *Control de los productos en estructuras mixtas hormigón-acero.*

El control de la conformidad de los elementos de acero que forman parte de estructuras mixtas se realizará de conformidad con lo indicado en el capítulo 23.

En el caso de los elementos de hormigón y elementos prefabricados, se estará a lo dispuesto en el capítulo 13. Por su parte, para el control de los elementos conectadores se estará a lo dispuesto en el Anejo 30.

## CAPÍTULO 34

### **Gestión de la calidad de la ejecución de estructuras mixtas hormigón-acero**

Artículo 122. *Criterios para el control de la conformidad de la ejecución.*

El control de la conformidad de la ejecución de elementos de acero que forman parte de estructuras mixtas se realizará de conformidad con lo indicado en el capítulo 24.

En el caso de los elementos de hormigón, se estará a lo dispuesto en el capítulo 14.

## CAPÍTULO 35

**Gestión de las estructuras mixtas hormigón-acero durante su vida de servicio**

Artículo 123. *Evaluación de estructuras existentes mixtas hormigón-acero.*

De acuerdo con los principios establecidos en el capítulo 6, la evaluación de estructuras existentes mixtas hormigón-acero persigue el objetivo de cuantificar los niveles de seguridad 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 correspondientes actuaciones de reparación y refuerzo, en su caso.

En paralelo con el formato de proyecto y comprobación de estructuras de nueva construcción, se mantiene el método de los Estados Límite para la evaluación de estructuras existentes mixtas hormigón-acero.

Por otra parte, en el contexto general del mantenimiento de las estructuras descrito en el artículo 24, la comprobación de los Estados Límites de Servicio (ELS) no precisa 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 mixtas hormigón-acero 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:

$$Ed \leq Rd$$

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.

Por su parte, la determinación de la vida útil residual de una construcción mixta hormigón-acero 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 de este Código Estructural.

Para la valoración del estado de las construcciones existentes mixtas hormigón-acero, se aplicarán los criterios definidos en los Artículos 74 y 104 para los elementos de hormigón y de acero estructural, respectivamente.

Por su parte, los criterios para su reparación o refuerzo, según el caso, serán los mismos que los indicados en los Artículos 75 y 76 para los elementos de hormigón y en los Artículos 105 y 106 para los elementos de acero.

## CAPÍTULO 36

**Deconstrucción de estructuras mixtas hormigón-acero**

Artículo 124. *Criterios para la demolición y deconstrucción de estructuras mixtas hormigón-acero.*

A los efectos de este Código se entiende por demolición de una estructura de mixta hormigón-acero 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.

Se entiende por deconstrucción de la estructura mixta el 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.

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 una estructura mixta que incluya elementos de hormigón pretensado;
- 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.

Los criterios a aplicar en el ámbito de este artículo serán los mismos que los indicados en el capítulo 16 para las estructuras de hormigón y en el capítulo 26 para las estructuras de acero.