

## ANEJOS

### ANEJO 1

#### Relación de normas UNE

#### Contenidos del anejo

- 1 NORMAS UNE.
- 2 NORMAS UNE-EN.
- 3 NORMAS UNE-EN ISO.
- 4 NORMAS UNE-EN ISO/IEC.
- 5 OTRAS NORMAS.

El articulado de este Código Estructural establece una serie de comprobaciones de la conformidad de los productos y los procesos incluidos en su ámbito que, en muchos casos, están referidos a normativa UNE, UNE-EN o UNE-EN ISO.

La relación de las versiones correspondientes a las normas aplicable en cada caso, con referencia a su fecha de aprobación, es la que se indica en este anejo, excepto en los siguientes casos:

(\*) Normas armonizadas. Las normas armonizadas recogidas en este anejo se utilizarán en la última versión publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE)

(\*\*) Norma citada en norma armonizada. Se utilizará la versión recogida en este anejo excepto dentro del ámbito de la norma armonizada, para la que se debe aplicar la versión incluida en dicha norma armonizada.

## 1 Normas UNE

UNE 14618:2017	Inspectores de construcciones soldadas. Cualificación y certificación
UNE 22470:2015	Sistema de gestión minera sostenible. Indicadores
UNE 22480:2015	Sistema de gestión minera sostenible. Requisitos
UNE 36060:2014 UNE 36060:2014/1M:2019	Mallas electrosoldadas de acero para uso estructural en armaduras de hormigón armado. Mallas electrosoldadas fabricadas con barras de acero B 500 SD
UNE 36065:2011	Barras corrugadas de acero soldable con características especiales de ductilidad para armaduras de hormigón armado
UNE 36068:2011	Barras corrugadas de acero soldable para uso estructural en armaduras de hormigón armado
UNE 36094:1997 UNE 36094:1997 Erratum	Alambres y cordones de acero para armaduras de hormigón pretensado
UNE 36521:2018	Productos de acero. Sección en I con alas inclinadas (antiguo IPN). Medidas
UNE 36522:2018	Productos de acero. Perfil U Normal (UPN). Medidas
UNE 36523:2018	Productos de acero. Perfil U de alas paralelas (UPE). Medidas
UNE 36524:2018	Productos de acero laminados en caliente. Perfiles HE de alas anchas y caras paralelas. Medidas
UNE 36525:2018	Productos de acero. Perfil U comercial. Medidas
UNE 36526:2018	Productos de acero laminados en caliente. Perfiles IPE. Medidas
UNE 36740:1998	Determinación de la adherencia de las barras y alambres de acero para armaduras de hormigón armado. Ensayo de la viga
UNE 36831:1997	Armaduras pasivas de acero para hormigón estructural. Corte, doblado y colocación de barras y mallas. Tolerancias. Formas preferentes de armado
UNE 36901:2018	Sistemas de gestión de la sostenibilidad siderúrgica. Requisitos

UNE 36904-1:2018	Siderurgia. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto. Productos de acero para estructuras. Parte 1: Productos básicos
UNE 36904-2:2018	Siderurgia. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto. Productos de acero para estructuras. Parte 2: Productos transformados y aplicadores de sistemas de pretensado
UNE 41184:1990	Sistema de pretensado para armaduras postensas. Definiciones, características y ensayos
UNE 48103:2014	Pinturas y barnices. Colores normalizados
UNE 53974:2011	Plásticos. Elementos aligerantes de poliestireno expandido (EPS) para forjados con nervios hormigonados en obra
UNE 67036:1999	Productos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de expansión por humedad
UNE 67037:1999	Bovedillas cerámicas de arcilla cocida. Ensayo de resistencia a flexión
UNE 83460-2:2005	Adiciones al hormigón. Humo se sílice. Parte 2: Recomendaciones generales para la utilización del humo de sílice
UNE 83503:2004	Hormigones con fibras. Medida de la docilidad por medio del cono invertido
UNE 83510:2004	Hormigones con fibras. Determinación del índice de tenacidad y resistencia a primera fisura
UNE 83515:2010	Hormigones con fibras. Determinación de la resistencia a fisuración, tenacidad y resistencia residual a tracción. Método Barcelona
UNE 83516:2015	Fibras para hormigón. Fibras de vidrio resistentes a los álcalis (AR). Definiciones, clasificación y especificaciones
UNE 83607:2014 IN	Hormigón proyectado. Recomendaciones de utilización
UNE 83951:2008	Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Toma de muestras
UNE 83952:2008	Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del PH. Método potenciométrico
UNE 83954:2008	Durabilidad del hormigón. Aguas agresivas. Determinación del contenido en ion amonio
UNE 83955:2008	Durabilidad del hormigón. Aguas agresivas. Determinación del contenido en ion magnesio
UNE 83956:2008	Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del contenido en ion sulfato
UNE 83957:2008	Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del residuo seco
UNE 83958:2014	Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del contenido en cloruros
UNE 83959:2014	Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado. Determinación cualitativa de hidratos de carbono

UNE 83960:2014	Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado. Determinación del contenido de sustancias orgánicas solubles en éter
UNE 83963:2008 UNE 83963:2008 Erratum:2011	Durabilidad del hormigón. Suelos agresivos. Determinación del contenido en ion sulfato
UNE 83993-1:2013	Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la velocidad de penetración de la carbonatación en el hormigón endurecido. Parte 1: Método natural
UNE 146403:2018	Determinación de terrones de arcilla en áridos para la fabricación de morteros y hormigones
UNE 146404:2018	Áridos para hormigones. Medida del coeficiente de friabilidad de las arenas
UNE 146406:2018	Determinación del contenido, tamaño máximo característico y módulo granulométrico del árido grueso en el hormigón fresco
UNE 146508:2018	Ensayo de áridos. Determinación de la reactividad potencial alcali-sílice y álcali-silicato de los áridos. Método acelerado en probetas de mortero
UNE 146509:2018	Determinación de la reactividad potencial de los áridos con los alcalinos. Método de los prismas de hormigón
UNE 146513:2018	Ensayo de áridos. Determinación de la reactividad potencial de los áridos. Método químico. Determinación de la reactividad álcali carbonato
UNE 146901:2018	Áridos designación
UNE 150008:2008	Análisis y evaluación del riesgo ambiental
UNE 166002:2014	Gestión de la I+D+i: Requisitos del Sistema de Gestión de la I+D+i
UNE 180201:2016	Encofrados. Diseño general, requisitos de comportamiento y verificaciones

## 2 Normas UNE-EN

UNE-EN 196-1:2018(**)	Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas
UNE-EN 196-2:2014(**)	Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos
UNE-EN 196-3:2017(**)	Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen
UNE-EN 197-1(*)	Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes
UNE-EN 206:2013+A1:2018(**)	Hormigón. Parte 1: Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad
UNE-EN 445:2009	Lechadas para tendones de pretensado: Métodos de ensayo
UNE-EN 447:2009	Lechadas para tendones de pretensado. Requisitos básicos

UNE-EN 450-1(*)	Cenizas volantes para hormigón. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad
UNE-EN 451-1:2017(**)	Métodos de ensayo de cenizas volantes. Parte 1: Determinación del contenido de óxido de calcio libre
UNE-EN 451-2:2017(**)	Métodos de ensayo de cenizas volantes. Parte 2: Determinación de la finura por tamizado en húmedo
UNE-EN 523(*)	Vainas de fleje de acero para tendones de pretensado. Terminología, requisitos, control de calidad
UNE-EN 524-1:1997(**)	Vainas de fleje de acero para tendones de pretensado. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la forma y las dimensiones
UNE-EN 524-2:1997(**)	Vainas de fleje de acero para tendones de pretensado. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación del comportamiento a flexión
UNE-EN 524-3:1997(**)	Vainas de fleje de acero para tendones de pretensado. Métodos de ensayo. Parte 3: Ensayo de flexión en dos direcciones
UNE-EN 524-4:1997(**)	Vainas de fleje de acero para tendones de pretensado. Métodos de ensayo. Parte 4: Determinación de la resistencia a cargas laterales
UNE-EN 524-5:1997(**)	Vainas de fleje de acero para tendones de pretensado. Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación de la resistencia a tracción
UNE-EN 524-6:1997(**)	Vainas de fleje de acero para tendones de pretensado. Métodos de ensayo. Parte 6: Determinación de la estanquidad (determinación de la pérdida de agua)
UNE-EN 772-19:2001(**)	Métodos de ensayo de piezas para fábricas de albañilería. Parte 19: Determinación de la dilatación a la humedad de los grandes elementos de albañilería de arcilla cocida, perforados horizontalmente
UNE-EN 933-1:2012(**)	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado
UNE-EN 933-2:1996 UNE-EN 933-2:1996/1M:1999	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas
UNE-EN 933-3:2012(**)	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas
UNE-EN 933-8:2012 +A1:2015(**) UNE-EN 933-8:2012+A1:2015/1M:2016(**)	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena
UNE-EN 933-9:2010 +A1:2013(**)	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno

UNE-EN 934-2(*)	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado
UNE-EN 934-5(*)	Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 5: Aditivos para hormigón proyectado. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado
UNE-EN 1062-3:2008(**)	Pinturas y barnices. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimiento para albañilería exterior y hormigón. Parte 3: Determinación de la permeabilidad al agua líquida
UNE-EN 1065:1999 UNE-EN 1065:2001 Erratum	Puntales telescópicos regulables de acero. Especificaciones del producto, diseño y evaluación por cálculo y ensayos
UNE-EN 1090-1(*)	Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 1: Requisitos para la evaluación de la conformidad de los componentes estructurales
UNE-EN 1090-2:2019(**)	Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero
UNE-EN 1097-2:2010(**)	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación
UNE-EN 1097-6:2014(**)	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua
UNE-EN 1263-1:2014	Equipamiento para trabajos temporales de obra. Redes de seguridad. Parte 1: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo (Ratificada por AENOR en julio de 2016)
UNE-EN 1363-2:2000	Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales
UNE-EN 1365-3:2000	Ensayos de resistencia al fuego de los elementos portantes. Parte 3: Vigas
UNE-EN 1367-2:2010(**)	Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 2: Ensayo de sulfato de magnesio
UNE-EN 1504-2(*)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 2: Sistemas de protección superficial para el hormigón
UNE-EN 1504-3(*)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 3: Reparación estructural y no estructural
UNE-EN 1504-4(*)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 4: Adhesión estructural

UNE-EN 1504-5(*)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 5: Productos y sistemas para inyección del hormigón
UNE-EN 1504-6(*)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 6: Anclaje de armaduras de acero
UNE-EN 1504-7(*)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 7: Protección contra la corrosión de armaduras
UNE-EN 1504-9:2011(**)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 9: Principios generales para el uso de productos y sistemas
UNE-EN 1542:2000(**)	Productos y sistemas para la protección y preparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la adhesión por tracción directa
UNE-EN 16031:2013	Puntales telescópicos regulables de aluminio. Especificaciones de producto, diseño y evaluación mediante cálculo y ensayos
UNE-EN 16502:2015	Método de ensayo para la determinación del grado de acidez de un suelo de acuerdo con Baumann-Gully
UNE-EN 1744-1:2010 +A1:2013(**)	Ensayos para determinar las propiedades químicas de los áridos. Parte 1: Análisis químico
UNE-EN 1766:2000(**)	Productos y sistemas para la protección y preparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Hormigones de referencia para ensayos
UNE-EN 1990:2019	Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras
UNE-EN 1991-1-2:2019	Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego
UNE-EN 1991-2:2019	Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 2: Cargas de tráfico en puentes
UNE-EN 1992-1-1:2013	Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación
UNE-EN 1992-1-1:2013/A1:2015	
UNE-EN 1992-1-2:2011	Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego
UNE-EN 1992-2:2013	Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 2: Puentes de hormigón. Cálculo y disposiciones constructivas
UNE-EN 1993-1-1:2013	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1:
UNE-EN 1993-1-1:2013/A1:2014	Reglas generales y reglas para edificios

UNE-EN 1993-1-2:2016	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego
UNE-EN 1993-1-4:2012	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-4: Reglas generales. Reglas adicionales para los aceros inoxidables
UNE-EN 1993-1-5:2013	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-5: Placas planas cargadas en su plano
UNE-EN 1993-1-8:2013	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones
UNE-EN 1993-1-9:2013	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-9: Fatiga
UNE-EN 1993-1-10:2013	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-10: Tenacidad de fractura y resistencia transversal
UNE-EN 1993-2:2013	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Puentes
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
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
UNE-EN 1994-2:2013	Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 2: Reglas generales y reglas para puentes
UNE-EN 6892-1:2017	Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente (ISO 6892-1:2016)
UNE-EN 10024:1995	Productos de acero laminados en caliente. Sección en I con alas inclinadas. Tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10025-1(*)	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 1: Condiciones técnicas generales de suministro
UNE-EN 10025-2:2006(**)	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados
UNE-EN 10025-3:2006(**)	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 3: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino en la condición de normalizado/laminado de normalización
UNE-EN 10025-4:2007(**)	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales soldables de grano fino laminados termomecánicamente
UNE-EN 10025-5:2007(**)	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 5: Condiciones técnicas de suministro de

	los aceros estructurales con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica
UNE-EN 10025-6: 2007/A1:2009(**)	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 6: Condiciones técnicas de suministro de los productos planos de aceros estructurales de alto límite elástico en la condición de templeado y revenido
UNE-EN 10029:2011	Chapas de acero laminadas en caliente, de espesor igual o superior a 3 mm. Tolerancias dimensionales y sobre la forma
UNE-EN 10034:1994	Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma. (Versión oficial EN 10034:1993)
UNE-EN 10051:2012	Bandas y chapas laminadas en caliente en continuo, obtenidas por corte de bandas anchas de acero aleado y no aleado. Tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10055:1996	Perfil T de acero con alas iguales y aristas redondeadas laminado en caliente. Medidas y tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10056-1:2017	Angulares de lados iguales y desiguales de acero estructural. Parte 1: Medidas
UNE-EN 10056-2:1994	Angulares de lados iguales y desiguales de acero estructural. Parte 2: tolerancias dimensionales y de forma. (Versión oficial EN 10056-2:1993)
UNE-EN 10058:2004	Barras rectangulares de acero laminadas en caliente para usos generales. Dimensiones y tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10059:2004	Barras cuadradas de acero laminadas en caliente para usos generales. Dimensiones y tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10060:2004	Barras redondas de acero laminadas en caliente para usos generales. Dimensiones y tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10061:2005(**)	Barras hexagonales de acero laminadas en caliente para usos generales. Dimensiones y tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10079:2008	Definición de los productos de acero
UNE-EN 10080:2006	Acero para el armado del hormigón. Acero soldable para armaduras de hormigón armado. Generalidades
UNE-EN 10083-1:2008	Aceros para temple y revenido. Parte 1: Condiciones técnicas generales de suministro
UNE-EN 10088-1:2015(**)	Aceros inoxidables. Parte 1: Relación de aceros inoxidables
UNE-EN 10088-4(*)	Aceros inoxidables. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro para chapas y bandas de aceros resistentes a la corrosión para usos en construcción
UNE-EN 10088-5(*)	Aceros inoxidables. Parte 5: Condiciones técnicas de suministro para barras, alambrón, alambre, perfiles y

	productos brillantes de aceros resistentes a la corrosión para usos en construcción
UNE-EN 10131:2007	Productos planos de acero laminados en frío, no recubiertos o recubiertos electrolíticamente de cinc o cinc-níquel, de acero de bajo contenido en carbono y de acero de alto límite elástico para conformado en frío. Tolerancias dimensionales y de forma
UNE-EN 10149-2:2014	Productos planos laminados en caliente de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 2: Condiciones de suministro para aceros en estado de laminado termomecánico
UNE-EN 10149-3:2014	Productos planos laminados en caliente de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 2: Condiciones de suministro para aceros en estado de normalizado o de laminado de normalización
UNE-EN 10162:2005(**)	Perfiles de acero conformados en frío. Condiciones técnicas de suministro. Tolerancias dimensionales y de la sección transversal
UNE-EN 10164:2007(**)	Aceros de construcción con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto. Condiciones técnicas de suministro
UNE-EN 10204:2006(**)	Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección
UNE-EN 10210-1(*)	Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro
UNE-EN 10210-2(**)	Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino. Parte 2: Tolerancias, dimensiones y propiedades de sección
UNE-EN 10219-1:2007(*)	Perfiles huecos para construcción soldados, conformados en frío de acero no aleado y de grano fino. Parte 1:
UNE-EN 10219-1:2007 ERRATUM:2010	Condiciones técnicas de suministro
UNE-EN 10219-2:2007(**)	Perfiles huecos para construcción soldados, conformados en frío de acero no aleado y de grano fino. Parte 2: Tolerancias, dimensiones y propiedades de sección
UNE-EN 10279:2001(**)	Perfiles en U de acero laminado en caliente. Tolerancias dimensionales, de la forma y de la masa
UNE-EN 10346:2015	Productos planos de acero recubiertos en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro
UNE-EN 12350-1:2009	Ensayos de hormigón fresco. Parte 1: Toma de muestras
UNE-EN 12350-2:2009(**)	Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento
UNE-EN 12350-5:2009	Ensayos de hormigón fresco. Parte 5: Ensayo de la mesa de sacudidas
UNE-EN 12350-6:2009	Ensayos de hormigón fresco. Parte 6: Determinación de la densidad

UNE-EN 12350-7:2010(**)	Ensayos de hormigón fresco. Parte 7: Determinación del contenido de aire. Métodos de presión
UNE-EN 12350-8:2011	Ensayos de hormigón fresco. Parte 8: Hormigón autocompactante. Ensayo del escurrimiento
UNE-EN 12350-9:2011	Ensayos de hormigón fresco. Parte 9: Hormigón autocompactante. Ensayo del embudo en V
UNE-EN 12350-10:2011	Ensayos de hormigón fresco. Parte 10: Hormigón autocompactante. Método de la caja en L
UNE-EN 12350-11:2010	Ensayos de hormigón fresco. Parte 11: Hormigón autocompactante. Ensayo de segregación por tamiz
UNE-EN 12350-12:2011	Ensayos de hormigón fresco. Parte 12: Hormigón autocompactante. Ensayo con el anillo japonés
UNE-EN 12390-1:2013	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 1: Forma, dimensiones y otras características de las probetas y moldes
UNE-EN 12390-2:2009	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia
UNE-EN 12390-2:2009/1M:2015	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia
UNE-EN 12390-3:2009(**)	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas
UNE-EN 12390-3:2009/AC:2011	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas
UNE-EN 12390-8:2009	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión
UNE-EN 12390-8:2009/1M:2011	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión
UNE-EN 12390-13:2014	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 13: Determinación del módulo secante de elasticidad en compresión
UNE-EN 12499:2003	Protección catódica interna de estructuras metálicas
UNE-EN 12499:2003/AC:2006	Protección catódica interna de estructuras metálicas
UNE-EN 12504-1:2009	Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión
UNE-EN 12620(*)	Áridos para hormigón
UNE-EN 12810-1:2005	Andamios de fachada de componentes prefabricados. Parte 1: Especificaciones de los productos
UNE-EN 12812:2008	Cimbras. Requisitos de comportamiento y diseño general
UNE-EN 13036-4:2012(**)	Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Parte 4: Método para la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape. Ensayo del péndulo
UNE-EN 13055-1(*)	Áridos ligeros. Parte 1: Áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado

UNE-EN 13055-1/AC:2004(*)	Áridos ligeros. Parte 1: Áridos ligeros para hormigón, mortero e inyectado
UNE-EN 13369:2013	Reglas comunes para productos prefabricados de hormigón
UNE-EN 13374:2013	Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto. Métodos de ensayo
UNE-EN 13381-1:2016	Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Parte 1: Membranas protectoras horizontales
UNE-EN 13381-2:2016	Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Parte 2: Membranas protectoras verticales
UNE-EN 13381-3:2016	Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales. Parte 3: Protección aplicada a elementos de hormigón
UNE-EN 13381-4:2014	Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales. Parte 4: Protección pasiva aplicada a elementos de acero
UNE-EN 13381-5:2016	Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de elementos estructurales. Parte 5: Protección aplicada a elementos mixtos de hormigón/chapa de acero perfilada
UNE-EN 13381-6:2014	Métodos de ensayo para determinar la contribución a la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Parte 6: Protección aplicada a pilares huecos de acero rellenos de hormigón
UNE-EN 13438:2014	Pinturas y barnices. Recubrimientos orgánicos en polvo para productos de acero galvanizado en caliente o sherardizado, empleados en la construcción
UNE-EN 13479(*)	Consumibles para el soldeo. Norma general de producto para metales de aportación y fundentes para el soldeo por fusión de materiales metálicos
UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010(**)	Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos de reacción al fuego
UNE-EN 13501-2:2009+A1:2010	Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación
UNE-EN 13577:2008	Ataque químico al hormigón. Determinación del contenido en dióxido de carbono agresivo en el agua
UNE-EN 13579:2003(**)	Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Ensayo de secado por impregnación hidrofóbica

UNE-EN 13670:2013	Ejecución de estructuras de hormigón
UNE-EN 14399-1(*)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 14399-2:2016(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 2: Aptitud a la precarga
UNE-EN 14399-3:2016(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 3: Sistema HR. Conjuntos de tornillo y tuerca de cabeza hexagonal
UNE-EN 14399-4:2016(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 4: Sistema HV. Conjuntos de tornillo y tuerca de cabeza hexagonal
UNE-EN 14399-5:2016(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 5: Arandelas planas
UNE-EN 14399-6:2016(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 6: Arandelas planas achaflanadas
UNE-EN 14399-7:2009(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 7: Sistema HR. Conjuntos de tornillo de cabeza avellanada y tuerca
UNE-EN 14399-8:2009(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 8: Sistema HV. Conjuntos de tornillo calibrado y tuerca de cabeza hexagonal
UNE-EN 14399-10:2010(**)	Conjuntos de elementos de fijación estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 10: Sistema HRC. Conjuntos de tornillo y tuerca con precarga calibrada
UNE-EN 14487-1:2008	Hormigón proyectado. Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad
UNE-EN 14488-1:2006	Ensayos de hormigón proyectado. Parte 1: Toma de muestras de hormigón fresco y endurecido
UNE-EN 14488-2:2007	Ensayos de hormigón proyectado. Parte 2: Resistencia a compresión del hormigón proyectado a corta edad
UNE-EN 14488-5:2007	Ensayos de hormigón proyectado. Parte 5: Determinación de la capacidad de absorción de energía de probetas planas reforzadas con fibras
UNE-EN 14488-7:2007	Ensayos de hormigón proyectado. Parte 7: Contenido en fibras del hormigón reforzado con fibras
UNE-EN 14630:2007(**)	Productos y sistemas para la reparación y protección de estructuras de hormigón. Parte 1: Métodos de ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el método de la fenolftaleína
UNE-EN 14647(*)	Cemento de aluminato de calcio. Composición, especificaciones y criterios de conformidad
UNE-EN 14651:2007+A1:2008	Método de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), resistencia residual

UNE-EN 14721:2006+A1:2008	Métodos de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación del contenido en fibras en el hormigón fresco y en el endurecido
UNE-EN 14889-1(*)	Fibras para hormigón. Parte 1: Fibras de acero. Definiciones, especificaciones y conformidad
UNE-EN 14889-2(*)	Fibras para hormigón. Parte 2: Fibras poliméricas. Definiciones, especificaciones y conformidad
UNE-EN 14889-7:2007	Fibras para hormigón. Parte 7: Contenido en fibras del hormigón reforzado con fibras
UNE-EN 15037-2:2009+A1:2011	Productos prefabricados de hormigón. Sistemas de forjado de vigueta y bovedilla. Parte 2: Bovedillas de hormigón
UNE-EN 15037-3(*)	Productos prefabricados de hormigón. Sistemas de forjado de vigueta y bovedilla. Parte 3: Bovedillas de arcilla cocida
UNE-EN 15037-4(*)	Productos prefabricados de hormigón. Sistemas de forjado de vigueta y bovedilla. Parte 4: Bovedillas de poliestireno expandido
UNE-EN 15037-5(*)	Productos prefabricados de hormigón. Sistemas de forjado de vigueta y bovedilla. Parte 5: Bovedillas ligeras para encofrados simples
UNE-EN 15048-1(*)	Uniones atornilladas estructurales sin precarga. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 15048-2:2017(**)	Uniones atornilladas estructurales sin precarga. Parte 2: Aptitud al uso
UNE-EN 15305:2010	Ensayos no destructivos. Método de ensayo para el análisis de la tensión residual por difracción de rayos X
UNE-EN 15773:2019	Aplicación industrial de recubrimientos orgánicos en polvo sobre artículos de acero galvanizados en caliente o sherardizados [sistemas dúplex]. Especificaciones, recomendaciones y directrices
UNE-EN 15804:2012+A1:2014	Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción
UNE-EN 16247-1:2012	Auditorías energéticas. Parte 1: Requisitos generales
UNE-EN 16757:2018	Sostenibilidad de las obras de construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de Categoría de Producto para hormigón y elementos de hormigón
UNE-EN 83460-2:2005	Adiciones al hormigón. Humo de sílice. Parte 2: Recomendaciones generales para la utilización del humo de sílice
UNE-EN 83503:2004	Hormigones con fibras. Medida de la docilidad por medio del cono invertido
UNE-EN 83510:2004	Hormigones con fibras. Determinación del índice de tenacidad y resistencia a primera fisura

UNE-EN 83515:2010	Hormigones con fibras. Determinación de la resistencia a fisuración, tenacidad y resistencia residual a tracción. Método Barcelona
UNE-EN 83516:2015	Fibras para hormigón. Fibras de vidrio resistentes a los álcalis (AR). Definiciones, clasificación y especificaciones
UNE-EN 83607:2014 IN	Hormigón proyectado. Recomendaciones de utilización

### 3 Normas UNE-EN ISO

UNE-EN ISO 148-1:2017	Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque con péndulo Charpy. Parte 1: Método de ensayo. (ISO 148-1:2016)
UNE-EN ISO 286-2:2011	Especificación geométrica de productos (GPS). Sistema de codificación ISO para las tolerancias en dimensiones lineales. Parte 2: Tablas de las clases de tolerancia normalizadas y de las desviaciones límite para agujeros y ejes. (ISO 286-2:2010)
UNE-EN ISO 868:2003(**)	Plásticos y ebonita. Determinación de la dureza de indentación por medio de un durómetro (dureza Shore). (ISO 868:2003)
UNE-EN ISO 898-1:2015(**)	Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y de acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con clases de calidad especificadas. Rosca de paso grueso y rosca de paso fino. (ISO 898-1:2013)
UNE-EN ISO 898-2:2013(**)	Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y de acero aleado. Parte 2: Tuercas con clases de calidad especificadas. Rosca de paso grueso y rosca de paso fino. (ISO 898-2:2012)
UNE-EN ISO 1461:2010	Recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo. (ISO 1461:2009)
UNE-EN ISO 2063-1:2018	Proyección térmica. Cinc, aluminio y sus aleaciones. Parte 1: Consideraciones de diseño y requisitos de calidad para sistemas de protección contra la corrosión. (ISO 2063-1:2017)
UNE-EN ISO 2063-2:2018	Proyección térmica. Cinc, aluminio y sus aleaciones. Parte 2: Ejecución de sistemas de protección contra la corrosión. (ISO 2063-2:2017)
UNE-EN ISO 2409:2013(**)	Pinturas y barnices. Ensayo de corte por enrejado. (ISO 2409:2013)
UNE-EN ISO 2812-1:2018(**)	Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a líquidos. Parte 1: Inmersión en líquidos distintos al agua. (ISO 2812-1:2017)
UNE-EN ISO 2812-2:2007	Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a líquidos. Parte 2: Método de inmersión en agua. (ISO 2812-2:2007)

UNE-EN ISO 3452-1:2013	Ensayos no destructivos. Ensayo por líquidos penetrantes. Parte 1: Principios generales. (ISO 3452-1:2013, versión corregida 2014-05-01)
UNE-EN ISO 3506-1:2010	Características mecánicas de los elementos de fijación de acero inoxidable resistente a la corrosión. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones. (ISO 3506-1:2009)
UNE-EN ISO 3834-2:2006	Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Parte 2: Requisitos de calidad completos (ISO 3834-2:2005)
UNE-EN ISO 3834-3:2006	Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Parte 3: Requisitos de calidad normales. (ISO 3834-3:2005)
UNE-EN ISO 3834-4:2006	Requisitos de calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Parte 4: Requisitos de calidad elementales. (ISO 3834-4:2005)
UNE-EN ISO 4014:2011	Pernos de cabeza hexagonal. Productos de clases A y B. (ISO 4014:2011)
UNE-EN ISO 4016:2011	Pernos de cabeza hexagonal. Productos de clase C. (ISO 4016:2011)
UNE-EN ISO 4017:2015	Elementos de fijación. Tornillos de cabeza hexagonal. Productos de clases A y B. (ISO 4017:2014)
UNE-EN ISO 4018:2011	Tornillos de cabeza hexagonal. Productos de clase C. (ISO 4018:2011)
UNE-EN ISO 4032:2013	Tuercas hexagonales normales, tipo 1. Productos de clases A y B. (ISO 4032:2012)
UNE-EN ISO 4033:2013	Tuercas hexagonales altas, tipo 2. Productos de clases A y B. (ISO 4033:2012)
UNE-EN ISO 4034:2013	Tuercas hexagonales normales, tipo 1. Producto de clase C. (ISO 4034:2012)
UNE-EN ISO 4063:2011	Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia. (ISO 4063:2009, versión corregida 2010-03-01)
UNE-EN ISO 4624:2016	Pinturas y barnices. Ensayo de adherencia por tracción. (ISO 4624:2016)
UNE-EN ISO 4628-2:2016(**)	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 2: Evaluación del grado de ampollamiento. (ISO 4628-2:2016)
UNE-EN ISO 4628-3:2016	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 3: Evaluación del grado de oxidación. (ISO 4628-3:2016)
UNE-EN ISO 4628-4:2016(**)	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y

	tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 4: Evaluación del grado de agrietamiento. (ISO 4628-4:2016)
UNE-EN ISO 4628-5:2016(**)	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 5: Evaluación del grado de descamación. (ISO 4628-5:2016)
UNE-EN ISO 4885:2017	Productos siderúrgicos. Tratamientos térmicos. Vocabulario. (ISO 4885:2017)
UNE-EN ISO 5470-1:2017(**)	Tejidos recubiertos de plástico y caucho. Determinación de la resistencia a la abrasión. Parte 1: Aparato de ensayo de abrasión Taber (ISO 5470-1:2016)
UNE-EN ISO 5817:2014	Soldeo. Uniones soldadas por fusión en acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluido el soldeo por haz de electrones). Niveles de calidad para las imperfecciones. (ISO 5817:2014)
UNE-EN ISO 6270-1:2019	Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 1: Condensación (exposición a una cara). (ISO 6270-1:2017)
UNE-EN ISO 6272-1:2012(**)	Pinturas y barnices. Ensayos de deformación rápida (resistencia al impacto). Parte 1: Ensayo de caída de una masa con percutor de gran superficie. (ISO 6272:2011)
UNE-EN ISO 6507-1:2018(**)	Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 1: Método de ensayo (ISO 6507-1:2018)
UNE-EN ISO 6507-2:2007	Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 2: Verificación y calibración de las máquinas de ensayo (ISO 6507-2:2005)
UNE-EN ISO 6507-3:2007	Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 3: Calibración de los bloques patrón (ISO 6507-3:2005)
UNE-EN ISO 6507-4:2007	Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 4: Tabla de valores de dureza (ISO 6507-4:2005)
UNE-EN ISO 6892-1:2017	Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente. (ISO 6892-1:2016)
UNE-EN ISO 7089:2000	Arandelas planas. Serie normal. Producto de clase A. (ISO 7089:2000)
UNE-EN ISO 7090:2000	Arandelas planas achaflanadas. Serie normal. Producto de clase A. (ISO 7090:2000)
UNE-EN ISO 7091:2000	Arandelas planas. Serie normal. Producto de clase C. (ISO 7091:2000)
UNE-EN ISO 7092:2000	Arandelas planas. Serie estrecha. Producto de clase A. (ISO 7092:2000)
UNE-EN ISO 7093-1:2000	Arandelas planas. Serie ancha. Parte 1: Producto de clase A. (ISO 7093-1:2000)
UNE-EN ISO 7093-2:2000	Arandelas planas. Serie ancha. Parte 2: Producto de clase C. (ISO 7093-2:2000)

UNE-EN ISO 7094:2000	Arandelas planas. Serie extra ancha. Producto de clase C. (ISO 7094:2000)
UNE-EN ISO 7438:2016	Materiales metálicos. Ensayo de doblado (ISO 7438:2016)
UNE-EN ISO 7783:2012	Pinturas y barnices. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua. Método de la cápsula. (ISO 7783:2011)
UNE-EN ISO 8501-1:2008	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 1: Grados de óxido y de preparación de sustratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores. (ISO 8501-1:2007)
UNE-EN ISO 8502-3:2017	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Ensayos para la evaluación de la limpieza de las superficies. Parte 3: Determinación del polvo sobre superficies de acero preparadas para ser pintadas (método de la cinta adhesiva sensible a la presión). (ISO 8502-3:2017)
UNE-EN ISO 8503-1:2012	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 1: Especificaciones y definiciones relativas a las muestras ISO de comparación táctil-visual para la evaluación de superficies preparadas mediante proyección de agentes abrasivos. (ISO 8503-1:2012)
UNE-EN ISO 8503-2:2012	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 2: Método para caracterizar un perfil de superficie de acero decapado por proyección de agentes abrasivos. Utilización de muestras ISO de comparación táctil-visual. (ISO 8503-2:2012)
UNE-EN ISO 8503-3:2012	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 3: Método de calibración de las muestras ISO de comparación táctil-visual y de caracterización de un perfil de superficie. Utilización de un microscopio óptico. (ISO 8503-3:2012)
UNE-EN ISO 8503-4:2012	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 4: Método para la calibración de las muestras ISO de comparación táctil-visual y de caracterización de un perfil de superficie. Utilización de un palpador. (ISO 8503-4:2012)
UNE-EN ISO 8503-5:2017	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de la rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 5: Método de la cinta réplica para la determinación del perfil de superficie (ISO 8503-5:2017)

UNE-EN ISO 8504-1:2002	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 1: Principios generales. (ISO 8504-1:2000)
UNE-EN ISO 8504-2:2002	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 2: Limpieza por chorreado abrasivo. (ISO 8504-2:2000)
UNE-EN ISO 8504-3:2002	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 3: Limpieza manual y con herramientas motorizadas. (ISO 8504-3:1993)
UNE-EN ISO 9001:2015(**)	Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos. (ISO 9001:2015)
UNE-EN ISO 9013:2017	Corte térmico. Clasificación de los cortes térmicos. Especificación geométrica de los productos y tolerancias de calidad. (ISO 9013:2017)
UNE-EN ISO 9227:2017	Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina. (ISO 9227:2017)
UNE-EN ISO 9606-1:2017	Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros (ISO 9606-1:2012 incluido Cor 1:2012 y Cor. 2:2013)
UNE-EN ISO 9692-1:2014	Soldeo y procesos afines. Tipos de preparación de uniones. Parte 1: Soldeo por arco con electrodos revestidos, soldeo por arco protegido con gas y electrodo de aporte, soldeo por llama, soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio y soldeo por haz de alta energía de aceros. (ISO 9692-1:2013)
UNE-EN ISO 9712:2012	Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos. (ISO 9712:2012)
UNE-EN ISO 10675-1:2017	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Niveles de aceptación para los ensayos radiográficos. Parte 1: Acero, níquel, titanio y sus aleaciones. (ISO 10675-1:2016)
UNE-EN ISO 11666:2011	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Ensayo por ultrasonidos. Niveles de aceptación. (ISO 11666:2010)
UNE-EN ISO 12696:2017	Protección catódica del acero en el hormigón. (ISO 12696:2016)
UNE-EN ISO 12944-4:2018	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 4: Tipos y preparación de superficies. (ISO 12944-4:2017)
UNE-EN ISO 12944-5:2018	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 5: Sistemas de pintura protectores. (ISO 12944-5:2018)

UNE-EN ISO 12944-6:2018	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 6: Ensayos de comportamiento en laboratorio. (ISO 12944-6:2018)
UNE-EN ISO 13918:2009	Soldeo. Espárragos y férulas cerámicas para el soldeo por arco de espárragos (ISO 13918:2008)
UNE-EN ISO 13920:1997	Soldeo. Tolerancias generales en construcciones soldadas. Dimensiones de longitudes y ángulos. Forma y posición. (ISO 13920:1996)
UNE-EN ISO 14001:2015	Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 14001:2015)
UNE-EN ISO 14025:2010	Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos. (ISO 14025:2006)
UNE-EN ISO 14555: 2017	Soldeo. Soldeo por arco de espárragos de materiales metálicos. (ISO 14555:2017)
UNE-EN ISO 14713-1:2017	Recubrimientos de cinc. Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Parte 1: Principios generales de diseño y resistencia a la corrosión. (ISO 14713-1:2017)
UNE-EN ISO 14713-2:2011	Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc. Parte 2: Galvanización en caliente. (ISO 14713-2:2009)
UNE-EN ISO 14713-3:2017	Directrices y recomendaciones para la protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc. Parte 3: Sherardización. (ISO 14713-3:2017)
UNE-EN ISO 14731:2008	Coordinación del soldeo. Tareas y responsabilidades. (ISO 14731:2006)
UNE-EN ISO 14732:2014	Personal de soldeo. Ensayos de cualificación de operadores de soldeo y ajustadores de soldeo para el soldeo automático y mecanizado de materiales metálicos. (ISO 14732:2013)
UNE-EN ISO 15609-1:2005	Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Especificación del procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco. (ISO 15609-1:2004)
UNE-EN ISO 15610:2004	Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación basada en el empleo de consumibles de soldeo ensayados (ISO 15610:2003)
UNE-EN ISO 15611:2004	Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación mediante experiencia previa de soldeo (ISO 15611:2003)

UNE-EN ISO 15612:2005	Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación por adopción de un procedimiento de soldeo estándar. (ISO 15612:2004)
UNE-EN ISO 15613:2005	Especificación y cualificación de procedimientos de soldeo para materiales metálicos. Cualificación mediante ensayos de soldeo anteriores a la producción (ISO 15613:2004)
UNE-EN ISO 15614-1:2018	Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldero por arco y con gas de aceros y soldero por arco de níquel y sus aleaciones. (ISO 15614-1:2017. Versión corregida 2017-10-01)
UNE-EN ISO 15630-1:2011	Aceros para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo. Parte 1: Barras, alambres y alambón para hormigón armado. (ISO 15630-1:2010)
UNE-EN ISO 15630-2:2011	Aceros para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo. Parte 2: Mallas electrosoldadas. (ISO 15630-2:2010)
UNE-EN ISO 15630-3:2011	Aceros para el armado y el pretensado del hormigón. Métodos de ensayo. Parte 3: Aceros para pretensar
UNE-EN ISO/IEC 17024:2012	Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los organismos que realizan certificación de personas. (ISO/IEC 17024:2012)
UNE-EN ISO 17635:2017	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Reglas generales para los materiales metálicos. (ISO 17635:2016)
UNE-EN ISO 17636-1:2013	Ensayo no destructivo de soldaduras. Ensayo radiográfico. Parte 1: Técnicas de rayos X y gamma con película. (ISO 17636-1:2013)
UNE-EN ISO 17636-2:2013	Ensayo no destructivo de soldaduras. Ensayo radiográfico. Parte 2: Técnicas de rayos X y gamma con detectores digitales. (ISO 17636-2:2013)
UNE-EN ISO 17637:2017	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Examen visual de uniones soldadas por fusión. (ISO 17637:2016)
UNE-EN ISO 17638:2017	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Ensayo mediante partículas magnéticas. (ISO 17638:2016)
UNE-EN ISO 17640:2011	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Ensayo por ultrasonidos. Técnicas, niveles de ensayo y evaluación. (ISO 17640:2010)
UNE-EN ISO 17660-1:2008	Soldero. Soldero de armaduras de acero. Parte 1: Uniones soldadas que soportan carga (ISO 17660-1:2006)
UNE-EN ISO 17659:2005	Soldero. Relación multilingüe de términos con ilustraciones para uniones soldadas (ISO 17659:2002)
UNE-EN ISO 17660-2:2008	Soldero. Soldero de armaduras de acero. Parte 2: Uniones soldadas que no soportan carga. (ISO 17660-2:2006)
UNE-EN ISO 23277:2015	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Ensayo mediante líquidos penetrantes. Niveles de aceptación. (ISO 23277:2015)

UNE-EN ISO 23278:2015	Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Ensayo de uniones soldadas mediante partículas magnéticas. Niveles de aceptación. (ISO 23278:2015)
UNE-EN ISO 50001:2011	Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 50001:2011)

## 4 Normas UNE-EN ISO/IEC

UNE-EN ISO/IEC 17021-1:2015	Evaluación de la conformidad. Requisitos para los organismos que realizan la auditoría y la certificación de sistemas de gestión. Parte 1: Requisitos. (ISO/IEC 17021-1:2015)
UNE-EN ISO/IEC 17025:2005	Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración
UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 ERRATUM:2006	Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración (ISO/IEC 17025:2005/Cor. 1:2006)
UNE-EN ISO/IEC 17065:2012	Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para organismos que certifican productos, procesos y servicios (ISO/IEC 17065:2012)

## 5 Otras normas

ISO 29581-2 (**)	Cemento. Métodos de ensayo. Parte 2: Análisis químico mediante fluorescencia de rayos X
------------------	---

## ANEJO 2

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

## Contenidos del anejo

### A2 CONTRIBUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS A LA SOSTENIBILIDAD.

#### A2.1 ÍNDICE DE CONTRIBUCIÓN DE LA ESTRUCTURA A LA SOSTENIBILIDAD (ICES).

- A2.1.1 *Definición del ICES.*
- A2.1.2 *Obtención del ICES.*
- A2.1.3 *Tipos de elementos de la estructura.*
- A2.1.4 *Factor de composición tipológica.*

#### A2.2 ÍNDICE DE CONTRIBUCIÓN DEL PROCESO A LA SOSTENIBILIDAD (ICPS).

- A2.2.1 *Procesos a considerar para cada tipo de elemento.*
- A2.2.2 *Agentes que participan en la estructura.*
- A2.2.3 *Definición del ICPS.*
- A2.2.4 *Obtención del ICPS.*
- A2.2.5 *Requisitos relacionados con la sostenibilidad.*

#### A2.3 ÍNDICE DE CONTRIBUCIÓN DEL AGENTE A LA SOSTENIBILIDAD (ICAS).

- A2.3.1 *Calculo del ICAS.*
- A2.3.2 *Criterios e indicadores de sostenibilidad del agente.*
- A2.3.3 *Contribución del agente a la sostenibilidad (CAS).*
- A2.3.4 *Criterios de valoración.*

#### A2.4 ÍNDICE COMPLEMENTARIO DE CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD (ICS).

- A2.4.1 *Cálculo del ICS.*
- A2.4.2 *Criterios e indicadores de sostenibilidad del proceso o producto.*
- A2.4.3 *Contribución complementaria del proceso a la sostenibilidad (CCS).*
- A2.4.4 *Criterios de valoración.*

APÉNDICE A      CONTRIBUCIÓN DEL AGENTE A LA SOSTENIBILIDAD.

APÉNDICE B.    CONTRIBUCIÓN COMPLEMENTARIA A LA SOSTENIBILIDAD.

## A2 Contribución de las estructuras a la sostenibilidad

### A2.1 Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (ICES)

#### A2.1.1 Definición del ICES

Se define como “índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (ICES)” a la suma de las contribuciones de cada uno de los procesos involucrados en su proyecto y construcción, incluyendo los de fabricación y transformación de los materiales que incorpora.

#### A2.1.2 Obtención del ICES

El ICES deberá obtenerse siguiendo los siguientes pasos:

- Identificación de los tipos de elementos que forman la estructura, según A2.1.3.
- Cálculo de los factores de composición tipológica  $\alpha_i$ , según el apartado A2.1.4.
- Identificación de los procesos involucrados en cada uno de los tipos de elementos estructurales obtenidos en a), según tabla A2.2.
- Identificación de las organizaciones, con sus productos o servicios concretos, que aportan en cada proceso, según el apartado A2.2.2.
- Obtención del índice de contribución a la sostenibilidad de cada proceso,  $ICPS_{i,j}$  según el apartado A2.2.

NOTA: En el caso de que participe más de un producto o servicio para un proceso determinado, se obtendrá el valor ponderado por la participación correspondiente.

- Cálculo del ICES, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$ICES = \sum_{i=1}^4 \alpha_i \cdot \sum_{j=1}^{11} \beta_{i,j} \cdot ICPS_{i,j}$$

siendo:

- $\alpha_i$  : Factor de composición tipológica correspondiente al tipo  $i$ , según el apartado A2.1.4
- $\beta_{i,j}$  : Factor de contribución correspondiente al tipo  $i$  para el proceso o producto  $j$  según la tabla A2.2
- $ICPS_{i,j}$  : Índice de contribución a la sostenibilidad para el proceso o producto  $j$  en el elemento  $i$ , según el apartado A2.2.4

#### A2.1.3 Tipos de elementos de la estructura

Se dividirá la estructura por tipos de elementos, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla A2.1

Tipo, <i>i</i>	Definición
1	Elementos de hormigón armado in situ
2	Elementos de hormigón pretensado in situ
3	Elementos prefabricados de hormigón
4	Elementos de acero estructural

#### A2.1.4 Factor de composición tipológica

Para cada uno de los tipos de elementos *i* de la tabla A2.1, se define un factor de composición tipológica vinculado a su capacidad mecánica. Ésta se obtiene en función de la resistencia característica del hormigón y del límite elástico del acero estructural que compone cada uno de los elementos asociados a cada tipo de estructura, ponderado en función de sus correspondientes masas.

El factor de composición tipológica se obtendrá a partir de las características definidas en el proyecto salvo si se han modificado en la ejecución, en cuyo caso deben emplearse las características finales.

Para cada tipo de elemento *i*, se define un factor de composición tipológica  $\alpha_i$  de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{r=1}^n m_{r,i} \cdot R_{r,i}}{\sum_{r=1}^N m_r \cdot R_r}$$

donde:

- $m_{r,i}$  es la medición de todos los elementos que pertenecen al tipo *i*, con resistencia característica o límite elástico  $R_r$ , expresada en toneladas
- $R_{r,i}$  es la resistencia característica del hormigón o el límite elástico del acero de los elementos asociados al tipo *i*, expresada en MPa
- n* es el número total de resistencias características del hormigón o límites elásticos del acero de los elementos asociados al tipo de elementos *i*
- $m_r$  es la medición de todos los elementos contemplados en el proyecto con resistencia característica o límite elástico  $R_r$ , expresada en toneladas
- $R_r$  es la resistencia característica del hormigón o el límite elástico del acero contemplado por el proyecto, expresada en MPa
- N* es el número total de resistencias características del hormigón o límites elásticos del acero contemplados en el proyecto.

Estos factores de composición tipológica se deberían facilitar en el proyecto.

## A2.2 Índice de contribución del proceso a la sostenibilidad (ICPS)

### A2.2.1 Procesos a considerar para cada tipo de elemento

En función del tipo de elemento, se pueden identificar aquellos procesos que están involucrados en su proyecto y ejecución, y los productos que incorpora.

La tabla A2.2 recoge los factores de contribución de proceso y producto  $\beta_{i,j}$ , definidos como los porcentajes de participación de cada proceso o producto  $j$  en los elementos de cada tipo  $i$ .

Tabla A2.2 Factores de contribución de proceso y producto  $\beta_{i,j}$  [ $\times 10^{-2}$ ]

Factores de contribución de proceso y producto $\beta_{i,j}$ [ $\times 10^{-2}$ ]						
$j$	Proceso y producto		$\beta_{i,j}$ (según el tipo de elemento, $i$ )			
			Tipo 1 Elementos de hormigón armado <i>in situ</i>	Tipo 2 Elementos de hormigón pretensado <i>in situ</i>	Tipo 3 Elementos prefabricados hormigón	Tipo 4 Elementos de acero estructural
1	Proyecto		5	5	5	5
2	Fabricación de productos básicos	Cemento	27	26	27	0
3		Áridos	3	3	3	0
4		Aditivos	3	3	3	0
5		Acero (1)	27	26	27	55/ 45 (4)
6	Fabricación de productos transformados	Hormigón preparado	10	10	0/ 6,6	0
7		Central de prefabricación (2)	0	0	20/ 13,4/ 6,8	0
8		Acero transformado (3)	10	4	0 /6,6	0/ 10 (4)
9		Taller de estructuras metálicas	0	0	0	25
10		Sistema de Pretensado "in situ" (5)	0	8	0	0
11	Construcción en obra		15	15	15	15

- (1) Incluye los procesos de producción de acero y fabricación de los siguientes productos:
- Productos largos fabricados por laminación en caliente (barras y rollos de acero para armaduras pasivas, alambón para su posterior transformación, perfiles para acero estructural).
  - Productos planos fabricados por laminación en caliente o en frío (chapas para acero estructural, bobinas y flejes para su posterior transformación).
- (2) En el caso de centrales de prefabricación que incluyan los procesos de fabricación del hormigón y de transformación del acero, el factor de contribución será 20. Para aquellas centrales que no contemplen la fabricación del hormigón o la transformación del acero, el factor de contribución se verá reducido en 6,6 y en 13,2 si no incluyera ninguno de los dos procesos anteriores.
- (3) Incluye los procesos de fabricación de los siguientes productos:

- Perfiles de sección hueca acabados en caliente o conformados en frío y perfiles de sección abierta conformados en frío para acero estructural.
- Productos de acero trefilados o estirados en frío para armaduras pasivas y activas.
- Armaduras pasivas (ferralla armada, malla electrosoldada y armadura básica electrosoldada en celosía).

En el caso de que un producto transformado incluya dos procesos de transformación consecutivos, se considerarán ambos ponderándolos al 50%. Por ejemplo, la fabricación de armaduras pasivas a partir de productos de acero obtenidos por trefilación en frío (incluye los procesos de trefilación en frío y de elaboración de malla).

Los productos del fabricante de acero transformado se definen en el articulado de este Código. Así, las armaduras pasivas quedan definidas en el Artículo 35 y el porcentaje de participación debe repartirse en función del peso relativo de los tipos de elementos que componen una armadura pasiva determinada (ferralla armada, etc.).

- (4) En el caso de elementos de acero estructural fabricados que no utilicen productos transformados de acero, el porcentaje de participación del producto básico acero será 55; por ejemplo, los perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente. En el caso de elementos de acero estructural que utilicen productos transformados de acero, el porcentaje de participación del producto básico acero será 45 y el de producto transformado será 10; por ejemplo, la transformación de productos planos laminados en caliente (bobina, fleje) para la fabricación de productos estructurales de acero (perfiles estructurales de sección abierta o perfiles de sección hueca). En el caso de elementos de acero estructural que utilicen productos transformados de acero y no transformados de acero, para el cálculo de ICES se deberá ponderar según la cantidad de cada tipo.
- (5) Incluye los Elementos propios (Kits) del Sistema de Pretensado "in Situ" y la Aplicación de la carga de pretensado en la obra.

### A2.2.2 Agentes que participan en la estructura

A efectos de este Código se entiende por agente la persona, pública o privada, que elabora proyectos de estructuras, construye estructuras o fabrica los productos básicos o transformados indicados en la tabla A2.2. El desempeño de las funciones de los agentes se realizará a través de una organización.

### A2.2.3 Definición del ICPS

El índice de contribución del proceso o producto  $j$  a la sostenibilidad en el elemento estructural  $i$ ,  $ICPS_{i,j}$ , representa la contribución del agente (ICAS, véase el apartado A2.3) y del proyecto, producto u obra concreta (ICS, véase el apartado A2.4).

En el caso de contar con más de un agente en un proceso o producto  $j$ , debe ponderarse en función de la participación correspondiente.

Esta ponderación tendrá en cuenta los suministros reales de la obra y asegurará la trazabilidad entre los agentes intervinientes y sus ICPS. El desglose de productos básicos que se suministran a los diferentes agentes proveedores de productos transformados debe realizarse, con carácter general, caso por caso. La documentación que permita realizar los cálculos del ICES final de obra incluirá la referida en el Anejo 4 de este Código.

### A2.2.4 Obtención del ICPS

Para cada tipo de elemento  $i$  y para cada tipo de proceso o producto  $j$ , se define el índice de contribución del proceso o producto a la sostenibilidad, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$ICPS_{i,j} = (\varepsilon_j^a \cdot ICAS_{j,n} + \varepsilon_j^c \cdot ICS_{j,n})$$

donde:

$ICAS_{j,n}$  es el índice de contribución del agente  $j$  a la sostenibilidad, según el apartado A2.3

$ICS_{j,n}$  es el índice de contribución complementaria del proyecto, producto u obra, según el caso, a la sostenibilidad, según el apartado A2.4

$\varepsilon_j^a, \varepsilon_j^c$ 

son sendos factores de ponderación, que toman los valores indicados en la tabla A2.3 en función del tipo de proceso o producto  $j$  pertinente.

Tabla A2.3 Factores de ponderación

FACTORES DE PONDERACIÓN $\varepsilon_j^a$ Y $\varepsilon_j^c$				
$j$	Proceso o producto		Factor de ponderación	
			$\varepsilon_j^a$	$\varepsilon_j^c$
1	Proyecto		0,25	0,75
2	Productos básicos	Cemento	0,70	0,30
3		Áridos	0,70	0,30
4		Aditivos	0,70	0,30
5		Acero	0,70	0,30
6	Productos transformados	Hormigón preparado	0,65	0,35
7		Central de prefabricación	0,65	0,35
8		Acero transformado	0,65	0,35
9		Taller Estructuras metálicas	0,65	0,35
10		Sistema de Pretensado "in situ"	0,50	0,50
11	Construcción en obra		0,70	0,30

### A2.2.5 Requisitos relacionados con la sostenibilidad

Los indicadores empleados en este anejo se estructuran según las tres dimensiones de la sostenibilidad (económica, medioambiental y social) junto con criterios de calidad o prestacionales, como se refleja en la tabla A2.4 siguiente.

Tabla A2.4

$n$	Tipo de requisito
1	Prestacional
2	Económico
3	Medioambiental
4	Social

## A2.3 Índice de contribución del agente a la sostenibilidad (ICAS)

### A2.3.1 Cálculo del ICAS

Los procesos y productos de una estructura pueden ser desempeñados por diferentes agentes (autor del proyecto, fabricante de materiales básicos, fabricante de productos transformados o constructor).

Para cada uno de los procesos o productos  $j$ , se define un “índice de contribución del agente a la sostenibilidad”, ICAS, que se obtiene mediante la ecuación siguiente:

$$ICAS_{j,n} = \sum_n^4 \delta_{j,n}^a \cdot CAS_{j,n}$$

donde:

$\delta_{j,n}^a$  es un factor de ponderación del tipo de requisito  $n$  para el proceso  $j$ , de acuerdo con la tabla A2.5. Para cada proceso o producto  $j$ , la suma de los factores de ponderación de sus requisitos es la unidad.

$CAS_{j,n}$  es la contribución del agente  $j$  a la sostenibilidad, relativo para cada tipo de requisito  $n$  (prestacional, económico, medioambiental o social) calculado conforme al apartado A2.3.3.

Tabla A2.5 Valores de  $\delta_{j,n}^a$  para el cálculo del ICAS

FACTOR DE PONDERACIÓN $\delta_{j,n}^a$ (ICAS)						
$j$	Tipo de proceso o producto		Tipo de requisito			
			Prestacional $n = 1$	Económico $n = 2$	Medioambiental $n = 3$	Social $n = 4$
1	Proyecto		0,25	0,25	0,25	0,25
2	Productos básicos	Cemento	0,25	0,10	0,45	0,20
3		Áridos	0,15	0,10	0,40	0,35
4		Aditivos	0,15	0,15	0,50	0,20
5		Acero	0,05	0,05	0,50	0,40
6	Productos transformados	Hormigón preparado	0,25	0,10	0,50	0,15
7		Central de prefabricación	0,25	0,30	0,35	0,10
8		Acero transformado	0,10	0,05	0,45	0,40

FACTOR DE PONDERACIÓN $\delta_{j,n}^a$ (ICAS)					
$j$	Tipo de proceso o producto	Tipo de requisito			
		Prestacional $n = 1$	Económico $n = 2$	Medioambiental $n = 3$	Social $n = 4$
9	Taller Estructuras metálicas	0,10	0,05	0,45	0,40
10	Sistema de Pretensado "in situ"	0,25	0,25	0,25	0,25
11	Construcción en obra	0,30	0,20	0,30	0,20

### A2.3.2 Criterios e indicadores de sostenibilidad del agente

Este Código contempla para cada proceso o producto  $j$  una serie de criterios  $l$  para cada tipo de requisito  $n$ . El Apéndice A define los indicadores asociados, con el objeto de calcular la contribución del agente a la sostenibilidad.

Con carácter general, salvo indicación expresa, el periodo de evaluación de los indicadores será de un año.

### A2.3.3 Contribución del agente a la sostenibilidad (CAS)

Para cada agente  $j$ , se calcula su contribución a la sostenibilidad asociada a cada tipo de requisito  $n$  (prestacional, medioambiental, económico o social),  $CAS_{j,n}$  de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CAS_{j,n} = \frac{\sum_{l=1}^{10} \gamma_{j,l} \cdot \lambda_{j,l}^a}{\sum \gamma_{j,l}}$$

donde:

$\gamma_{j,l}$  es un factor de ponderación del criterio  $l$  para el agente  $j$ , de acuerdo con las tablas del Apéndice A.

$\lambda_{j,l}^a$  es la valoración de los indicadores obligatorios y voluntarios relativos al criterio  $l$  y aplicables para el agente  $j$  de acuerdo con lo indicado en el apartado A2.3.4.

### A2.3.4 Criterios de valoración

Para cada agente  $j$ , se identificarán todos los indicadores aplicables para cada criterio  $l$ , según lo indicado en el apartado 3 del Apéndice A. Estos indicadores serán:

- los obligatorios, y
- en su caso, los que hayan sido voluntariamente adoptados por el agente, de entre los así recogidos para dicho criterio en el apartado 3 del Apéndice A.

Para cada criterio  $l$  y para cada agente  $j$ , su valoración  $\lambda_{j,l}$  se determinará como:

$$\lambda_{j,l}^a = \lambda_{j,l,B}^a + \lambda_{j,l,V}^a \neq 100$$

donde:

- $\lambda_{j,l}^a$  es la valoración obtenida para el criterio  $l$  por el agente  $j$
- $\lambda_{j,l,B}^a$  es la valoración de la parte obligatoria obtenida para el criterio  $l$  por el agente  $j$  de acuerdo con los sistemas indicados en la columna 5 “Sistemas de valoración” de las tablas de indicadores incluidas en el apartado 1 del Apéndice A
- $\lambda_{j,l,V}^a$  es la valoración de la parte voluntaria obtenida para el criterio  $l$  por el agente  $j$  de acuerdo con los sistemas indicados en la columna 5 “Sistemas de valoración” de las tablas de indicadores incluidas en el apartado 1 del Apéndice A.

Para cada agente  $j$  y cada criterio  $l$ , la valoración de la parte obligatoria del criterio  $\lambda_{j,l,B}^a$  se determinará como:

$$\lambda_{j,l,B}^a = \frac{\sum_{b=1}^{M_{j,l}^b} \lambda_{j,l,b}^a}{M_{j,l}^b}$$

siendo:

- $\lambda_{j,l,b}^a$  la valoración del indicador obligatorio  $b$  para el criterio  $l$  y el agente  $j$ , de acuerdo con lo indicado el Apéndice A
- $M_{j,l}^b$  el número total de indicadores obligatorios correspondientes al criterio  $l$  y el agente  $j$ , de acuerdo con lo indicado en el Apéndice A.

Por su parte, la valoración de la parte voluntaria del criterio  $\lambda_{j,l,V}^a$ , se obtendrá mediante la ecuación siguiente:

$$\lambda_{j,l,V}^a = \sum_{v=1}^{M_{j,l}^v} \frac{\lambda_{j,l,v}^a}{5 \cdot M_{j,l}^v} \times \frac{\lambda_{j,l,B}^a}{2}$$

siendo:

- $\lambda_{j,l,v}^a$  la valoración del indicador voluntario  $v$  para el criterio  $l$  y el agente  $j$ , de acuerdo con lo indicado en el Apéndice A
- $M_{j,l}^v$  el número total de indicadores voluntarios correspondientes al criterio  $l$  y el proceso o producto  $j$ , de acuerdo con lo indicado en el Apéndice A.

En cualquier caso, la valoración final de cada conjunto de indicadores que pertenecen a un mismo criterio nunca será negativa.

## A2.4 Índice complementario de contribución a la sostenibilidad (ICS)

### A2.4.1 Cálculo del ICS

Para cada proyecto, producto u obra  $j$ , se define un “índice de contribución complementaria a la sostenibilidad”, ICS, como:

$$ICS_{j,n} = \sum_n^4 \delta_{j,n}^c \cdot CCS_{j,n}$$

donde:

$\delta_{j,n}^c$  es un factor de ponderación del tipo de requisito  $n$  para el proceso o producto  $j$ , de acuerdo con la tabla A2.6. Para cada proyecto, producto u obra  $j$ , la suma de los factores de ponderación de sus requisitos es la unidad.

$CCS_{j,n}$  es la contribución complementaria a la sostenibilidad de cada proyecto, producto u obra  $j$ , relativo para cada tipo de requisito  $n$ , (prestacional, económico, medioambiental o social) calculado conforme al apartado A2.4.3.

Tabla A2.6 Valores de  $\delta_{j,n}^c$  para el cálculo del ICS

FACTOR DE PONDERACIÓN $\delta_{j,n}^c$ (ICS)						
$j$	Tipo de proceso o producto		Tipo de requisito			
			Prestacional $n = 1$	Económico $n = 2$	Medioambiental $n = 3$	Social $n = 4$
1	Proyecto		0,34	0,33	0,33	-
2	Productos básicos	Cemento	0,8	-	0,20	-
3		Áridos	0,50	-	0,50	-
4		Aditivos	0,50	-	0,50	-
5		Acero	0,10	-	0,90	-
6	Productos transformados	Hormigón preparado	0,35	-	0,65	-
7		Central de prefabricación	0,50	-	0,50	-
8		Acero transformado	0,20	-	0,80	-
9		Taller Estructuras metálicas	0,40	-	0,60	-
10		Sistema de Pretensado "in situ"	0,50	-	0,25	0,25
11	Construcción en obra		0,35	-	0,40	0,25

#### A2.4.2 Criterios e indicadores de sostenibilidad del proceso o producto

Este Código contempla para cada proceso o producto  $j$  una serie de criterios  $l$  para cada tipo de requisito  $n$ . El Apéndice B define los indicadores asociados, con el objeto de calcular la contribución del proceso o producto a la sostenibilidad.

Con carácter general, salvo indicación expresa, el periodo de evaluación de los indicadores será de un año.

### A2.4.3 Contribución complementaria del proceso a la sostenibilidad (CCS)

Para cada proyecto, producto u obra  $j$ , se calcula su contribución complementaria a la sostenibilidad  $CCS_{j,n}$  asociada a cada tipo de requisito  $n$  (prestacional, económico, medioambiental o social), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CCS_{j,n} = \frac{\sum_{l=1}^7 \gamma_{j,l} \cdot \lambda_{j,l}^c}{\sum \gamma_{j,l}}$$

donde:

- $\gamma_{j,l}$  es un factor de ponderación del criterio  $l$  para el proyecto, producto u obra  $j$ , de acuerdo con las tablas del Apéndice B.
- $\lambda_{j,l}^c$  es la valoración de los indicadores relativos al criterio  $l$  y aplicables para el proyecto, producto u obra  $j$  de acuerdo con lo indicado en el apartado A2.4.4.

### A2.4.4 Criterios de valoración

Para cada proyecto, producto u obra  $j$ , se identificarán todos los indicadores aplicables para cada criterio  $l$ , según lo indicado en el apartado 3 del Apéndice B.

Para cada uno de los indicadores  $m$  así identificados, se procederá a determinar su valoración  $\lambda_{j,l}^c$ .

La valoración de cada criterio  $\lambda_{j,l}^c$  será la media de las valoraciones obtenidas para todos los indicadores pertenecientes al criterio, del siguiente modo:

$$\lambda_{j,l}^c = \frac{\sum_{m=1}^{M_{j,l}^m} \lambda_{j,l,m}^c}{M_{j,l}^m}$$

siendo:

- $\lambda_{j,l,m}^c$  la valoración del indicador  $m$  para el criterio  $l$  y el proyecto, producto u obra  $j$ , de acuerdo con los sistemas indicados en la columna 5 "Sistemas de valoración" de las tablas de indicadores incluidas en el apartado 1 del Apéndice B.
- $M_{j,l}^m$  el número total de indicadores correspondientes al criterio  $l$  y el proyecto, producto u obra  $j$ , de acuerdo con lo indicado en el Apéndice B.

En cualquier caso, la valoración final de cada conjunto de indicadores que pertenecen a un mismo criterio nunca será negativa.

## APÉNDICE A Contribución del agente a la sostenibilidad

### 1. Definición de indicadores para los agentes en función del tipo de criterio

NOTA 1. Mejora continua.

La mayoría de indicadores miden la mejora continua aunque no se incluye expresamente en las tablas. Algunos indicadores de forma alternativa, pueden medirse también a través de clases. En muchos de los indicadores de mejora continua se indica también si la tendencia debe ser creciente o decreciente.

NOTA 2. Objetivos de referencia.

En algunos de los indicadores/parámetros se establecen objetivos de referencia con valores límite, definidos en este Apéndice. En otros casos el objetivo de referencia debe ser establecido por la empresa y debe quedar documentado internamente.

Los objetivos o límites siempre deben ser más restrictivos que el límite legal; en el caso de discrepancia entre un valor definido en este Apéndice y el valor reglamentario aplicable, siempre debe emplearse el valor más restrictivo.

En general, y en línea con el principio de mejora continua, los objetivos de referencia de una organización deberían ser mejores que los resultados de años anteriores y que el límite legal aplicable, salvo que existan limitaciones técnicas o económicas que deberán justificarse al definir el objetivo. Cuando los objetivos de referencia no se mantengan o aumenten progresivamente a valores más exigentes respecto a los resultados obtenidos el año anterior, se debería justificar que:

- el valor está asociado a las mejores técnicas disponibles (MTD) o
- el año anterior ha sido excepcionalmente bueno o se prevé una reducción importante en la producción para el año siguiente.

NOTA 3. Entorno local y ámbito territorial.

Aunque el concepto de entorno local puede ser variable en función de cada organización, a los efectos de este Anejo se entiende como el radio de acción sobre el cual pueden afectar las decisiones tomadas por la instalación y que influyen sobre el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes así como, sobre la vida de las personas y el conjunto de la sociedad. Es decir, no se trata solo del espacio en el que se desarrolla actividad industrial sino que incluye seres vivos, objetos, agua, suelo, aire y las interacciones entre ellos, así como elementos inmateriales como la cultura. Una vez definido este concepto para cada instalación, debe mantenerse el mismo criterio a lo largo del tiempo.

A modo de ejemplo, el entorno local puede ser definido como el municipio en que se encuentra la instalación, el conjunto de municipios englobados bajo un radio de acción previamente definido (radio en km), e incluso, un área más extensa como puede ser la provincia.

En cualquier caso, la influencia de las acciones sobre el conjunto de valores naturales, sociales y culturales, así como, sobre la vida de las personas y el conjunto de la sociedad queda limitada al ámbito territorial (país) donde se encuentre situada físicamente la instalación.

NOTA 4. Sistemas de Gestión.

Las referencias a Sistemas de Gestión conformes a Normas Internacionales deben entenderse siempre como certificados en vigor emitidos por un organismo de certificación acreditados por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) o por otro organismo nacional de acuerdo al Reglamento (CE) nº 765/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008. El alcance de dichos Sistemas de Gestión debe incluir la actividad (proceso) pertinente, por ejemplo, en el caso de fabricantes, el proceso de producción y control de calidad de los productos a los que aplique el distintivo de sostenibilidad.

**NOTA 5. Proyectos a efectos de los indicadores.**

A efectos de los indicadores, se consideran proyectos aquellas actuaciones que respondan a una planificación previa documentada (una orden de trabajo de mantenimiento modificativo se consideraría suficiente), con un objetivo, medios y plazos definidos, y que tenga una evaluación posterior de los resultados.

Los proyectos solo pueden tenerse en cuenta en una de las categorías posibles (ahorro de agua, eficiencia energética, de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, de mejora ambiental y de conservación y restauración de espacios naturales). Excepcionalmente, solo los proyectos de I+D+i pueden incluirse en la categoría de proyectos de I+D+i y en alguna de las categorías citadas anteriormente.

Si existen proyectos que se desarrollan a lo largo de varios años, se puede optar por dividir la inversión total a partes iguales a lo largo de dichos años, o bien, considerar el desembolso anual realmente realizado. La organización debe optar por uno de los dos criterios cuando comienza el proyecto, definiendo su duración y manteniéndolo en el tiempo. En los años de inicio y finalización se contabilizará un proyecto siempre que su duración en el año sea, al menos, de seis meses.

**NOTA 6. Autorización Ambiental Integrada (AAI).**

El artículo 3 de la Ley 16/2002, de 1 de julio (que desarrolla la Directiva IPPC), define la Autorización Ambiental Integrada (AAI) como la resolución del órgano competente de la Comunidad Autónoma en la que se ubique la instalación, por la que se permite, a los efectos de la protección del medio ambiente y de la salud de las personas, explotar la totalidad o parte de una instalación industrial en España, bajo determinadas condiciones destinadas a garantizar que la misma cumple el objeto y las disposiciones de la Ley 16/2002 (Ley IPPC).

En la Autorización Ambiental Integrada (AAI) se fijan las condiciones ambientales que se exigirán para la explotación de las instalaciones y se especificarán los valores límite (legales) de emisiones de contaminantes a la atmósfera, emisiones de ruido y contaminantes de los vertidos.

**NOTA 7. Parámetros con obligación de medición.**

La medición de los parámetros sometidos a valores legales límite en la AAI la realizan Entidades de Colaboración con la Administración (ECA). Las mediciones quedan reflejadas en un informe disponible en la instalación.

**NOTA 8. Parámetros sin obligación de medición.**

La medición de los parámetros no sometidos a valores legales límite en la AAI la realizan Organismos de Control Acreditados. Las mediciones quedan reflejadas en un informe disponible en la instalación.

**NOTA 9: Definición de la organización**

A los efectos de este Código se entiende por organización aquella empresa, compañía, corporación, firma o institución, o parte o combinación de ellas, sean o no sociedad, pública o privada, que elabora proyectos de estructuras, construye estructuras, aplica procesos de construcción o fabrica los productos básicos o transformados indicados en la tabla A2.3.1 y que tiene sus propias funciones, administración y NIF.

Para el cálculo de los ICPS debe por tanto hacerse referencia a cada organización, definida por su NIF y razón social, y calculados según este anejo en función del tipo de proceso o producto con el que participan en la estructura.

De acuerdo con lo indicado en este anejo, el valor del ICES depende a su vez de la suma de los índices de contribución de cada producto o proceso a la sostenibilidad, ICPS, correspondientes a cada uno de los agentes. Estos índices ICPS se obtienen, a su vez, como adición de dos sumandos denominados, índice de contribución del agente, ICAS, e índice complementario de contribución a la sostenibilidad, ICS.

En el caso de que una organización aporte varios procesos o productos a la estructura, tanto el ICAS como el ICS deben calcularse para cada uno de dichos procesos o productos.

La organización es responsable del ICPS que declara y los valores de ICAS y el ICS que lo determinan solo pueden declararse por la organización que realiza el proceso y producto pertinente, no pudiendo ser sustituido por los de otra organización con independencia del nexo contractual que pudiera existir entre ellas.

En el caso de fabricantes de productos básicos o transformados, si la organización está compuesta por más de una instalación, el ICAS e ICS debe calcularse a nivel de instalación a no ser que la definición del indicador indique lo contrario.

En el caso de construcción en obra, se debe definir el alcance de “la organización” con las actividades/centros sobre las que aplicará los indicadores para calcular el ICAS. El alcance debe cubrir al menos las obras que se encuentran en el ámbito de aplicación de este Código.

Para el adecuado cálculo del ICES deberá tenerse en cuenta, en cada producto o proceso interviniente, el porcentaje de participación que, en dicho producto o proceso, tienen sus distintos proveedores con sus correspondientes aportaciones al mismo. Considerando como proveedores, a estos efectos, a los diferentes agentes que aportan los productos o procesos identificados en el apartado A2.2.

Cuando corresponda y 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 la tabla A2.2 (apartado A2.2.1), cuantificando dicha participación e indicando los agentes que actúan como proveedores de estos últimos.

Tabla A2.A.1.1

1. INDICADORES PRESTACIONALES				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
1.1	UNE-EN ISO 9001	Sistema de gestión de la calidad conforme con UNE-EN ISO 9001 certificado.	Dispone de certificado en vigor emitido por un organismo acreditado.  Máxima valoración en el caso de poseer distintivo de calidad oficialmente reconocido (DCOR).	10 (n=100)
1.2	Auditorías sobre la instalación	Auditorías externas a la empresa que avalan el cumplimiento de cuestiones técnicas, ambientales y de prevención de riesgos laborales en el proceso de fabricación del hormigón con un nivel de exigencia incluso superior al estrictamente legal.	Existe evidencia de su cumplimiento.  Máxima valoración en el caso de poseer DCOR.	10 (n=100)
1.3	Personal específico dedicado a temas ambientales	Técnico y/o departamento en la empresa dedicado, parcial o exclusivamente, con competencias específicas, a temas ambientales.	Existe evidencia de su cumplimiento.	10 (n=100)
1.4	Gestión de calidad de proveedores	Porcentaje de empresas proveedoras con sistemas de gestión de calidad conformes con UNE-EN ISO 9001 certificados por organismo acreditado.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7  Pretensado in situ 17
1.5	Gestión de calidad de contratistas y proveedores	Porcentaje de contratistas y proveedores que disponen de sistema de gestión de la calidad UNE-EN ISO 9001, certificado por un organismo acreditado, respecto al total (% CC).	Valor de CC (%).	10 (n=%CC)
1.6	Seguro de responsabilidad civil I	Seguro de responsabilidad civil, con una cobertura mínima de 600.000 €.	Dispone de seguro	10 (n=100)
1.7	Seguro de responsabilidad civil II	Seguro de responsabilidad civil, con una cobertura C, expresada en euros, superior a 6 P, siendo P la producción anual en áridos para hormigón expresada en toneladas. La cobertura mínima ha de ser de 600.000 euros y si como consecuencia del producto 6P se supera el valor de cobertura de 1.200.000 euros,	Dispone de seguro	10 (n=100)

		se permite mantener ese valor como máximo.		
1.8	Seguro de responsabilidad civil III	Seguro de responsabilidad civil, con una cobertura igual o superior a 3 millones de euros.	Dispone de seguro	10 (n=100)

Tabla A2.A.1.2

2. INDICADORES ECONÓMICOS				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
2.1	Producción anual I	Producción total de cada producto final, producida anualmente (toneladas o metros cúbicos).  Para el taller, la producción anual no se medirá en toneladas o metros cúbicos, se medirá en Horas* = (Horas <sub>ingeniería</sub> + Horas <sub>montaje</sub> )/Horas <sub>taller</sub> .	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7
2.2	Producción anual II	Facturación total anual (Prod). Se compara con el valor del objetivo de facturación incluido en el presupuesto anual (Pres).	1. Prod $\geq$ 0,9 Pres 2. 0,9 Pres > Prod $\geq$ 0,75 Pres 3. 0,75 Pres > Prod $\geq$ 0,5 Pres 4. Prod < 0,5 Pres	13
2.3	Resultado bruto de explotación (EBITDA)	Resultado bruto de explotación EBITDA (Earnings Before Interests, Taxes, Depreciation and Amortizations) relacionado con el NIF de referencia.  El EBITDA sería el resultado empresarial antes de intereses, impuestos y amortizaciones productivas.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7
2.4	Índice o margen de rentabilidad	EBITDA/Ventas totales relacionado con el NIF de referencia.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7
2.5	Rentabilidad de producción	Índice de producción (m <sup>3</sup> ) por trabajador fijo (PTF) de cada centro de producción de hormigón. Se entiende que es por instalación y referido únicamente al personal dedicado exclusivamente a la producción.	1. PTF >12.500 2. 12500 > PTF > 10000 3. 10000 > PTF > 7500 4. PTF < 7500	13
2.6	Incremento salarial	Incremento salarial (%) respecto al IPC o al PIB, entendiéndose como el aumento en porcentaje de la remuneración total de los asalariados en dinero o en especie. Se compara el incremento salarial real con el incremento del IPC o del PIB del año analizado.  Para su valoración se escogerá el IPC o PIB y se mantendrá en el tiempo.	Incremento del IPC o del PIB.	5

2.7	Relación salarial mínima/ media I	Relación entre el salario mínimo/medio bruto definido por la organización y el salario mínimo interprofesional (SMI).  Parámetros (2): 1. Relación entre el salario mínimo bruto de la organización y el salario mínimo interprofesional (SMI). 2. Relación entre el salario medio bruto de la organización y el salario mínimo interprofesional (SMI).	Objetivo para cada parámetro:  Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	2
2.8	Relación salarial mínima/ media II	Relación entre el salario mínimo bruto de la organización, definido como la media del salario bruto que percibe el conjunto de los empleados de menor cualificación profesional, y el salario mínimo interprofesional (SMI) legalmente establecido antes de ser complementado por los diferentes convenios sectoriales, provinciales o regionales, colectivos o de empresa, que legalmente sean de aplicación (RS = Salario mínimo bruto/SMI).	1. $RS \geq 1,30$ 2. $1,30 > RS \geq 1,20$ 3. $1,20 > RS \geq 1,10$ 4. $RS < 1,10$	3
2.9	Valor añadido	Valor añadido generado durante el año (euros) que puede obtenerse a partir de la cuenta de pérdidas y ganancias. Para ello, al resultado antes de impuestos se le añadirán los gastos de personal.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7
2.10	Inversiones I+D+i I	Valor total en euros de todas las inversiones en I+D+i realizadas por la organización, respecto al valor de la producción (incluidas las subvenciones).  En el valor de la inversión, debe contabilizarse únicamente la inversión en I+D+i y no el gasto asociado a la amortización de inmovilizado.	Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	5
2.11	Inversiones I+D+i II	Ratio de inversión en I+D+i con respecto a las ventas netas anuales.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7
2.12	Inversiones I+D+i III	En el ámbito de la construcción la inversión mínima en I+D+i equivale al 0,1% del importe de la facturación.	Existe evidencia de su cumplimiento.	10 (n=100)
2.13	Sistema de gestión de I+D+i	Sistema de gestión de la I+D+i conforme a UNE 166002.	Dispone de certificado en vigor emitido por un organismo acreditado.	10 (n=100)
2.14	Nº de proyectos de I+D+i finalizados	Nº de proyectos de I+D+i finalizados a lo largo del año.	Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	5
2.15	Otras inversiones (prod/calidad/mejoras ambientales)	Valor total en euros de las inversiones ejecutadas en Producción/Calidad de producto/mejora ambiental. Se mide el cumplimiento del presupuesto (Pres) en relación con la ejecución de las mismas	1. $Prod \geq 0,9 Pres$ 2. $0,9 Pres > Prod \geq 0,75 Pres$ 3. $0,75 Pres > Prod \geq 0,5$	13

		(Prod).	Pres 4. Prod < 0,5 Pres	
2.16	Inversiones en medioambiente	Importe de las inversiones ambientales respecto a los beneficios (inversiones/beneficios).	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7
2.17	Productividad de la mano de obra	Nº de trabajadores por línea (NTL) considerando únicamente el personal propio que esté directamente asignado a actividades de producción (cantera, producción, mantenimiento, expedición, calidad, prevención, medioambiente).	1. NTL < 90 2. $90 \leq \text{NTL} \leq 180$ 3. NTL > 180  Para fábricas con dos líneas se aumentarán los criterios numéricos de corte (90 y 180) en un 50% y para fábricas con tres líneas en otro 50% adicional.	16
2.18	Productividad de la energía	Evaluación de la productividad respecto al uso eficiente de la energía a través de auditorías energéticas y la implantación de medidas de eficiencia energética en las instalaciones.	1. Dispone de certificado en vigor conforme con UNE-EN ISO 50001 emitido por organismo acreditado. 2. Haber realizado una auditoría energética de acuerdo al RD 56/2016 o las partes pertinentes de la serie de las normas UNE-EN 16247. 3. No se ha establecido ninguna de las medidas anteriores	16
2.19	Productividad de los materiales	Uso de materias primas naturales ( $t_{\text{MMPNat}}$ ) por tonelada de clínker de origen con el que se han fabricado los cementos ( $t_{\text{clinker}}$ ). En el caso de que haya más de un origen, se ponderará por producción. Se expresará en toneladas secas.  Indicador de productividad respecto al uso eficiente de los recursos naturales, definido como $\text{TMTC} = t_{\text{MMPNat}}/t_{\text{clinker}}$	1. $\text{TMTC} < 1,60$ 2. $1,60 \leq \text{TMTC} < 1,70$ 3. $\text{TMTC} \geq 1,70$	16
2.20	Productividad del agua	Consumo de agua (C) de la planta de fabricación de hormigón por metro cúbico fabricado ( $l/m^3$ ).	1. $C \leq 235$ 2. $235 < C \leq 250$ 3. $250 < C < 265$ 4. $C \geq 265$	13

Tabla A2.A.1.3

3. INDICADORES MEDIOAMBIENTALES				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
3.1	Sistemas de gestión ambiental I	Sistemas de gestión ambiental conforme con UNE-EN ISO 14001.	Dispone de certificado en vigor emitido por	10 (n=100)

			organismo acreditado.	
3.2	Sistemas de gestión ambiental II	Para el acero y el acero transformado (solo las armaduras activas):  Parámetros (2): 1. Sistemas conformes con UNE-EN ISO 14001. 2. Sistema de Gestión de Sostenibilidad según UNE 36901.	Objetivo para cada parámetro:  Parámetro 1 Dispone de certificado en vigor emitido por organismo acreditado. Parámetro 2 Dispone de certificado en vigor	10 (n=50)
3.3	Sistemas de gestión ambiental III	Para áridos:  Parámetros (2): 1. Sistemas conformes con UNE-EN ISO 14001. 2. Sistema de Gestión Minera Sostenible según UNE 22480 (árido).	Objetivo para cada parámetro:  1. Dispone de ambos certificados en vigor emitidos por organismo acreditado. 2. Dispone de uno de los dos certificados en vigor. 3. No dispone de ninguno.	16
3.4	Sistemas de gestión ambiental IV	Para la producción de cemento:  Parámetros (3): 1. Sistema de Gestión conforme al Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría, EMAS. 2. Sistemas conformes con UNE-EN ISO 14001. 3. No dispone de sistema de gestión ambiental.	Dispone de certificado en vigor emitido por organismo acreditado.	16
3.5	Sistemas de gestión ambiental V	Sistema de gestión ambiental conforme con la UNE-EN ISO 14001 para las actividades de construcción.	Dispone de certificado en vigor emitido por un organismo acreditado.	10 (n=100)
3.6	Sistema de gestión energética	Sistema de gestión conforme con UNE-EN ISO 50001.	Dispone de certificado en vigor emitido por organismo acreditado.	10 (n=100)
3.7	Emisiones directas relativas de GEI I	Emisiones relativas de GEI (CO <sub>2</sub> y otros gases que puedan resultar relevantes) en toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes por tonelada de producto.  Las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) se denominan emisiones del «alcance 1» en un inventario de emisiones GEI, de acuerdo con los criterios del Greenhouse Gas Protocol.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Decreciente	6
3.8	Emisiones directas relativas de GEI II	Informe verificado favorable de emisiones de gases de efecto invernadero emitido por una tercera parte independiente.	Dispone del informe.	10 (n=100)

3.9	Emisiones indirectas relativas de GEI I	<p>Emisiones relativas de Gases de Efecto Invernadero, GEI, (CO<sub>2</sub> y otros gases que puedan resultar relevantes) en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por tonelada de producto, asociadas a la producción de la energía eléctrica y térmica adquirida.</p> <p>Las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (GEI) se denominan emisiones del «alcance 2» en un inventario de emisiones GEI, de acuerdo con los criterios del Greenhouse Gas Protocol.</p>	<p>1. Objetivo de empresa</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	<p>6</p> <p>Pretensado in situ</p> <p>4</p>
3.10	Emisiones directas relativas de GEI II	<p>Aplicación del Régimen de Comercio de Derecho de Emisión Europeo o sistema cap and trade similar.</p> <p>En el caso de sistemas cap and trade distintos al sistema europeo se requerirá verificación por tercera parte para la notificación anual de emisiones.</p>	Se evidencia su cumplimiento.	10 (n=100)
3.11	Compromiso ambiental I: Energía y emisiones de GEI	Compromiso con la mejora del desempeño en materia de energía y emisiones de GEI.	<p>1. Definición de objetivos medibles mediante indicadores</p> <p>2. Existencia de compromiso</p>	1
3.12	Consumo de materiales I	<p>Total de materiales consumidos (materias primas, auxiliares y consumibles) por producción anual.</p> <p>Para el acero y el acero transformado (solo las armaduras activas) se tendrán en cuenta al menos los siguientes materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acería (Chatarra, arrabios, prerreducidos, ferroaleaciones, cal, carbón, aceites y grasas)</li> <li>• Laminación (Palanquilla, aceites y grasas)</li> <li>• Armaduras activas (Alambrón, aceites y grasas)</li> </ul> <p>Para el taller, solo se tendrá en cuenta la materia prima transformada directamente en instalaciones propias.</p>	<p>1. Objetivo de empresa</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	6
3.13	Consumo de materiales II	Ratio de los materiales consumibles en la extracción y tratamiento de recursos minerales o en investigación y exploración geológica con respecto a la producción anual.	<p>1. Objetivo de empresa</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	6
3.14	Valorización de residuos	Existencia de reciclador para valorización de residuos de hormigón generados en la planta y su uso en la fabricación del hormigón u otro uso en la construcción o fabricación de áridos reciclados a partir de hormigón endurecido de los retornos.	Evidenciar la existencia del reciclador o verificación del proceso de tratamiento del hormigón endurecido	10 (n=100)

3.15	Consumo de energía I	<p>Consumo específico de energía por tonelada de producto final producido (GJ/t) o por ventas totales (GJ/TEP).</p> <p>Para el taller, el consumo de energía se puede categorizar para cuatro tipos de proceso (corte, armado, soldadura y pintura). Cada actividad se asocia a un porcentaje del total de energía consumida (ratio de Consumo Kwh/Tonelada de producto generado o Kwh/Euros facturados o Kwh/nº personal o plantilla en fábrica).</p>	<p>1. Objetivo empresa</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	<p>6</p> <p>Pretensado in situ</p> <p>4</p>
3.16	Consumo de energía II	<p>Consumo específico de energía (GJ/t).</p> <p>Parámetros (2):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>en el proceso de acería por tonelada de palanquilla producida.</li> <li>en el proceso de laminación por tonelada de producto final producido (GJ/t).</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>1. Objetivo:</p> <p>1.1. Acero horno eléctrico:</p> <p>- 2,7GJ/t (acería)</p> <p>- 1,8 GJ/t (laminación)</p> <p>1.2. Alambón acero ruta integral:</p> <p>- 1 GJ/t (acería)</p> <p>- 2,6 GJ/t (laminación)</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	8
3.17	Consumo de energía III	<p>Consumo específico de energía (GJ/t) en el proceso de elaboración de las armaduras activas (trefilado del alambón) por tonelada de producto final producido.</p>	<p>1. Objetivo: 1,55 GJ/t</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	8
3.18	Consumo de energía IV	<p>Consumo específico de energía (GJ/t) para el acero inoxidable:</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>en el proceso de acería por tonelada de producto as cast.</li> <li>en el proceso de laminación caliente por tonelada de producto as cast.</li> <li>en el proceso de laminación en frío, por tonelada de producto as cast.</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>1. Objetivo:</p> <p>- 4,2GJ/t (acería)</p> <p>- 3,0 GJ/t (laminación caliente)</p> <p>- Objetivo de la instalación (laminación frío)</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	8
3.19	Consumo de energía V	<p>Disminución progresiva del consumo unitario de energía por trabajador respecto a la del año anterior (CET).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li><math>CET \geq 1,00</math></li> <li><math>1,00 &gt; CET \geq 0,95</math></li> <li><math>0,95 &gt; CET \geq 0,90</math></li> </ol> <p>0,90 &gt; CET</p>	13

3.20	Uso de energías renovables I	Porcentaje de uso de energía renovable, respecto al consumo total de energía según fuentes primarias.	Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	9
3.21	Uso de energías renovables II	Contribución de la energía renovable a la combinación energética del suministro eléctrico consumida por la instalación incluyendo las fuentes renovables que pudieran existir en el recinto de la instalación.	Valor mayor o igual al 20%	10 (n=100)
3.22	Ahorro y eficiencia energética	Parámetros (2):  1. Porcentaje de ahorro energético conseguido respecto al año de referencia por unidad de producción de producto final.  2. Nº de proyectos de ahorro y eficiencia energética finalizados a lo largo del año.  El año de referencia que se adopte debe permanecer fijo en el tiempo.	Objetivo para cada parámetro:  Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	2
3.23	Consumo agua I	Consumo anual de agua en el centro productivo por tonelada producida o por metro cúbico producido.	1. Objetivo: - Objetivo de empresa (general) - 0,8 m <sup>3</sup> /t (acero horno eléctrico) - 7 m <sup>3</sup> /t (alambroón acero ruta integral) - 1 m <sup>3</sup> /t (armaduras activas) 2. Dato del año anterior  Tendencia: Decreciente	6
			<b>Pretensado in situ</b> 1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Decreciente	4
3.24	Consumo agua II	Porcentaje de ahorro de consumo de agua respecto a un año que se tome como referencia, por unidad de producción de producto final (m <sup>3</sup> /t o m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ).	Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	5
3.25	Consumo agua III	Ratio del consumo neto anual de agua primaria con respecto a la producción anual de la organización.  El cálculo se hará de acuerdo a la norma UNE 22470.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	6
3.26	Consumo agua IV	Disminución progresiva del consumo unitario de agua por trabajador respecto a la del año anterior (CAT).	1. CAT ≥ 1,002. 1,00 > CAT ≥ 0,95 3. 0,95 > CAT ≥ 0,90	13

			4. 0,90 > CAT	
3.27	Compromiso ambiental: Agua	Compromiso con la mejora del desempeño en materia de agua.	1. Definición de objetivos medibles mediante indicadores 2. Existencia de compromiso	1
3.28	Proyectos de ahorro y reutilización de agua	Nº de proyectos de ahorro y reutilización de agua finalizados a lo largo del año.	Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	5
3.29	Proyectos de conservación o restauración de espacios naturales	Parámetros (2):  1. Importe (euros) de los proyectos de conservación o restauración de espacios naturales, incluyendo las medidas compensatorias.  2. Nº de proyectos de conservación o restauración de espacios naturales finalizados a lo largo del año.	Objetivo para cada parámetro:  Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	9
3.30	Proyectos de restauración en actividades extractivas	Puesta en práctica de proyectos de integración y conservación ambiental, en los que se evalúa la implantación de actividades relacionadas con el mantenimiento y cuidado de la diversidad biológica del entorno de la fábrica o instalación extractiva.  En cemento, la evaluación se aplicará, al menos, a la cantera principal de la fábrica integral y/o en el área de influencia de las actividades productivas.  En otros casos, la evaluación se referirá necesariamente al clinker de origen con el que se han fabricado los cementos.	1. Se dispone de planes de integración/ conservación de especies en relación con la flora o fauna, introducción de especies autóctonas, producción agrícola, estudios de biodiversidad, etc. 2. Se dispone de planes de restauración avalados de acuerdo a la ley de minas para las explotaciones mineras vinculadas a la instalación 3. No se dispone de planes de restauración en las actividades extractivas.	16
3.31	Emisiones: Contaminantes convencionales (horno acería/ convertidor)	Concentración de emisiones (mg/Nm <sup>3</sup> ).  Parámetros (12): 1. Partículas 2. CO 3. NO <sub>x</sub> 4. SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> 5. Mercurio 6. Metales [As, Cd, Cr, Ni, Cu, Pb y Zn] 7. CIH 8. HF 9. COT 10. Benceno/Clorobenceno 11. HAP 12. Dioxinas (PCDF) y Furanos (PCDD)	Objetivo (valor) para cada parámetro:  <b>Acero horno eléctrico:</b> 1. Partículas (5) 2. CO (150) 3. NO <sub>x</sub> (50) 4. SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> (30) 5. Mercurio (0,05) 6. Metales (5) 7. CIH (5) 8. HF (1) 9. COT (10) 10. Benceno/Clorobenceno (0,5) 11. HAP (0,1)	10 (n=20)

		NOTA 7 y 8	12. Dioxinas PCDF (0,1) y Furanos PCDD (0,1)  <b>Alambrón acero ruta integral:</b>  1. Partículas (120)  Tendencia: Decreciente	10 (n=100)
3.32	Emisiones: Contaminantes convencionales en hornos de acería (aceros inoxidables)	Concentración de emisiones (mg/Nm <sup>3</sup> ) en focos incluidos en procesos de acería. Parámetros (3):  1. Partículas en hornos eléctricos, convertidores, coladas continuas de palanquilla y desbastes, esmeriladoras y oxicorte esmeriladora, oxicortes y fragmentadora.  2. NO <sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) en hornos eléctricos y convertidores.  3. CO (monóxido de carbono) en hornos eléctricos y convertidores.  NOTA 7 y 8	Objetivo (valor) para cada parámetro en focos de emisión:  1. Partículas en hornos eléctricos (5), convertidores (5), coladas continuas de palanquilla y desbastes (15), esmeriladoras y oxicorte esmeriladora (15), oxicortes y fragmentadora (30)  2. NO <sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) en hornos eléctricos (30) y convertidores (30)  3. CO (monóxido de carbono) en hornos eléctricos (150) y convertidores (150)  Casos valoración:  1. El 100% de los focos alcanza el objetivo  2. El 60% de los focos alcanza el objetivo  3. Otros casos  Tendencia: Decreciente	Para cada parámetro:  21
3.33	Otras emisiones: Contaminantes convencionales (acería)	Concentración de emisiones (mg/Nm <sup>3</sup> ) Parámetros (2):  1. Metales [Co, Te, Se, Sb, Mn, Sn, V]. 2. Policlorobifenilos (PCB).  NOTA 7 y 8.	Objetivo (valor) para cada parámetro:  1. Metales (5) 2. PCB (0,1)  Tendencia: Decreciente  NOTA: Este indicador no aplica al alambrón acero ruta integral	10 (n=50)

3.34	Emisiones: Contaminantes convencionales en laminación en caliente (aceros inoxidables)	<p>Concentración de emisiones (mg/Nm<sup>3</sup>) en focos incluidos en procesos de acería.</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas en trenes desbastadores y acabador, y granalladora plates.</li> <li>2. NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) en horno calentamiento desbastes y horno plates.</li> <li>3. HF (fluoruro de hidrógeno) en decapado plates.</li> </ol> <p>NOTA 7 y 8</p>	<p>Objetivo (valor) para cada parámetro en focos de emisión:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas en trenes desbastador y acabador (15), y granalladora plates (200)</li> <li>2. NO<sub>x</sub> en horno calentamiento desbastes (320) y horno plates (200)</li> <li>3. HF en decapado plates (2)</li> </ol> <p>Casos de valoración para todos los parámetros:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El 100% de los focos alcanza el objetivo</li> <li>2. El 60% de los focos alcanza el objetivo</li> <li>3. Otros casos</li> </ol> <p>Tendencia: Decreciente</p>	Para cada parámetro:  21
3.35	Emisiones: Contaminantes convencionales (horno laminación)	<p>Concentración de emisiones (mg/Nm<sup>3</sup>).</p> <p>Parámetros (4):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas.</li> <li>2. CO (monóxido de carbono).</li> <li>3. NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno).</li> <li>4. SO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub></li> </ol> <p>NOTA 7 y 8</p>	<p>Objetivo (valor) para cada parámetro:</p> <p><b>Acero horno eléctrico:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas (10)</li> <li>2. CO (50)</li> <li>3. NO<sub>x</sub> (250 si se dispone de quemadores regenerativos, 600 en otro caso)</li> <li>4. SO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> (35)</li> </ol> <p><b>Alambrón acero ruta integral:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Opacidad (1,5)</li> <li>2. CO (500)</li> <li>3. NO<sub>x</sub> (300)</li> <li>4. SO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> (2400)</li> </ol> <p>Tendencia: Decreciente</p>	10 (n=30)
3.36	Emisiones: Contaminantes convencionales en laminación en frío (aceros inoxidables)	<p>Concentración de emisiones (mg/Nm<sup>3</sup>) en focos incluidos en procesos de acería.</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas en granalladoras.</li> <li>2. NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) en hornos de recocido y decapado.</li> </ol>	<p>Objetivo (valor) para cada parámetro en focos de emisión:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas en granalladoras (20)</li> </ol>	Para cada parámetro:  21

		<p>3. HC (hidrocarburos) en laminadores.</p> <p>NOTA 7 y 8</p>	<p>2. NO<sub>x</sub> en hornos de recocido y decapado (325)</p> <p>3. HC en laminadores (10)</p> <p>Casos de valoración para todos los parámetros:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El 100% de los focos alcanza el objetivo</li> <li>2. El 60% de los focos alcanza el objetivo</li> <li>3. Otros casos</li> </ol> <p>Tendencia: Decreciente</p>	
3.37	Otras Emisiones: Contaminantes convencionales (horno laminación)	<p>Concentración de emisiones (mg/Nm<sup>3</sup>).</p> <p>Parámetros (6):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. H<sub>2</sub>S</li> <li>2. Metales [As, Hg, Cd, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Co, Te, Se, Sb, Mn, Sn, V]</li> <li>3. CIH</li> <li>4. HF</li> <li>5. COT</li> <li>6. Dioxinas (PCDF) y Furanos (PCDD).</li> </ol> <p>NOTA 7 y 8</p>	<p>Objetivo (valor) para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. H<sub>2</sub>S (50)</li> <li>2. Metales (1,5)</li> <li>3. CIH (5)</li> <li>4. HF (1)</li> <li>5. COT (5)</li> <li>6. Dioxinas PCDF (0,1) y Furanos PCDD (0,1)</li> </ol> <p>NOTA: Este indicador no aplica al alambón acero ruta integral</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	10 (n=20)
3.38	Emisiones: Contaminantes convencionales (armaduras activas)	<p>Concentración de emisiones (mg/Nm<sup>3</sup>).</p> <p>Parámetros (5):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas</li> <li>2. CO</li> <li>3. NO<sub>x</sub></li> <li>4. CIH</li> <li>5. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> </ol> <p>NOTA 7 y 8</p>	<p>Objetivo (valor) para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas (10)</li> <li>2. CO (100)</li> <li>3. NO<sub>x</sub> (250)</li> <li>4. CIH (10)</li> <li>5. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5)</li> </ol>	10 (n=25)
3.39	Emisiones: Contaminantes convencionales en procesos auxiliares (aceros inoxidables)	<p>Concentración de emisiones (mg/Nm<sup>3</sup>) en focos incluidos en procesos de acería.</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas en planta de recuperación de ácidos.</li> <li>2. NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) en torre catalítica y calderas.</li> <li>3. HF (fluoruro de hidrógeno) en torre catalítica.</li> </ol>	<p>Objetivo (valor) para cada parámetro en focos de emisión:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Partículas en planta de recuperación de ácidos (20).</li> <li>2. NO<sub>x</sub> en torre catalítica (200) y calderas (200).</li> <li>3. HF en torre</li> </ol>	Para cada parámetro:  21

		NOTA 7 y 8	<p>catalítica (3)</p> <p>Casos de valoración para todos los parámetros:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El 100% de los focos alcanza el objetivo</li> <li>2. El 60% de los focos alcanza el objetivo</li> <li>3. Otros casos</li> </ol> <p>Tendencia: Decreciente</p>	
3.40	Emisiones: NO <sub>x</sub> y partículas	<p>Concentración de emisiones (mg/Nm<sup>3</sup>) referidas a las del horno de clinker (necesariamente, al horno de clinker de origen con el que se han fabricado los cementos). Las medidas se referirán a las condiciones establecidas en la Autorización ambiental integrada como cómputo anual.</p> <p>Parámetros (2):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno).</li> <li>2. Partículas.</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Emisión de NO<sub>x</sub>:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ≤ 500</li> <li>2. &gt; 500</li> </ol> <p>Emisión de partículas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ≤ 20</li> <li>2. &gt; 20</li> </ol> <p>Para cementos tipo CAC, se considerarán sus límites específicos.</p>	18
3.41	Índices de ruidos	<p>Índice de ruido corregido a lo largo del periodo temporal de evaluación.</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Día (L<sub>x,d</sub>)</li> <li>2. Tarde (L<sub>x,t</sub>)</li> <li>3. Noche (L<sub>x,n</sub>)</li> </ol> <p>NOTA 7 y 8</p>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>El índice de ruido es menor que el límite legal en al menos 5 dB.</p> <p>Los límites legales de aplicación serán los que se establezcan en la autorización o en la normativa local aplicable a la instalación. Cuando no existan límites aplicables al periodo de tarde, se considerarán los correspondientes al periodo de día.</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	<p>10 (n=40)</p> <p>Se restarán 40 puntos por cada parámetro con superación puntual del límite legal durante el periodo de evaluación</p>

3.42	Vertidos de aguas: Residuales industriales I	Vertidos por punto de vertido.  Parámetros (2):  1. Caudal de vertido (m <sup>3</sup> /año). 2. Aceites y grasas (mg/l).  NOTA 7 y 8	Objetivo para cada parámetro:  Objetivo de empresa  Tendencia: Decreciente	10 (n=100)
3.43	Vertidos de aguas: Residuales industriales II	Vertidos por punto de vertido para el acero:  Parámetros (21):  1. Caudal de vertido (m <sup>3</sup> /año) 2. pH (unidades) 3. Conductividad (uS/cm) 4. T <sup>a</sup> (incremento °C) del medio receptor 5. Sólidos en suspensión (mg/l) 6. DBO <sub>5</sub> (mg/l) 7. DQO (mg/l) 8. Aceites y grasas (mg/l) 9. Amoniaco (mg/l) 10. Metales [Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg, Pb] (mg/l) 11. Fe (mg/l) 12. Zn (mg/l) 13. Ni (mg/l) 14. Cr total (mg/l) 15. Cianuro (mg/l) 16. Fluoruros (mg/l) 17. Sulfuros (mg/l) 18. AOX (mg/l) 19. P total (mg/l) 20. Ni total (mg/l) 21. Ag (mg/l)  NOTA 7 y 8	Objetivo (valor) para cada parámetro:  <b>Acero horno eléctrico:</b>  1. Caudal de vertido (objetivo empresa) 2. pH (6-9) 3. Conductividad (<4.000) 4. T <sup>a</sup> (1,5) 5. Sólidos suspensión (20) 6. DBO <sub>5</sub> (30) 7. DQO (100) 8. Aceites y grasas (5) 9. Amoniaco (15) 10. Metales [Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg, Pb] (12) 11. Fe (5) 12. Zn (2) 13. Ni (0,5) 14. Cr total (0,5) 15. Cianuro (1,0) 16. Fluoruros (1,5) 17. Sulfuros (2,5) 18. AOX (0,5) 19. P total (10) 20. Ni total (15) 21. Ag (0,1)  <b>Alambrón acero ruta integral:</b>  1. Caudal de vertido (objetivo empresa) 2. pH (6-9) 3. Conductividad (<1.000) 4. T <sup>a</sup> (1,5) 5. Sólidos suspensión (80) 6. DBO <sub>5</sub> (20)	10 (n=10)

			7. DQO (60) 8. Aceites y grasas (5) 9. Amoniac (15) 10. Fe (5) 11. Zn (2) 12. Ni (0,5) 13. Cr total (0,5) 14. F (1,7)  Tendencia: Decreciente	
3.44	Vertidos de aguas: Residuales industriales III	Vertidos por punto de vertido para las armaduras activas:  Parámetros (10): 1. DQO (mg/l) 2. Fe (mg/l) 3. Zn (mg/l) 4. Cr total (mg/l) 5. Ni (mg/l) 6. N total (mg/l) 7. P total (mg/l) 8. Sulfatos (mg/l) 9. Sulfuros (mg/l) 10. Aceites y grasas (mg/l)  NOTA 7 y 8	Objetivo (valor) para cada parámetro: 1. DQO (100) 2. Fe (5) 3. Zn (2) 4. Cr total (0,2) 5. Ni (0,5) 6. N total (0,2) 7. P total (10) 8. Sulfatos (1.000) 9. Sulfuros (2,5) 10. Aceites y grasas (5)  Tendencia: Decreciente	10 (n=10)
3.45	Vertidos de aguas: Residuales industriales IV (aceros inoxidables)	Vertidos por punto de vertido para el acero inoxidable:  Parámetros (14): 1. Caudal de vertido (m <sup>3</sup> /año) 2. pH (unidades) 3. Sólidos en suspensión (kg/año) 4. COT (kg/año) 5. Aceites y grasas (kg/año) 6. Fluoruros (kg/año) 7. Amonio (kg/año) 8. Ni total (kg/año) 9. Nitratos (kg/año) 10. Cr total (kg/año) 11. P total (kg/año) 12. Zn (kg/año) 13. Ni (kg/año) 14. Cu (kg/año)  NOTA 7 y 8	Objetivo (valor) para cada parámetro: 1. Caudal de vertido (objetivo empresa) 2. pH (6-9) 3. Sólidos en suspensión (57.600) 4. COT (41.400) 5. Aceites y grasas (14.500) 6. Fluoruros (14.000) 7. Amonio (70.000) 8. Ni total (995.000) 9. Nitratos (4.000.000) 10. Cr total (360) 11. P total (1.320) 12. Zn (360) 13. Ni (975) 14. Cu (60)  Tendencia: Decreciente	10 (n=10)

3.46	Otros vertidos de aguas residuales industriales	<p>Vertidos por punto de vertido:</p> <p>Parámetros (19):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Sólidos sedimentables (SS) (mg/l)</li> <li>Ba (mg/l)</li> <li>B (mg/l)</li> <li>Cr III (mg/l)</li> <li>Sn (mg/l)</li> <li>Se (mg/l)</li> <li>Mo (mg/l)</li> <li>Fenoles (mg/l)</li> <li>Cloruros (mg/l)</li> <li>Sulfitos (mg/l)</li> <li>Detergentes (mg/l)</li> <li>Trihalometanos (THM)</li> <li>Benceno-tolueno-etilbenceno-xileno (BTEX) (mg/l)</li> <li>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) (mg/l)</li> <li>Hidrocarburos totales (TPH)</li> <li>Carbono orgánico total (COT) (mg/l)</li> <li>Nitratos (mg/l)</li> <li>Cloro residual libre (mg/l)</li> <li>Toxicidad para Daphnia Magna (unidades equitox/m<sup>3</sup>)</li> </ol> <p>NOTA 7 y 8</p>	<p>Objetivo (valor) para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>SS (0,5)</li> <li>Ba (2)</li> <li>B (0,6)</li> <li>Cr III (2)</li> <li>Sn (2)</li> <li>Se (0,01)</li> <li>Mo (1)</li> <li>Fenoles (0,4)</li> <li>Cloruros (800)</li> <li>Sulfitos (3)</li> <li>Detergentes (4)</li> <li>THM (0,005)</li> <li>BTEX (0,05)</li> <li>PAH (0,01)</li> <li>TPH (5)</li> <li>COT (100)</li> <li>Nitratos (30)</li> <li>Cloro residual libre (2)</li> <li>Toxicidad (3)</li> </ol> <p>NOTA: Este indicador no aplica al alambrión acero ruta integral</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	10 (n=10)
3.47	Vertidos de aguas	Vertido cero o aprovechamiento del 100% del agua residual procedente de la producción del hormigón o de la limpieza de los camiones.	Existe evidencia de su cumplimiento.	10 (n=100)
3.48	Residuos generados	<p>Parámetros (2 ó 3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Producción anual de residuos peligrosos, por tonelada de producto final.</li> <li>Producción anual de residuos industriales no peligrosos, por tonelada de producto final.</li> <li>Nº de alarmas confirmadas de camiones con chatarras contaminadas con residuos radioactivos/1000 camiones (parámetro adicional solo para el acero).</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Objetivo de empresa</li> <li>Dato del año anterior</li> </ol> <p>Tendencia: Decreciente</p>	8
3.49	Compromiso ambiental : Residuos generados	Compromiso con la mejora del desempeño en materia de gestión de residuos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Definición de objetivos medibles mediante indicadores</li> <li>Existencia de compromiso</li> </ol>	1
3.50	Gestión de residuos	<p>Parámetros (2):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Residuos que se destinan a reciclaje o recuperación por tonelada de producto final (<math>t_{rec}/t_{producto\ final}</math>) o por</li> </ol>	Dato del año anterior	2

		ventas totales ( $t_{rec}/\text{euros}$ ). 2. Residuos que se destinan a valorización energética por tonelada de producto final ( $t_{rec}/t_{\text{producto final}}$ ) o por ventas totales ( $t_{rec}/\text{euros}$ ).	Tendencia: Creciente	
3.51	Gestión de residuos (hormigón)	Procedimiento de gestión de residuos especiales o peligrosos generados por la planta o por las empresas de mantenimiento de la misma, así como por la maquinaria móvil en su caso, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Procedimiento escrito del tratamiento que se da a todos los residuos que salen de la central.</li> <li>- Gestión de lodos de balsas; probetas, en el caso de que el laboratorio esté en la central, distinguiendo si tienen refrentado de azufre o pulido/cúbicas; residuos de taller.</li> <li>- Existencia de contenedores clasificados (chatarra, papel, envases, peligrosos).</li> <li>- Comprobación documental de recepción en vertederos y/o, de retirada de contenedores.</li> </ul>	Existe evidencia del cumplimiento.	10 (n=100)
3.52	Gestión de residuos (áridos) I	Residuos que se destinan a reciclaje o recuperación por tonelada de producto final ( $t_{rec}/t_{\text{producto final}}$ ).	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	1
3.53	Gestión de residuos (áridos) II	Sistema de gestión de residuos especiales o peligrosos, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Procedimiento escrito del tratamiento que se da a todos los residuos que salen de la central.</li> <li>- Existencia de contenedores clasificados (chatarra, papel, envases, peligrosos).</li> <li>- Comprobación documental de recepción en vertederos.</li> <li>- Comprobación documental de retirada de contenedores.</li> </ul>	Existe evidencia del cumplimiento.	10 (n=100)
3.54	Evaluación de riesgos ambientales	Análisis o Evaluación de riesgos ambientales del centro productivo de acuerdo a la norma UNE 150008.  El análisis puede haber sido realizado para dar cumplimiento a lo exigido en la Ley 26/2007 de Responsabilidad Medioambiental y su normativa relacionada.	1. Se cuenta con ARA según el cual se especifica que no es necesaria garantía financiera, seguro o aval, de acuerdo a lo definido en la Ley 26/07 de responsabilidad medioambiental 2. Se cuenta con ARA y se dispone de seguro o aval para cubrir los riesgos ambientales de la instalación según la evaluación del fabricante. 3. No se cuenta con ARA de la instalación.	16

3.55	Uso de combustibles alternativos	<p>Tasa de sustitución (TS) obtenida como la suma porcentual de los combustibles alternativos utilizados en la instalación con respecto a los combustibles convencionales (en términos de energía). Los combustibles alternativos son los informados oficialmente por la instalación como tales a efectos estadísticos.</p> <p>La tasa de sustitución se calculará en cómputo anual.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>TS \geq 25\%</math></li> <li>2. <math>15\% \leq TS &lt; 25\%</math></li> <li>3. <math>5\% \leq TS &lt; 15\%</math></li> <li>4. <math>TS &lt; 5\%</math></li> </ol>	19
3.56	Incidentes en el medioambiente	<p>Número de incidentes ambientales anuales ocurridos respecto de la cifra de negocio (por ejemplo, emisiones o vertidos fuera de límites, derrames, pérdidas o escapes de residuos, sucesos no controlados con daños al medioambiente, no conformidades ambientales, etc).</p> <p>En caso de que se registren varias superaciones de un límite legal a lo largo del año, deben considerarse como incidentes diferentes.</p>	<p>Incidentes nulos o inferiores al dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Decreciente</p>	10 (n=100)
3.57	Uso de sustancias peligrosas	<p>Reducción del consumo de sustancias peligrosas por tonelada de producto final (<math>t_{\text{sust. peligrosa}}/t_{\text{producto final}}</math>) como por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Líquidos inflamables y combustibles, excepto productos petrolíferos.</li> <li>- Gases comprimidos y licuados a presión en botellas y botellones, excepto gas natural.</li> <li>- Productos petrolíferos, excepto aceites y grasas.</li> <li>- Gas natural.</li> <li>- Líquidos corrosivos.</li> <li>- Productos tóxicos.</li> <li>- Aceites y grasas.</li> <li>- Jabones de trefilado.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Objetivo de empresa</li> <li>2. Dato del año anterior</li> </ol> <p>Tendencia: Decreciente</p>	6
3.58	Buenas prácticas de gestión de sustancias peligrosas	<p>Buenas prácticas implantadas por la organización relacionadas con la gestión de sustancias peligrosas.</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definición de buenas prácticas en la manipulación de sustancias peligrosas (por ejemplo procedimiento, instrucción interna).</li> <li>2. Definición de la actuación ante emergencias por manejo de sustancias peligrosas.</li> <li>3. Realización de simulacros que consideren escenarios de derrame o fugas de sustancias peligrosas.</li> </ol>	<p>Objetivo para todos los parámetros:</p> <p>Existe evidencia del cumplimiento.</p>	10 (n=40)

3.59	Buenas prácticas de gestión ambiental	<p>Buenas prácticas implantadas por la organización relacionadas con la gestión ambiental.</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Existencia, disponibilidad y distribución de un Manual de Buenas Prácticas Ambientales (n=50).</li> <li>Comunicación y difusión interna en la organización (n=25).</li> <li>Comunicación y difusión exterior a contratistas, proveedores, etc. (n=25).</li> </ol>	<p>Objetivo para todos los parámetros:</p> <p>Existe evidencia del cumplimiento.</p>	10 (n=según parámetro)
3.60	Afección a suelos	<p>Grado de afección a suelos [superficie (m<sup>2</sup>) y volumen (m<sup>3</sup>) de suelos contaminados].</p> <p>La inexistencia de suelos contaminados debe justificarse documentalmente. Se considera válido un informe preliminar en el que se afirme que no existe contaminación, siempre que no exista petición de información adicional o de realización de una investigación de suelos por parte de la Administración.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Valor nulo</li> <li>Dato del año anterior</li> </ol>	6
3.61	Actuaciones de remediación	<p>Parámetros (2):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Nº acumulado de actuaciones de remediación desde la realización de la caracterización de suelos.</li> <li>Superficie (m<sup>2</sup>) y volumen (m<sup>3</sup>) acumulados de suelos remediados.</li> </ol> <p>La inexistencia de suelos contaminados debe justificarse documentalmente. Se considera válido un informe preliminar en el que se afirme que no existe contaminación, siempre que no exista petición de información adicional o de realización de una investigación de suelos por parte de la Administración.</p>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Superación del año anterior</p> <p>Tendencia: Creciente</p>	10 (n=50)
3.62	Proyectos de mejora ambiental	Nº de proyectos de mejora ambiental finalizados durante el año, distintos de los indicados en 3.29.	<p>Superación del dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Creciente</p>	10 (n=100)
3.63	Gestión ambiental de contratistas	Porcentaje de empresas contratistas que están sujetas a sistemas de gestión medioambiental UNE-EN ISO 14001.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Objetivo de empresa</li> <li>Dato del año anterior</li> </ol> <p>Tendencia: Creciente</p>	7
3.64	Gestión ambiental de contratistas y proveedores	Número de contratistas y proveedores que disponen de sistema de gestión medioambiental UNE-EN ISO 14001, certificado por empresa acreditada, entre el número total de contratistas y proveedores, en tanto por cien (CR).	Valor de CR (%).	10 (n=%CR)

3.65	Gestión ambiental de proveedores	Porcentaje de empresas proveedoras que disponen de sistemas de gestión medioambiental UNE-EN ISO 14001.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7  Pretensado in situ 17
3.66	Emisiones difusas: generación de polvo en acopios y viales	Adopción de medidas específicas y verificables para la disminución de la generación de polvo en acopios (como por ejemplo, carenado o riego) teniendo en cuenta que en el caso del árido húmedo no es necesaria la misma protección.	Existe evidencia del sistema y justificación técnica de la idoneidad de la solución adoptada.	10 (n=100)
3.67	Emisiones difusas: generación de polvo	Adopción de medidas específicas y verificables para la disminución de la generación de polvo en plantas de hormigón: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carenado de cintas.</li> <li>- Carenado de báscula.</li> <li>- Sistemas de captación de polvo en zonas de transferencia de material.</li> <li>- Captador y carenado en bocas de carga sin amasadora.</li> </ul>	Existe evidencia de la adopción de la totalidad de las medidas.	10 (n=100)
3.68	Utilización de papel reciclado	Reciclado de papel (PR) como porcentaje del papel comprado. Se considera como PR aquellos que tengan un porcentaje mínimo del 50% de fibra reciclada post consumo para papel no estucado y mínimo del 30% para estucados, siendo siempre papeles procesados sin cloro o sus derivados TFC.	1. $PR \geq 33\%$ 2. $33\% > PR > 20\%$ 3. $20\% \geq PR > 10\%$ 4. $PR \leq 10\%$	14
3.69	Consumo de papel	Reducción del consumo anual de papel (RCAP) como porcentaje del papel usado el año anterior.	1. $RCAP > 25\%$ 2. $25\% \geq RCAP > 10\%$ 2. $10\% \geq RCAP > 5\%$ 3. $RCAP \leq 5\%$	14
3.70	Aprovechamiento de escorias	Aprovechamiento de al menos el 50% de las escorias producidas en la fabricación de productos de acero.	Se aporta certificado en vigor que incluye el aprovechamiento del 50% de escorias entre los requisitos evaluados, emitido por un organismo de certificación acreditado.	10 (n=100)
3.71	Delimitación de las instalaciones	Existencia de delimitación física en la totalidad del contorno de los terrenos de la planta de hormigón, con sistemas no provisionales.	Existe evidencia de la delimitación	10 (n=100)
3.72	Instalación permanente de almacenaje	Existencia de, al menos, una Instalación de carácter permanente que la organización debe disponer para almacenar el material constituyente del Sistema de Pretensado "in situ", dotándola con los servicios técnicos suficientes para calibración, conservación y mantenimiento de equipos, utillajes y medios auxiliares para la instalación de dicho Sistema en obra.	Disponer de Licencia Municipal de Apertura de la Instalación para la actividad correspondiente. El contorno de los terrenos en los que se ubica deberá estar delimitado en su totalidad con sistemas no provisionales.	10 (n=100)

Tabla A2.A.1.4

4. INDICADORES SOCIALES				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
4.1	Estabilidad en empleo I	Porcentaje de empleo indefinido sobre el total de empleo directo.	1. Objetivo de empresa o 100% 2. Dato del año anterior	7
4.2	Estabilidad en empleo II	Número de empleos con contrato indefinido en relación al número total de empleos directos, en tanto por cien (%EI).	Valor de EI (%)	10 (n=%EI)
4.3	Empleo directo e indirecto	<p>Parámetros (2):</p> <p>1. Empleo directo: Nº total de trabajadores de la organización (puestos de trabajo equivalentes) [=a/b]</p> <p>Siendo:</p> <p>(a) Total de horas trabajadas por empleo directo. Se obtiene a través de los datos del total de horas trabajadas de toda la plantilla (Fuente: Departamento de personal, cotizaciones a la seguridad social)</p> <p>(b) Media anual de horas trabajadas en puestos de trabajo a tiempo completo. Se utiliza el dato de horas anuales de convenio (por ejemplo 1.670 h) multiplicado por el número de trabajadores de plantilla</p> <p>2. Empleo indirecto: Nº total de trabajadores que presta servicio en la organización contratados por terceros, ya sea por actividad propia o auxiliar (puestos de trabajo equivalentes) [=a*/b]</p> <p>Siendo:</p> <p>(a*) Total de horas trabajadas por empleo indirecto. Se obtiene a través de los datos del total de horas trabajadas del personal de contratados (Fuente: Departamento de personal, cotizaciones a la seguridad social).</p>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Creciente</p>	1

4.4	Empleo directo	Número total de trabajadores de la organización (puestos de trabajo equivalentes estimados como el cociente entre el total de horas trabajadas y la media anual de horas trabajadas en puestos de trabajo a tiempo completo) respecto del volumen de facturación.	Dato del año anterior  Tendencia creciente	5
4.5	Empleo indefinido respecto al directo	Relación entre el número de empleos indefinidos y el número total de empleos directos, referido al personal propio de la fábrica de origen del cemento o clinker, relacionado directamente con actividades de producción (cantera, producción, mantenimiento, expedición, calidad, seguridad y medioambiente).  $\text{EIED (\%)} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{empleos indefinidos}}{\text{N}^{\circ} \text{total empleos directos}} * 100$	1. EIED > 80% 2. 70% < EIED ≤ 80% 3. EIED ≤ 70	16
4.6	Costes de formación	Costes de formación respecto al total de la masa salarial.  La masa salarial se define como la remuneración de los asalariados en dinero o en especie, que un establecimiento o industria paga a un asalariado como contraprestación por el trabajo que éste realiza, más el valor de las contribuciones sociales a pagar por el empleador a los sistemas de seguridad social obligatoria, o a los sistemas privados de seguro social.	1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7  Pretensado in situ 17
4.7	Acciones de formación I	Parámetros (2):  1. N° de acciones de formación realizadas durante el año 2. Horas de formación respecto al total de la plantilla.	Objetivo para cada parámetro: 1. Objetivo de empresa 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	7  Pretensado in situ 17
4.8	Acciones de formación II	Horas totales de formación respecto al número total de trabajadores de la organización (puestos de trabajo equivalentes estimados como el cociente entre el total de horas trabajadas y la media anual de horas trabajadas en puestos de trabajo a tiempo completo.)	Dato del año anterior  Tendencia : Creciente	5
4.9	Libertad de asociación y convenios colectivos	Disponibilidad de políticas, prácticas y procedimientos para facilitar la representación de los trabajadores.	Objetivo para todos los parámetros:	10 (n=40)

		<p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Normas o procedimientos que garanticen que los trabajadores puedan afiliarse a sindicatos sin temor a sufrir represalias, aplicables en particular a selección y promoción del personal, archivo de información y datos personales y decisiones sobre despidos o traslados</li> <li>2. Convenio colectivo en vigor</li> <li>3. Mecanismos de comunicación con los representantes de los trabajadores.</li> </ol>	Existe la política, norma o procedimiento mencionada	
4.10	Sistemas de gestión de riesgos laborales I	Sistema de gestión de riesgos laborales según OHSAS 18001 o ISO 45001.	Dispone de certificado en vigor emitido por organismo acreditado	10 (n=100)
4.11	Sistemas de gestión de riesgos laborales II	Sistema de gestión de riesgos laborales en el centro productivo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dispone de un certificado en vigor conforme a OSHAS 18001 emitida por una entidad acreditada</li> <li>2. Se cuenta con un sistema de gestión de riesgos laborales propio de la empresa/grupo auditado en el último ejercicio</li> <li>3. No se cuenta con sistema de gestión de riesgos laborales auditado o certificado</li> </ol>	16
4.12	Sistemas de gestión de riesgos laborales III	Sistema de gestión de riesgos laborales según OHSAS 18001 o ISO 45001.	Dispone de certificado en vigor	10 (n=100)
4.13	Índices de siniestralidad de personal propio I	<p>Parámetros (4):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Índice de frecuencia (<math>I_f</math>)</li> <li>2. Índice de incidencia (<math>I_i</math>)</li> <li>3. Índice de gravedad (<math>I_g</math>)</li> <li>4. Índice de frecuencia (mortales) (<math>I_f(\text{mortales})</math>).</li> </ol> <p>Siendo:</p> $I_f = \frac{N^{\circ}_{\text{total accidentes con baja}}}{N^{\circ}_{\text{total horas hombre trabajadas}}} * 10^6$	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Objetivo de empresa o valor nulo</li> <li>2. Dato del año anterior</li> </ol> <p><b>Construcción</b></p> <p>Dato del año anterior</p>	<p>8</p> <p>10 (n=25)</p>

		$I_i = \frac{N^{\circ}_{\text{total accidente con baja}}}{N^{\circ}_{\text{total personas expuestas}}} * 10^5$ $I_g = \frac{N^{\circ}_{\text{total jornadas perdidas por accidente}}}{N^{\circ}_{\text{total horas hombre trabajadas}}} * 10^3$ $I_f (\text{mortales}) = \frac{N^{\circ}_{\text{total accidentees mortales en jornada de trabajo}}}{N^{\circ}_{\text{total horas hombre trabajadas}}} * 10^8$ <p>Se entiende por "horas hombre" la suma de horas reales de trabajo del personal propio, descontando toda ausencia en el trabajo por permisos, vacaciones, bajas por enfermedad o accidente, etc.</p>	Tendencia: Decreciente	
4.14	Índices de siniestralidad de personal propio en plantas de hormigón	<p>Valor del índice medio de la empresa en los últimos 3 años (<math>I_m</math>) respecto al índice del sector en el último informe sectorial (<math>I_s</math>).</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Índice de frecuencia (<math>I_f</math>)</li> <li>Índice de incidencia (<math>I_i</math>)</li> <li>Índice de gravedad (<math>I_g</math>).</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><math>I_m \leq 50\% I_s</math></li> <li><math>75\% I_s \geq I_m &gt; 50\% I_s</math></li> <li><math>I_s \geq I_m &gt; 75\% I_s</math></li> <li><math>I_m &gt; I_s</math></li> </ol>	13
4.15	Índices de siniestralidad de personal de contratas I	<p>Parámetros (4):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Índice de frecuencia (<math>I_f</math>)</li> <li>Índice de incidencia (<math>I_i</math>)</li> <li>Índice de gravedad (<math>I_g</math>)</li> <li>Índice de frecuencia (mortales) (<math>I_f (\text{mortales})</math>).</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Objetivo de empresa o valor nulo</li> <li>Dato del año anterior</li> </ol> <p>Tendencia: Decreciente</p>	8
4.16	Índices de siniestralidad de personal de contratas II	Índice de frecuencia (mortales).	Dato del año anterior	5
4.17	Acciones específicas de prevención	<p>Parámetros (2):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Acciones de prevención: N° de acciones de reducción de riesgos laborales, iniciadas, en curso o finalizadas durante el año</li> <li>Programas de formación en materia de salud y seguridad:</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Parámetro 1: Objetivo a elegir entre los siguientes y que deberá mantenerse</p>	<p>Par. 1: General 2 Pretensado in situ</p>

		Horas de formación, en materia de seguridad y salud y seguridad laboral, realizadas durante el año incluyendo las impartidas por la empresa al personal de contrata.	<p>en el tiempo:</p> <p>1. Dato del año anterior</p> <p>2. N° de acciones planificadas en el plan de prevención</p> <p>Parámetro 2:</p> <p>1. Horas planificadas en el plan de formación.</p> <p>2. Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Creciente</p>	<p>5</p> <p>Par.2: General 11</p> <p>Pretensado in situ 17</p>
4.18	Acciones específicas de prevención con formación superior a la mínima legal exigible	Cursos de Prevención de Riesgos Laborales con duración superior a la mínima legal exigible realizados durante el año.	<p>1.- Cursos citados planificados en el plan de formación</p> <p>2.- Dato del año anterior</p> <p>Tendencia: Creciente</p>	17
4.19	Índices de seguridad y salud laboral	<p>Parámetros (3):</p> <p>1. Índice de incidencia de fallecimientos:</p> $IIF = \frac{N^{\circ} \text{ accidentes mortales} * 1.000}{N^{\circ} \text{ trabajadores}}$ <p>2. Índice de incidencia de accidentes con incapacidad temporal:</p> $IIACIT = \frac{N^{\circ} \text{ accidentes con incapacidad temporal} * 1.000}{N^{\circ} \text{ trabajadores}}$ <p>3. Índice de gravedad:</p> $IGACIT = \frac{N^{\circ} \text{ jornadas perdidas por incapacidad temporal} * 1.000}{N^{\circ} \text{ total horas trabajadas}}$ <p>El número de trabajadores incluirá a empleados propios, incluidos los contratados a jornada completa, a tiempo parcial y los temporales (estos dos</p>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Parámetro 1:</p> <p>1.IIF=0</p> <p>2. -</p> <p>3.IIF &gt; 0</p> <p>Parámetro 2:</p> <p>1. IIACIT &lt;25</p> <p>2. 25 ≤ IIACIT &lt; 50</p> <p>3. IIACIT ≥ 50</p> <p>Parámetro 3:</p> <p>1.IG &lt; 0,80</p> <p>2.0,80 ≤ IG &lt; 1,0</p> <p>3.IG ≥ 1,0</p>	20

		<p>últimos, estimados como equivalentes de jornada completa). Se incluyen empleados de todas las empresas donde exista un control de la dirección y de las empresas con las que se haya firmado un acuerdo técnico o de gestión.</p> <p>Los indicadores pueden ser calculados a nivel de empresa o a nivel de instalación.</p>		
4.20	Buen Gobierno/ Responsabilidad Corporativa	<p>Disponibilidad de políticas, prácticas y procedimientos de buen gobierno.</p> <p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Existencia de una política sobre buen gobierno, pero sin definición de acciones concretas</li> <li>Normas o procedimientos con criterios para evitar la corrupción en el ámbito interno (por ejemplo respecto a los proveedores)</li> <li>Normas o procedimientos con criterios para evitar la corrupción en el ámbito externo (por ejemplo respecto a los clientes, etc.).</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Existe la política, norma o procedimiento mencionada</p> <p>Tendencia: Creciente</p>	10(n=33,4)
4.21	Buen Gobierno y Responsabilidad Social Corporativa	<p>Realización de las actividades indicadas.</p> <p>Parámetros (8):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Se dispone de un código ético o de conducta que indique las normas y pautas generales que marcan los principios de actuación corporativos y éste se transmite a todos los grupos de interés</li> <li>Disponer de un comité o comisión de ética</li> <li>Definir normas o procedimientos éticos de actuación en los procesos de compra y selección de proveedores</li> <li>Definir normas o procedimientos éticos de actuación relacionadas con los clientes</li> <li>Herramientas para preservar la privacidad del cliente, protección y tratamiento de datos personales e información confidencial</li> <li>Adhesión a iniciativas que impulsen el comportamiento ético (Pacto Mundial de Naciones Unidas)</li> <li>Desarrollo de sistemas de mejora para la excelencia en el</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Existe evidencia de la implantación de la actividad</p>	10 (n=20)

		<p>servicio y para incrementar la gestión responsable (por ejemplo: Sistema de gestión ética y socialmente responsable SGE 21. etc.)</p> <p>8. Existencia de acciones concretas para la diversidad de género.</p>		
4.22	Acciones de integración o igualdad	<p>Acciones de integración o de fomento de la igualdad, realizadas durante el año.</p> <p>Parámetros (6):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Existencia de una política contra la discriminación pero sin definición de acciones concretas</li> <li>Normas o procedimientos de contratación/promoción con criterios contra la discriminación suficientemente detallados</li> <li>Medidas de mejora de condiciones para las mujeres en estado de gestación u otros grupos con necesidades especiales</li> <li>Equiparación de hombres y mujeres en los puestos de trabajo (existencia de trabajadores de ambos sexos en todas las combinaciones de categoría/área)</li> <li>Contratación de trabajadores discapacitados por encima del mínimo legalmente requerido (cuando no exista cuota fijada por normativa estatal, debe ser al menos de un 2%, para empresas de más de 50 trabajadores)</li> <li>Convenios con administraciones públicas.</li> </ol>	<p>Objetivo para todos los parámetros:</p> <p>Existe la política, norma, procedimiento o medida mencionada</p>	10 (n=20)
4.23	Beneficios sociales	<p>Beneficios sociales no obligatorios adoptados por la organización, incluidas las medidas de conciliación.</p> <p>Parámetros (8):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Flexibilización de la jornada laboral</li> <li>Reducción de jornada para atención de niños o personas discapacitadas, por encima de lo reconocido por la legislación o programas o convenios con guarderías</li> <li>Comedor social, cheque restaurante u otros programas análogos</li> </ol>	<p>Objetivo para todos los parámetros:</p> <p>Existe la política, norma, procedimiento o medida mencionada</p>	10 (n=20)

		<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Transporte al centro de trabajo (siempre que pueda acogerse a él, en función de su residencia, al menos la mitad de la plantilla)</li> <li>5. Actividades culturales, deportivas o recreativas para trabajadores y sus familias</li> <li>6. Becas, préstamos o subvenciones a la formación para los trabajadores y sus familias en cualquier ámbito</li> <li>7. Seguros o programas de salud para los trabajadores y sus familias, con un coste reducido respecto al precio de mercado.</li> <li>8. Programas de asistencia en caso de infortunio familiar grave, incluidos seguros de vida.</li> </ol>		
4.24	Patrocinios y proyectos culturales, deportivos y ambientales	<p>Parámetros (3):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proyectos culturales</li> <li>2. Proyectos deportivos</li> <li>3. Proyectos ambientales</li> </ol> <p>Para los tres parámetros se elegirá uno de los siguientes métodos de cálculo, que deberá mantenerse en el tiempo:</p> <p>a) Importe de las aportaciones a los proyectos realizados o patrocinados por la empresa respecto al valor de la producción en unidades monetarias o toneladas (euros/euros o euros/t).</p> <p>b) Importe de los proyectos finalizados respecto al valor de la producción en unidades monetarias o toneladas (euros/euros o euros/t).</p>	<p>Objetivos para cada parámetro:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Objetivo de empresa</li> <li>2. Dato del año anterior</li> </ol> <p><b>Pretensado in situ</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Objetivo de empresa</li> <li>2. Dato del año anterior</li> </ol>	<p>12</p> <p>22</p>
4.25	Colaboración con agentes del entorno.	Existen colaboraciones con Instituciones o entidades locales (ayuntamientos, clubs deportivos, etc.).	Existe evidencia de la existencia de colaboraciones	10(n=100)

4.26	Proyectos sociales	<p>Proyectos sociales como por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programas de formación profesional</li> <li>- Apoyo a discapacitados</li> <li>- Convenios con universidades y centros de investigación</li> <li>- Cátedras singularizadas</li> <li>- Donaciones/acción social.</li> </ul> <p>Para el cálculo del parámetro se elegirá uno de los siguientes métodos, que deberá mantenerse en el tiempo:</p> <p>a) Importe de las aportaciones a proyectos sociales realizados o patrocinados por la empresa respecto al valor de la producción en unidades monetarias o toneladas (euros/euros o euros/t)</p> <p>b) N° de los proyectos sociales finalizados respecto al valor de la producción en unidades monetarias o toneladas</p> <p>(N° proyectos/euros o N° proyectos/t).</p>	<p>1. Objetivo de empresa</p> <p>2. Dato del año anterior</p>	7
4.27	Comunicación sobre la Responsabilidad Social I	<p>Mecanismos de comunicación con las partes interesadas de la organización o grupo empresarial al que pertenezca, para informar sobre su actuación social, económica y medioambiental.</p> <p>Parámetros (4):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Publicación de memorias o informes de responsabilidad social (n=40)</li> <li>2. Reuniones con partes interesadas (n=20)</li> <li>3. Comunicaciones relacionadas con los productos (n=20)</li> <li>4. Encuestas públicas dirigidas a conocer la opinión de las partes interesadas sobre la actuación de la organización (n=20).</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Existe el mecanismo de comunicación mencionado</p> <p>Tendencia: Creciente</p>	10 (n= según parámetro)
4.28	Comunicación sobre la Responsabilidad Social II	<p>Dispone de una memoria de comunicación con las partes interesadas.</p>	<p>Dispone de la memoria.</p>	10 (n=100)
4.29	Actividades en comunidad	<p>Realización de las actividades indicadas.</p> <p>Parámetros (9):</p>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p>	10 (n=20)

		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fundaciones laborales</li> <li>2. Relaciones con las universidades</li> <li>3. Redacción de memorias de sostenibilidad, incluso a nivel de grupo</li> <li>4. Participación en actividades sectoriales y de promoción</li> <li>5. Participación en comités de normalización</li> <li>6. Acuerdos de colaboración con entidades del tercer sector (ONGs o Fundaciones) para desarrollar proyectos conjuntos</li> <li>7. Requerimientos sociales para la selección de proveedores, favoreciendo la contratación de proveedores locales</li> <li>8. Información sobre la gestión social en la comunicación de la empresa</li> <li>9. Programas de promoción del voluntariado corporativo.</li> </ol>	Existe evidencia de la implantación de la actividad	
4.30	Comportamiento con los empleados	<p>Realización de las actividades indicadas.</p> <p>Parámetros (7):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Iniciativas que favorecen la conciliación entre vida profesional y personal (flexibilidad de horarios, posibilidad de jornada reducida, teletrabajo, etc.)</li> <li>2. Programas de formación y desarrollo profesional según necesidades y niveles, con presupuesto anual para formación</li> <li>3. Programas de evaluación del desempeño</li> <li>4. Canales de comunicación que fomenten la participación e implicación de los trabajadores</li> <li>5. Programas de Seguridad, Salud y Bienestar Laboral</li> <li>6. Estudios de clima laboral</li> <li>7. Gestión de la diversidad (culturas, religiones, orígenes, sexo y raza, entre otros) en la selección, formación, desarrollo y retribución de la plantilla.</li> </ol>	<p>Objetivo para cada parámetro:</p> <p>Existe evidencia de la implantación de la actividad</p>	10 (n=20)

4.31	Reclamaciones de clientes	Nº de reclamaciones de clientes por tonelada de producto final. Se considerarán solo las registradas durante el año y evaluadas como procedentes, relacionadas con la calidad del producto o con aspectos comerciales.  Parámetros (2): 1. Reclamaciones de calidad 2. Reclamaciones comerciales.	Objetivo para cada parámetro:  Valor nulo o inferior al dato del año anterior  Tendencia: Decreciente	10 (n=50)
4.32	Satisfacción del cliente I	Número de reclamaciones de cliente por millón de toneladas vendidas (R). Se considerarán solo las registradas y evaluadas como procedentes y relacionadas con la calidad del producto y no con la calidad del servicio.  Ser realizará la evaluación por empresa.	1.- $0 \leq R \leq 30$ 2.- $30 < R \leq 60$ 3.- $R > 60$	16
4.33	Satisfacción del cliente II	Realización de las actividades indicadas.  Parámetros (5): 1. Encuestas de satisfacción de clientes 2. Evaluación de la satisfacción del cliente por medios alternativos 3. Sistemas CRM (Customer Relationship Management o Gestión basada en la relación con los clientes) 4. Cursos, formación y orientación de clientes 5. Existencia de servicios de asistencia técnica.	Objetivo para cada parámetro:  Existe evidencia de la implantación de la actividad	10 (n=20)
4.34	Satisfacción del cliente III	Realización de las actividades indicadas.  Parámetros (2): 1. Existencia de encuestas de satisfacción de clientes 2. Puntuación media de los clientes con un valor mínimo del 70%.	Objetivo para cada parámetro:  Existe evidencia de la implantación de la actividad	10 (n=50)
4.35	Satisfacción del cliente y terceros	Protocolo de registro de quejas de terceros o reclamaciones de clientes, en relación con temas de calidad, ambientales o sociales, y de su tratamiento.	Disponer del protocolo	10(n=100)
4.36	Auditorías de protección de datos	Realización de auditorías de protección de datos al menos cada dos años valorando el resultado de la última auditoría.	Según el informe de auditoría:  1.Ninguna desviación	7

			2. Se han implantado en plazo medidas para resolver al menos el 75% de las desviaciones	
4.37	Empleo local I	Empleo asociado a los contratistas de la organización que procedan del entorno local y que trabajen en el interior de las instalaciones (puestos de trabajo equivalentes estimados como la relación entre el total de horas trabajadas y la media anual de horas trabajadas en puesto de trabajo a tiempo completo.)	Superación del dato del año anterior  Tendencia: Creciente	10 (n=100)
4.38	Empleo local II	Empleo generado por la organización en el entorno de 50 km alrededor de cada una de sus sedes, en proporción al número total de empleados (EML).  En el caso de las empresas constructoras, este indicador se refiere a la sede central donde están ubicados los servicios centrales de la empresa	EML > 75% 75% ≥ EML > 65% 65% ≥ EML > 50% EML ≤ 50%	14
4.39	Compras locales I	Porcentaje de compras locales de bienes y servicios.  Parámetros (3):  1. Porcentaje de compras locales de chatarra (acero) 2. Porcentaje de compras locales de palanquilla (acero) 3. Porcentaje de compras locales de otros bienes y servicios (todos los agentes).	Objetivo para cada parámetro:  <b>General</b> Superación del dato del año anterior  Tendencia: Creciente  <b>Pretensado in situ</b> 1. Dato del presupuesto anual 2. Dato del año anterior  Tendencia: Creciente	2          17
4.40	Compras locales II	Compra de materias primas para la fabricación de hormigón:  Parámetros (2):  1. Áridos: a menos de 30 km de la central 2. Cementos: a una de las dos instalaciones más próximas a la central.	Objetivo para cada parámetro:  Existe evidencia del cumplimiento	10 (n=50)

4.41	Compras y empleo local	Porcentaje de suministros locales de las principales materias primas constituyentes (propias o ajenas) de clinker y cemento en un radio de 100 km, medidos sobre el porcentaje de compras de la instalación en toneladas (R).	1.- $R \geq 60\%$ 2.- $60\% > R \geq 40\%$ 3.- $R < 40\%$	16
------	------------------------	---	---	----

## 2. Criterios de valoración de los indicadores

La siguiente tabla define los sistemas de valoración para obtener la puntuación  $\lambda_{j,l,b}^a$  o  $\lambda_{j,l,v}^a$  (en adelante  $\lambda_{j,l}$ ) de cada indicador en función del sistema indicado para cada caso en la columna 5 "Sistema de valoración" de las tablas del apartado anterior.

Tabla A2.A.2

SISTEMAS DE VALORACIÓN			
Nº sistema	$\lambda_{j,l}$	Nº sistema	$\lambda_{j,l}$
1	+100 Si alcanza objetivo 1 +50 Si no alcanza objetivo 1 pero supera objetivo 2 -50 Si no alcanza objetivo 1 ni objetivo 2	2	+100 Si supera objetivo 0 Si se iguala objetivo -50 Si inferior a objetivo
3	1. +100 2. +75 3. +25 4. +0	4	+100 si no se supera objetivo 1 +50 si se supera objetivo 1 pero no supera objetivo 2 0 si se supera objetivo 1 y se supera objetivo 2  Cuando objetivo 1 = objetivo 2 se aplicará: +100 si no se supera objetivo 1 +50 si se supera objetivo 1 pero no supera (1,35 . objetivo 1) 0 si supera (1,35 . objetivo 1)  Considerando como objetivo 2 el mejor valor de los obtenidos en años anteriores  En el caso de producción en regresión (producción presupuestada para el año < producción real del año anterior) podrá aceptarse que objetivo 1 > objetivo 2 y se podrá aplicar la misma tabla de valoración indicada para el caso en el que objetivo 1 = objetivo 2
5	+100 Si supera objetivo +50 Si se iguala objetivo	6	+100 Si alcanza objetivo 1 +50 Si no alcanza objetivo 1 pero

	0 Si inferior a objetivo		inferior objetivo 2 0 Si no alcanza objetivo 1 ni inferior objetivo 2
7	+100 Si alcanza objetivo 1 +50 Si no alcanza objetivo 1 pero supera objetivo 2 0 Si no alcanza objetivo 1 ni superior objetivo 2	8	+100 Si alcanza objetivo 1 +50 Si no alcanza objetivo 1 pero inferior objetivo 2 -50 Si no alcanza objetivo 1 ni inferior objetivo 2
9	+100 Si supera objetivo +50 Si no supera objetivo 0 Otros casos	10 (n)	+n Si alcanza objetivo 0 Otros casos
11	+100 Si alcanza objetivo 1 y supera objetivo 2 +50 Si alcanza objetivo 1 e iguala objetivo 2 0 Si no alcanza objetivo 1 pero iguala objetivo 2 -50 Otros casos	12	+100 Si alcanza objetivo 1 +50 Si no alcanza objetivo 1 pero supera objetivo 2 0 Si no alcanza objetivo 1 pero iguala objetivo 2 -50 Otros casos
13	1. + 100 2. + 75 3. + 25 4. + 0	14	1. + 100 2. + 50 3. + 25 4. + 0
15	Para cada parámetro 1 y 2: 1. +50 2. +25 3. + 0	16	1. + 100 2. + 60 3. + 0
17	+100 si se alcanza objetivo 1 +50 si no alcanza objetivo 1 pero supera objetivo 2 0 si no alcanza objetivo 1 ni supera objetivo 2  Cuando objetivo 1 = objetivo 2 se aplicará: +100 si alcanza objetivo 1 +50 si no alcanza objetivo 1 pero alcanza o supera (0,65. objetivo 1) 0 si no alcanza (0,65 . objetivo 1)  Considerando como objetivo 2 el mejor valor de los obtenidos en años anteriores	18	Para cada parámetro 1 y 2: 1. + 50 2. + 0
19	1. +100 2. +75	20	Para cada parámetro: 1. + 34

	3. +50 4. +25		2. + 10 3. + 0
21	1. + 40 2. + 20 3. + 0	22	+100 si alcanza objetivo 1 +50 si no alcanza objetivo 1 pero supera objetivo 2 0 si no alcanza objetivo 1 pero iguala objetivo 2 -50 Otros casos  Cuando objetivo 1 = objetivo 2 se aplicará: +100 si alcanza objetivo 1 +50 si no alcanza objetivo 1 pero alcanza o supera (0,65 . objetivo 1) 0 si no alcanza (0,65 . objetivo 1)  Considerando como objetivo 2 el mejor valor de los obtenidos en años anteriores  En el caso de producción en regresión (producción presupuestada para el año < producción real del año anterior) podrá aceptarse que objetivo 1 < objetivo 2 y se podrá aplicar la misma tabla de valoración indicada para el caso en el que objetivo 1 = objetivo 2

En el caso de que la aplicación de los criterios de valoración anteriores conllevaran valores de  $\lambda_{j,l} > 100$ , se tomará un valoración máxima de  $\lambda_{j,l} = 100$ .

NOTA: En el caso de existir varios parámetros, la valoración de cada indicador se obtiene como la suma de la valoración positiva o negativa de cada uno de los parámetros que incluye. La puntuación positiva del indicador queda limitada a un máximo de 100 puntos. La puntuación del indicador queda limitada inferiormente a un mínimo de 0 puntos.

Ejemplo: Indicador con 4 parámetros P1, P2, P3 y P4.

Se indica entre paréntesis la puntuación obtenida en cada parámetro:

**Caso 1:** P1 (100), P2 (+50), P3 (0), P4 (-50)

Puntuación del indicador (PI) =  $\Sigma$  Puntuación de los 4 parámetros = 100 + 50 + 0 - 50 = 100

Valor final del indicador PI = 100

**Caso 2:** P1 (100), P2 (100), P3 (0), P4 (-50)

Puntuación del indicador PI =  $\Sigma$  Puntuación de los 4 parámetros = 100 + 100 + 0 - 50 = 150

Valor final del indicador PI = 100

**Caso 3:** P1 (+50), P2 (-50), P3 (0), P4 (-50)

Puntuación del indicador =  $\Sigma$  Puntuación de los 4 parámetros = 50 - 50 + 0 - 50 = - 50

Valor final del indicador PI = 0

## 3. Selección de indicadores aplicables a cada agente

Tabla A2.A.3.1

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (PROYECTO, $j = 1$ )					
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	-
Económicos	1	Producción/productividad	0,5	2.2	-
	2	Índices de rentabilidad	0,5	2.3, 2.4	-
	3	Inversiones	-	-	-
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,4	3.1	-
	2	Emisiones GEI			-
	3	Materiales	-	-	-
	4	Energía	0,15	3.19	-
	5	Agua	0,15	3.26	-
	6	Biodiversidad	-	-	-
	7	Otras emisiones	-	-	-
	8	Vertidos	-	-	-
	9	Residuos	0,15	3.49	-
	10	Otros aspectos ambientales	0,15	3.68, 3.69	-
Sociales	1	Empleo	0,2	4.1	4.3, 4.6, 4.7, 4.9
	2	Salud y seguridad laboral	0,25	4.11	4.15, 4.17, 4.19
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,2	4.23	4.20, 4.22
	4	Comunidad	0,1	4.29	-
	5	Satisfacción clientes	0,15	4.34	4.31
	6	Compras y empleo local	0,1	4.38	

Tabla A2.A.3.2

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (CEMENTO, $j = 2$ )					
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	-
Económicos	1	Producción/productividad	1	2.17, 2.18, 2.19	-
	2	Índices de rentabilidad	-	-	-
	3	Inversiones	-	-	-
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,15	3.4	-
	2	Emisiones GEI	0,15	3.10	-
	3	Materiales	0,14	3.55	-
	4	Energía	0,14	3.21	-
	5	Agua	-	-	-
	6	Biodiversidad	0,14	3.30	-
	7	Otras emisiones	0,14	3.40	-
	8	Vertidos	-	-	-
	9	Residuos	-	-	-
	10	Otros aspectos ambientales	0,14	3.54	-
Sociales	1	Empleo	0,2	4.5	-
	2	Salud y seguridad laboral	0,3	4.19, 4.11	-
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,2	4.20	-
	4	Comunidad	0,2	4.29, 4.30	-
	5	Satisfacción clientes	0,05	4.33	4.32
	6	Compras y empleo local	0,05	4.41	-

Tabla A2.A.3.3

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (ÁRIDOS, $j = 3$ )					
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	1.7
Económicos	1	Producción/productividad	0,50	2.2	2.1
	2	Índices de rentabilidad	0,25	-	2.6, 2.7, 2.9
	3	Inversiones	0,25	-	2.11, 2.16
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,25	3.3	-
	2	Emisiones GEI	-	-	-
	3	Materiales	0,15	3.13	-
	4	Energía	0,10	-	3.15, 3.20,
	5	Agua	0,10	3.24	3.25
	6	Biodiversidad	0,25	3.30	3.29, 3.54
	7	Otras emisiones	-	-	-
	8	Vertidos	-	-	-
	9	Residuos	0,10	3.48	3.52 3.53
	10	Otros aspectos ambientales	0,05	-	3.56, 3.58
Sociales	1	Empleo	0,17	4.7, 4.9	4.1, 4.3, 4.6
	2	Salud y seguridad laboral	0,17	4.11, 4.13, 4.17	4.15
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,17	4.20	4.22, 4.23
	4	Comunidad	0,16	-	4.24, 4.25, 4.27, 4.29, 4.30
	5	Satisfacción clientes	0,17	4.31	4.33
	6	Compras y empleo local	0,16	4.38	4.39

Tabla A2.A.3.4

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (ADITIVOS, $j = 4$ )					
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	-
Económicos	1	Producción/productividad	0,33	2.1	-
	2	Índices de rentabilidad	0,34	2.3, 2.4, 2.6	2.7, 2.9
	3	Inversiones	0,33	2.10	2.14, 2.15
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,12	3.1	
	2	Emisiones GEI	-	-	-
	3	Materiales	0,11	3.12	-
	4	Energía	0,11	3.23	3.20, 3.22
	5	Agua	0,11	3.24	3.28
	6	Biodiversidad	0,11	3.29	-
	7	Otras emisiones	0,11	3.41	-
	8	Vertidos	0,11	3.42	-
	9	Residuos	0,11	3.48	3.50
	10	Otros aspectos ambientales	0,11	3.57	3.56, 3.58, 3.62
Sociales	1	Empleo	0,17	4.1, 4.3, 4.6, 4.9	4.7
	2	Salud y seguridad laboral	0,17	4.13, 4.15	4.10, 4.17
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,17	4.20	4.22, 4.23
	4	Comunidad	0,17	4.24	4.26, 4.27, 4.29
	5	Satisfacción clientes	0,16	4.31	4.33, 4.36
	6	Compras y empleo local	0,16	4.37, 4.40	

Tabla A2.A.3.5

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (ACERO, $j = 5$ )					
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	-
Económicos	1	Producción/productividad	0,3	2.1	-
	2	Índices de rentabilidad	0,5	2.3, 2.4	2.6, 2.7, 2.9
	3	Inversiones	0,2	2.10	2.14, 2.16
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,05	3.2	
	2	Emisiones GEI	0,25	3.7, 3.9	-
	3	Materiales	0,05	3.12	-
	4	Energía	0,15	3.6, 3.16(1), 3.18(2)	3.20,3.22
	5	Agua	0,15	3.23, 3.24	3.28
	6	Biodiversidad	0,05	3.29	-
	7	Otras emisiones	0,1	3.31(1), 3.32(2), 3.34(2), 3.35(1), 3.36(2), 3.39(2), 3.41	3.33(1), 3.37(1)
	8	Vertidos	0,1	3.43(1), 3.45(2)	3.46(1)
	9	Residuos	0,05	3.48, 3.70	3.50
	10	Otros aspectos ambientales	0,05	3.57, 3.60, 3.63	3.56, 3.58, 3.61, 3.62, 3.65
Sociales	1	Empleo	0,3	4.1, 4.3, 4.9	4.6, 4.7
	2	Salud y seguridad laboral	0,3	4.10, 4.13, 4.15	4.17
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,25	4.20, 4.22, 4.23	-
	4	Comunidad	0,05	4.24, 4.26	4.27, 4.29

	5	Satisfacción clientes	0,05	4.31	4.33, 4.36
	6	Compras y empleo local	0,05	4.37, 4.39	-

- (1) No aplica a los aceros inoxidables.  
(2) Solo aplica a los aceros inoxidables.

Tabla A2.A.3.6

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (HORMIGÓN, $j = 6$ )					
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.2, 1.3	1.1
Económicos	1	Producción/productividad	0,5	2.20	
	2	Índices de rentabilidad	0,5	2.5	
	3	Inversiones			
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,1	3.1	
	2	Emisiones GEI			
	3	Materiales	0,15	3.14	
	4	Energía			
	5	Agua			
	6	Biodiversidad			
	7	Otras emisiones			
	8	Vertidos	0,2	3.47	
	9	Residuos	0,2	3.51	
	10	Otros aspectos ambientales	0,35	3.66, 3.67, 3.71	
Sociales	1	Empleo	0,2	4.3, 4.9	4.7
	2	Salud y seguridad laboral	0,2	4.11, 4.14	
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,15	4.20	
	4	Comunidad	0,15	4.29	4.25
	5	Satisfacción clientes	0,15	4.35	4.36
	6	Compras y empleo local	0,1 5	4.40	

Tabla A2.A.3.7

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (PREFABRICADOS DE HORMIGÓN, $j = 7$ )					
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	
Económicos	1	Producción/productividad	0,1	2.1	-
	2	Índices de rentabilidad	0,6	2.3, 2.4	
	3	Inversiones	0,3	2.10	2.14
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,50	3.1	
	2	Emisiones GEI	-	-	-
	3	Materiales	0,1	3.12	-
	4	Energía	0,05	3.15	3.20
	5	Agua	0,05	3.24	
	6	Biodiversidad	-	-	-
	7	Otras emisiones	0,05	3.41	-
	8	Vertidos	0,06	3.42	-
	9	Residuos	0,12	3.48	3.50
	10	Otros aspectos ambientales	0,07	3.57, 3.66	3.56
Sociales	1	Empleo	0,25	4.1, 4.9	4.7
	2	Salud y seguridad laboral	0,30	4.13	4.10, 4.17
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,15	4.22	4.20
	4	Comunidad	0,05	4.24	-
	5	Satisfacción clientes	0,20	4.31	4.36
	6	Compras y empleo local	0,05	4.38	-

Tabla A2.A.3.8

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (ACERO TRANSFORMADO, $j=8$ )					
Requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	-
Económicos	1	Producción/productividad	0,3	2.1	-
	2	Índices de rentabilidad	0,5	2.3, 2.4	2.6, 2.7, 2.9
	3	Inversiones	0,2	2.10	2.14, , 2.16
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,1/0,05 (1)	3.1, 3.2(1)	-
	2	Emisiones GEI (1)	0,25 (1)	3.7(1), 3.9(1)	-
	3	Materiales	0,1 /0,05 (1)	3.12	-
	4	Energía	0,3/0,15 (1)	3.15, 3.17 (1)	3.6, 3.20,3.22
	5	Agua	0,1/0,15(1)	3.23, 3.24(1)	3.28
	6	Biodiversidad (1)	0,05 (1)	3.29(1)	-
	7	Otras emisiones	0,1	3.38(1), 3.41	-
	8	Vertidos	0,1	3.42, 3.44(1)	-
	9	Residuos	0,1/0,05 (1)	3.48	3.50
	10	Otros aspectos ambientales	0,1/0,05 (1)	3.57, 3.60(1), 3.63	3.56, 3.58, 3.61(1), 3.62, 3.65
Sociales	1	Empleo	0,3	4.1, 4.3	4.6, 4.7, 4.9
	2	Salud y seguridad laboral	0,3	4.13, 4.15, 4.17	4.10
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,25	4.20	4.22, 4.23
	4	Comunidad	0,05	4.29	4.24, 4.26, 4.27
	5	Satisfacción clientes	0,05	4.31	4.33, 4.36
	6	Compras y empleo local	0,05	4.37, 4.39	-

(1) Solo aplica a armaduras activas.

Tabla A2.A.3.9

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (TALLER ESTRUCTURAS METÁLICAS, j=9)					
Requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1	-
Económicos	1	Producción/productividad	0,3	2.1	-
	2	Índices de rentabilidad	0,5	2.3, 2.4	2.6, 2.7, 2.9
	3	Inversiones	0,2	2.10	2.14, 2.16
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,1	3.1	-
	2	Materiales	0,1	3.12	-
	3	Energía	0,3	3.15	3.6, 3.20, 3.22
	4	Agua	0,1	3.23	3.28
	5	Otras emisiones	0,1	3.41	-
	6	Vertidos	0,1	3.42	-
	7	Residuos	0,1	3.48	3.50
	8	Otros aspectos ambientales	0,1	3.57, 3.63	3.56, 3.58, 3.62, 3.65
Sociales	1	Empleo	0,3	4.1, 4.3	4.6, 4.7, 4.9
	2	Salud y seguridad laboral	0,3	4.13, 4.15, 4.17	4.10
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,25	4.20	4.22, 4.23
	4	Comunidad	0,05	4.24, 4.26, 4.29	4.27
	5	Satisfacción clientes	0,05	4.31, 4.36, 4.33	-
	6	Compras y empleo local	0,05	4.37, 4.39	-

Tabla A2.A.3.10

(Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (PRETENSADO, j=10))					
Requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1, 1.8	1.4
Económicos	1	Producción/productividad	0,3	2.2	-
	2	Índices de rentabilidad	0,5	2.8	-

	3	Inversiones	0,2	2.15	-
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,24	3.1	3.65
	2	Emisiones GEI	0,34	3.9	-
	3	Materiales	-	-	-
	4	Energía	0,16	3.15	-
	5	Agua	0,16	3.23	-
	6	Biodiversidad	-	-	-
	7	Otras emisiones	-	-	-
	8	Vertidos	-	-	-
	9	Residuos	-	-	-
	10	Otros aspectos ambientales	0,10	3.72	3.68
Sociales	1	Empleo	0,35	4.6, 4.7	4.30
	2	Salud y seguridad laboral	0,25	4.13, 4.17	4.18
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,20	4.20	-
	4	Comunidad	0,05	4.22	4.24, 4.29
	5	Satisfacción clientes	0,10	4.31, 4.33	-
	6	Compras y empleo local	0,05	4.39	-

Tabla A2.A.3.11

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICAS (CONSTRUCCION EN OBRA, j=11)					
Requisitos	Criterios			Indicadores	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	Obligatorios	Voluntarios
Prestacionales	1	Calidad	1	1.1, 1.6	1.5
Económicos	1	Índices de rentabilidad	0,7	2.6	2.7
	2	Inversiones	0,3	2.12, 2.13	
Medioambientales	1	Sistemas de Gestión	0,08	3.5	
	2	Emisiones GEI	0,34	3.8	-
	3	Materiales	-		-
	4	Energía	0,16	3.11	
	5	Agua	0,16	3.27	
	6	Biodiversidad	-		
	7	Otras emisiones	-		

	8	Vertidos	-		
	9	Residuos	0,16	3.49	
	10	Otros aspectos ambientales	0,10		3.56, 3.59, 3.64
Sociales	1	Empleo	0,35	4.8	4.2, 4.4
	2	Salud y seguridad laboral	0,30	4.12, 4.13	4.16,4.17
	3	Buen Gobierno, diversidad, igualdad y beneficios sociales	0,25	4.21	4.22
	4	Comunidad	0,10	4.28	4.24, 4.29
	5	Satisfacción clientes	-		
	6	Compras y empleo local	-		

## APÉNDICE B. Contribución complementaria a la sostenibilidad

### 1. Definición de indicadores relacionados con la contribución complementaria de los procesos

NOTA 1: Distintivos de sostenibilidad oficialmente reconocidos

Los distintivos oficialmente reconocidos deben cumplir los requisitos establecidos en el artículo 7 de este Código.

NOTA 2: Declaraciones ambientales de producto

El administrador de programa que emite la declaración ambiental de producto (DAP) deberá hacerlo de acuerdo a los productos de construcción de la tabla A2.2 y contar con unas instrucciones generales públicamente disponibles, conforme a la Norma UNE-EN ISO 14025.

El organismo verificador deberá cumplir las Instrucciones generales del administrador de programa que emite la declaración ambiental de producto.

El organismo verificador deberá estar acreditado conforme a la Norma UNE-EN ISO/IEC 17065 por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) o por otro organismo nacional de acuerdo al Reglamento (CE) nº 765/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de julio de 2008. El alcance de la acreditación debe incluir las Reglas de Categoría de Producto (RCP) que le corresponda, de las indicadas en este anejo.

Las declaraciones ambientales de producto deben elaborarse, verificarse y emitirse conforme a lo establecido en las Normas:

- UNE-EN ISO 14025
- UNE-EN 15804
- En caso de que se haya publicado, la Regla de Categoría de Producto específica elaborada por el Comité Técnico del Producto correspondiente

Tabla A2.B.1

PRODUCTO	REGLA DE CATEGORÍA DE PRODUCTO
Cemento	UNE EN 16908:
Acero no aleado laminado en caliente procedente de horno eléctrico	UNE 36904-1
Hormigón	UNE EN 16757
Prefabricados de hormigón	UNE EN 16757
Acero transformado	UNE 36904-2
Taller de estructuras metálicas	UNE 36904-2
Sistemas de pretensado "in situ"	UNE 36904-2

NOTA: Conforme a lo indicado en el Anejo 1 de este Código, las normas referidas 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 idénticas especificaciones técnicas.

En el caso de declaraciones ambientales de producto medias o sectoriales, solo podrán ser parte de las mismas aquellos productos que hayan sido incluidos en el inventario de datos que soporta el análisis de ciclo de vida de dicha declaración.

La declaración ambiental debe contener, adicionalmente, la siguiente información:

- Referencia explícita a la conformidad con las normas de referencia y las RCP indicadas en este Código Estructural, incluidos los anejos nacionales en el caso de que existan.
- Identificación del administrador de programa y del organismo verificador, incluyendo los datos de contacto del administrador de programa.
- Identificación inequívoca del producto.
- Alcance geográfico de la DAP. En el caso de productos fabricados fuera de España, debe incluirse un escenario de transporte, al menos, a una capital de provincia española.

Tabla A2.B.1.1

3. INDICADORES PRESTACIONALES				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
1.1	DCOR	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR) conforme al artículo 18 de este Código.	Dispone de DCOR	2 (n=100)
1.2	Análisis conceptual	El proyecto dispone de un estudio de concepción estructural, realizado antes del inicio del mismo, al objeto de identificar sus puntos críticos.	Dispone del estudio Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
1.3	Control de proyecto	El proyecto ha sido objeto de un autocontrol por parte del autor del proyecto, documentado y verificable.	Dispone del autocontrol Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
1.4	Control de ejecución	El proceso de construcción está sometido a un control de ejecución a nivel intenso, de acuerdo con lo indicado en este Código.	Dispone del control intenso Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
1.5	Fomento de la industrialización de la armadura I	El proyecto contempla un porcentaje de armaduras con formas normalizadas (ARN), según UNE 36831.	1. ARN > 90% 2. 90% ≥ ARN > 80% 3. 80% ≥ ARN > 75% 4. ARN ≤ 75%	4
1.6	Fomento de la industrialización de la armadura II	Las uniones no resistentes entre armaduras se realizan con soldadura no resistente, en lugar de atado con alambre. Se evalúa por el porcentaje de la armadura suministrada a la obra como ferralla armada (ARS).	1. ARS > 75% 2. 75% ≥ ARS > 50% 3. 50% ≥ ARS > 25% 4. ARS ≤ 25%	4
1.7	Certificado de garantía del control estadístico	Los productos de acero para la fabricación de armaduras pasivas, armaduras activas y estructuras de	Dispone de un certificado en vigor emitido por organismo	2 (n=100)

	para productos de acero	<p>acero que cumplen los siguientes requisitos relativos a su control estadístico:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para barras y rollos de acero para armaduras pasivas debe cumplir: <ol style="list-style-type: none"> <li>a) control estadístico que garantice, para todas las coladas, con un nivel de confianza del 90%, que al menos una proporción "p" del producto cumple el nominal correspondiente (donde <math>p=0.95</math> para el <math>R_e</math> y el <math>R_m</math>; <math>p=0.90</math> para <math>A_{gt}</math> y <math>A_5</math>)</li> <li>b) control estadístico que garantice que la desviación típica total estimada del límite elástico no supera el 5.5% del valor nominal</li> </ol> </li> <li>2. Para otros productos de acero para estructuras de acero (perfiles, chapas, bobinas y flejes): control estadístico que garantice que la desviación típica total estimada del límite elástico no supera el 10% del valor nominal.</li> </ol>	<p>acreditado</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	
1.8	Certificado de garantía del control estadístico para transformados de acero	<p>Los productos de acero transformados para la fabricación de armaduras pasivas, armaduras activas, mallas y armaduras básicas y los productos de acero para estructuras de acero, cumplen los siguientes requisitos relativos a su control estadístico:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para barras y rollos de acero para armaduras pasivas (debe cumplir a) y b): <ol style="list-style-type: none"> <li>a) control estadístico que garantice, para todas las coladas, con un nivel de confianza del 90%, que al menos una proporción "p" del producto cumple el nominal correspondiente (donde <math>p=0.95</math> para el <math>R_e</math> y el <math>R_m</math>; <math>p=0.90</math> para <math>A_{gt}</math> y <math>A_5</math>)</li> <li>b) control estadístico que garantice que la desviación típica total estimada del límite elástico no supera el 5.5% del valor nominal</li> </ol> </li> <li>2. Para productos de acero transformados para armaduras activas, mallas y armaduras básicas: control estadístico que garantice que la desviación típica total estimada del límite elástico no supera el 10% del valor nominal.</li> </ol>	<p>Dispone de un certificado en vigor emitido por organismo acreditado</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)

1.9	Uso de productos con control estadístico	El 100% de los productos de acero utilizados para la fabricación de ferralla armada y estructuras de acero cumplen con el control estadístico establecido en 1.7 y/o 1.8, según corresponda.	Dispone de certificado en vigor emitido por organismo acreditado que verifique el cumplimiento  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
1.10	Seguro Responsabilidad Civil I	Certificado de vigencia de Póliza de Seguro de Responsabilidad Civil por posibles productos defectuosos fabricados, con una cuantía suficiente que ampare las posibles responsabilidades en que se pudiera incurrir.	Dispone de certificado en vigor, emitido por organismo acreditado  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
1.11	Seguro Responsabilidad Civil II	Póliza de Seguro de Responsabilidad Civil por posibles productos (cementos) defectuosos fabricados, con una cuantía mínima de 5.000.000€.	Dispone de póliza en vigor  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
1.12	Seguro de responsabilidad civil para plantas de hormigón	Existencia de un seguro de responsabilidad civil con cláusula específica de unión y mezcla con una cobertura C, expresada en euros, superior a 12 P, siendo P la producción anual expresada en metros cúbicos de hormigón. La cobertura mínima ha de ser de 600.000 euros y si como consecuencia del producto 12P se supera el valor de cobertura de 1.200.000 euros, se permite mantener ese valor como máximo.	Dispone de la cobertura  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)

Tabla A2.B.1.2

4. INDICADORES ECONÓMICOS				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
2.1	Estudio económico de alternativas	El proyecto incluye un estudio económico de la estructura, comparando al menos 3 soluciones viables.	Dispone del estudio económico  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
2.2	Análisis de costes de ciclo de vida	El proyecto incluye un estudio de análisis de costes durante el ciclo de vida completo.	Dispone del análisis de costes  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)

Tabla A2.B.1.3

5. INDICADORES MEDIOAMBIENTALES				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
3.1	Contenido de chatarra en el acero	<p>El acero incorpora una cierta cantidad de material reciclado (porcentaje en peso de chatarra = CCA): Porcentaje en peso de chatarra respecto al total de aporte férreo en acería (chatarra, arrabio, prerreducidos y ferroaleaciones).</p> <p>Para productos largos fabricados por laminación en caliente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- barras y rollos de acero para <b>armaduras pasivas</b>,</li> <li>- alambón para su posterior transformación en productos de acero para <b>armaduras pasivas</b>.</li> </ul> <p>Para productos estructurales largos fabricados por laminación en caliente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alambón para su posterior transformación en productos de acero para <b>armaduras activas</b>.</li> </ul> <p>Para productos estructurales planos fabricados por laminación en caliente o en frío (chapas para acero estructural, bobinas y flejes para su posterior transformación).</p> <p>Para todos los productos de <b>acero inoxidable</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- productos largos fabricados por laminación en caliente (barras y rollos de acero para armaduras pasivas, alambón para su posterior transformación, perfiles para acero estructural),</li> <li>- productos planos fabricados por laminación en caliente o en frío (chapas para acero estructural, bobinas y flejes para su posterior transformación).</li> </ul>	<p>Dispone del certificado en vigor emitido por organismo acreditado que verifique el cumplimiento especificado para cada producto</p> <p>CCA ≥ 80%</p> <p>1. CCA ≥ 60%</p> <p>2. CCA ≥ 20%</p> <p>CCA ≥ 20%</p> <p>CCA ≥ 60%</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	<p>2 (n=100)</p> <p>1</p> <p>2 (n=100)</p> <p>2 (n=100)</p>
3.2	Declaraciones ambientales de producto	El producto dispone de una declaración ambiental de producto (DAP) elaborada y verificada conforme a la Nota 2 del Apéndice B.	El producto dispone de una DAP	2 (n=100)
3.3	Uso de hormigón fabricado a	El hormigón empleado para la estructura se ha fabricado a partir de áridos que incorporan una cierta cantidad de	Existen evidencias de dicha práctica	2 (n=100)

	partir de materiales reciclados o recuperados	material reciclado o bien recuperado de otros hormigones procedentes de retornos a la central.		
3.4	Uso de hormigón fabricado a partir de materiales reciclados	El hormigón incorpora agua reciclada procedente del lavado de las cubas, de acuerdo con lo indicado en este Código.	Existen evidencias de dicha práctica	2 (n=100)
3.5	Uso de armaduras normalizadas	El proyecto contempla el uso de armaduras normalizadas (mallas electrosoldadas o armaduras básicas electrosoldadas en celosía). Se evalúa en función de la relación entre el peso de armaduras normalizadas dispuestas en el proyecto y la medición de las armaduras correspondientes a elementos planos de la estructura: losas, forjados, etc (MAL).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. MAL &gt; 50%</li> <li>2. 50% ≥ MAL &gt; 30%</li> <li>3. 30% ≥ MAL &gt; 10%</li> <li>4. MAL ≤ 10%</li> </ol>	3
3.6	Control radiológico del acero	<p>El fabricante del acero tiene implantado un Sistema de vigilancia y control de material radioactivo en las materias primas y durante el proceso de producción conforme a la Guía de Seguridad de Control Radiológico de Actividades de Recuperación y Reciclado de Chatarras del Consejo de Seguridad Nuclear, que permita asegurar:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Que el producto está por debajo de los límites de exención establecidos en el anexo VII de la Directiva Europea 2013/59 EURATOM del Consejo, de 5/12/2013</li> <li>2. Que los posibles materiales radioactivos (no exentos) detectados son debidamente gestionados.</li> </ol>	<p>Dispone de un certificado en vigor emitido por organismo acreditado</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)
3.7	Análisis de ciclo de vida en el proyecto	El proyecto incorpora un análisis de ciclo de vida (ACV) de la solución estructural adoptada para el proyecto.	<p>Dispone del ACV</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)
3.8	Vida útil de 100 años del Sistema de Pretensado	El Sistema de Pretensado "in situ" incorpora, como propios de dicho Sistema, Elementos (Kits) conforme a una Evaluación Técnica Europea basada en la asunción de una Vida Útil de dicho Sistema de Pretensado de 100 años.	<p>Dispone de la Evaluación Técnica Europea correspondiente</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)

3.9	Uso de coeficientes reducidos para la ponderación de materiales	<p>Porcentaje de proyectos que contemplan el uso de los coeficientes de ponderación reducidos que se admiten en este Código respecto al total de proyectos realizados (% CPR).</p> <p>Se considera que un proyecto ha usado coeficientes de ponderación reducidos cuando en elementos de hormigón se aplica al menos en el 50% del hormigón y 50% de las armaduras pasivas, y en elementos de acero estructural en el 100% del acero.</p>	Valor de CPR (%)	2 (n=% CPR)
3.10	Uso de coeficientes de minoración reducidos en el Sistema de Pretensado	La Instalación del Sistema de Pretensado "in situ" incorpora las condiciones necesarias para introducir la fuerza de pretensado con los coeficientes de minoración reducidos que se admiten en este Código, con objeto de alcanzar la máxima tensión de tesado admisible.	Dispone de Distintivo Oficialmente Reconocido (DCOR)	2 (n=100)
3.11	Reducción de emisiones en la obra I	La obra dispone de sistemas para evitar la emisión de polvo a las zonas colindantes, tales como uso de aspersores, de estabilizantes químicos, pantallas u otros dispositivos de retención de polvos, etc.	<p>Existencia y utilización del sistema</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)
3.12	Reducción de emisiones en la obra II	Existencia de sistemas de limpieza para evitar la suciedad en el pavimento de las vías colindantes.	<p>Existencia y utilización del sistema</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)
3.13	Reutilización de productos de excavación	El constructor reutiliza la máxima cantidad de productos de excavación correspondientes a la estructura, minimizando el volumen de residuos enviados a vertedero	<p>Reutilizar en la propia obra el 100% de los productos de excavación correspondientes a la estructura</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)
3.14	Gestión de residuos en la obra	El constructor hace una reserva de espacio en la obra para depositar y gestionar los residuos de la misma. Dicho espacio, contenedor o zona de acopio, deberá estar señalizado indicándose el tipo de residuo que contendrá.	<p>Existencia de un espacio definido y utilizado durante la obra para gestionar los residuos</p> <p>Máxima valoración si posee DCOR</p>	2 (n=100)

3.15	Gestión de residuos de control contaminados con azufre	El autocontrol de resistencia correspondiente a la central evaluada, realizado por la empresa o por terceros, en la instalación de la central o en otra, se hace con probetas no refrentadas con azufre: cilíndricas pulidas o cúbicas.	El 100% de probetas de hormigón sin necesidad de refrentado	2 (n=100)
3.16	Gestión del agua de proceso	El constructor dispone de sistemas para la recogida, almacenamiento y reutilización de agua de proceso. Esta reutilización podrá estar destinada a otras aplicaciones de la obra y no necesariamente para la construcción de la estructura. En su caso, el agua deberá ser conforme con las exigencias técnicas establecidas para su uso como material de construcción.	Existencia y uso continuado de este tipo de sistemas de reutilización del agua de proceso  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
3.17	Extensión de la vida útil	El proyecto incluye una vida útil nominal superior a los mínimos establecidos en la reglamentación vigente que sea aplicable. Se evalúa a partir del parámetro (VU) definido como la relación entre el incremento de vida útil y el valor mínimo establecido por la reglamentación aplicable según el anejo de cálculo de este Código. No es de aplicación en el caso de estructuras temporales.	1. $VU > 30\%$ 2. $30\% \geq VU > 20\%$ 3. $20\% \geq VU > 10\%$ 4. $VU \leq 10\%$  Máxima valoración si posee DCOR	3
3.18	Disminución de residuos en armaduras pasivas	La armadura procede de acero suministrado en rollo. Se determina a partir del porcentaje de armadura que cumple esta condición (ARO).	1. $ARO > 95\%$ 2. $95\% \geq ARO > 75\%$ 3. $75\% \geq ARO > 50\%$ 4. $ARO \leq 50\%$	3
3.19	Distancia instalación/obra	Suma de las distancias parciales entre la instalación productiva de productos básicos, la central de prefabricación, la instalación de productos transformados o taller, y la obra en la que se entregan los productos (km).	1. $Dist < 800$ 2. $800 \leq Dist < 1.000$ 3. $1.000 \leq Dist < 1.500$ 4. $Dist \geq 1.500$	4
3.20	Contenido de chatarra en transformados	Porcentaje de material reciclado (CTT) (chatarra) contenido en los productos transformados. Este porcentaje se calcula como media ponderada a partir de los valores del contenido de chatarra en el acero (CCA) de los productos básicos, que han sido verificados por organismo acreditado según el indicador 3.1.	Dispone de certificado en vigor emitido por organismo acreditado que verifique el cumplimiento  1. $CCT \geq 80\%$ 2. $80\% > CCT \geq 50\%$ 3. $50\% > CCT \geq 20\%$ 4. $20\% > CCT$	4

Tabla A2.B.1.4

6. INDICADORES SOCIALES				
Nº	Indicador	Definición/Parámetros	Objetivos	Sistema de valoración
4.1	Interés general de la obra	La obra esté declarada como de interés general, por cualquier Administración Pública competente.	Declaración de obra de interés general	2 (n=100)
4.2	Recursos humanos. Formación	Media de los trabajadores, incluidos los subcontratistas, que han recibido formación específica en aspectos técnicos, de calidad, ambientales o de seguridad y salud, ponderada por la proporción de días que trabajan en la obra.	Valor superior al 50%  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
4.3	Formación del personal en la instalación del Sistema de Pretensado	El personal especializado asignado a la Instalación del Sistema de Pretensado estará en posesión de un documento que reconoce su capacitación profesional, como Operario Especialista, Técnico Especialista o Responsable de los Trabajos, en la Instalación de dicho Sistema de Pretensado.	Dispone de la documentación requerida  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)
4.4	Seguridad y salud	Porcentaje de elementos de seguridad colectiva y equipos de trabajo en altura, certificados, que se utilicen en la obra contemplados en los parámetros siguientes:  Parámetros (3):  1. Redes de seguridad conforme a la Norma UNE-EN 1263-1  2. Sistemas periféricos de protección de borde (barandillas), conforme a la Norma UNE-EN 13374  3. Andamios, conforme a la Norma UNE-EN 12810-1.	Objetivo para cada parámetro:  Valor del porcentaje (%)  N: Número de parámetros del indicador empleados en la obra  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=%/N)
4.5	Información al ciudadano	La obra dispone de un sistema de información (por ejemplo, página web, oficina de atención al público, teléfono de atención, etc.) relativa a las características de la obra, plazos de ejecución, grado de evolución de la obra en el tiempo, implicaciones económicas y sociales, etc.	Existencia y accesibilidad del sistema de información  Máxima valoración si posee DCOR	2 (n=100)

## 2. Criterios de valoración de los indicadores

Para cada uno de los indicadores  $m$ , definidos para cada criterio  $l$  y agente  $j$ , la siguiente tabla define los criterios de valoración para obtener  $\lambda_{j,l,m}^c$  en función del sistema indicado para cada caso en la columna 5 "Sistema de valoración" de las tablas del apartado anterior.

Tabla A2.B.2

SISTEMAS DE VALORACIÓN			
Nº sistema	$\lambda_{j,l}$	Nº sistema	$\lambda_{j,l}$
1	+100 Si alcanza objetivo 1  +50 Si no alcanza objetivo 1 pero supera objetivo 2  0 Si no alcanza objetivo 1 ni superior objetivo 2	2 (n)	+n Si alcanza objetivo  0 Otros casos
3	1. + 100 2. + 75 3. + 25 4. + 0	4	1. + 100 2. + 50 3. + 25 4. + 0

En el caso de que la aplicación de los criterios de valoración anteriores conllevaran valores de  $\lambda_{j,l} > 100$ , se tomará un valoración máxima de  $\lambda_{j,l} = 100$  (véase Nota del apartado 2 del Apéndice A).

## 3. Selección de indicadores relativos a la contribución complementaria en función del tipo de criterio

Tabla A2.B.3.1

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (PROYECTO, $j = 1$ )				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,1	1.1
Prestacionales	2	Análisis conceptual	0,3	1.2
	3	Control de proyecto	0,3	1.3
	4	Industrialización armadura	0,3	1.5, 1.6
Económicos	1	Estudio de alternativas	0,5	2.1
	2	Análisis de costes de ciclo de vida	0,5	2.2
Medioambientales	1	Prescripción de materiales procedentes de reciclado	0,15	3.3, 3.4
	2	Optimización de la armadura	0,15	3.5

	3	Análisis de ciclo de vida	0,3	3.7
	4	Minimización de recursos	0,15	3.9
	5	Extensión de la vida útil	0,25	3.17
Sociales	N/A			

Tabla A2.B.3.2

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (CEMENTO, $j = 2$ )				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,8	1.1
	2	Control de producto	0,2	1.11
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Declaración ambiental de producto	1	3.2
Sociales	N/A			

Tabla A2.B.3.3 y 4

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (ÁRIDOS, ADITIVOS $j = 3$ y 4)				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,2	1.1
	2	Seguro de responsabilidad civil	0,8	1.10
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Declaración ambiental de producto	1,0	3.2
Sociales	N/A			

Tabla A2.B.3.5

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (ACERO, $j=5$ )				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,7	1.1
	2	Seguro Responsabilidad Civil	0,15	1.10
	3	Control estadístico	0,15	1.7
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Acero procedente reciclado de chatarra	0,45	3.1
	2	Control radiológico	0,45	3.6
	3	Declaración ambiental de producto	0,1	3.2
Sociales	N/A			

Tabla A2.B.3.6

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (HORMIGÓN, $j=6$ )				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,35	1.1
	2	Seguro Responsabilidad Civil	0,65	1.12
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Declaración ambiental de producto	0,4	3.2
	2	Uso material reciclado	0,3	3.3, 3.4
	3	Residuos contenido azufre	0,3	3.15
Sociales	N/A			

Tabla A2.B.3.7

Factor de ponderación $\gamma_{j,i}$ e indicadores ICS (PREFABRICADOS DE HORMIGÓN, $j = 7$ )										
Tipo de requisitos	Criterios		A		B		C		D	
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,i}$	Indicadores						
Prestacionales	1	(DCOR)	0,6	1.1	0,7	1.1	0,6	1.1	0,7	1.1
	2	Control estadístico	0,15	1.9			0,15	1.9		
	3	Seguro Responsabilidad Civil	0,25	1.10	0,3	1.10	0,25	1.10	0,3	1.10
Económicos	N/A									
	1	DAP	0,4	3.2	0,53	3.2	0,53	3.2	0,57	3.2
Medioambientales	2	Uso de material reciclado	0,2	3.3, 3.4	0,26	3.3, 3.4			0,29	3.3, 3.4
	3	Minimización de recursos	0,05	3.9	0,07	3.9	0,07	3.9	0,07	3.9
	4	Residuos contenido azufre	0,05	3.15	0,07	3.15				
	5	Disminución de residuos	0,05	3.18			0,07	3.18		
	6	Distancia instalación/obra	0,05	3.19	0,07	3.19	0,07	3.19	0,07	3.19
	7	Contenido de chatarra en transformados	0,20	3.20			0,26	3.20		
	Sociales	N/A								

En función de los procesos que se incluyan en la fabricación de los productos prefabricados de hormigón, se pueden contemplar cuatro escenarios:

- Procesos de prefabricación, fabricación del hormigón y de la ferralla.
- Procesos de prefabricación y fabricación del hormigón.
- Procesos de prefabricación y fabricación de la ferralla.
- Procesos de prefabricación únicamente.

Tabla A2.B.3.8

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (ACERO TRANSFORMADO, $j=8$ )				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,7	1.1
	2	Seguro Responsabilidad Civil	0,15	1.10
	3	Control estadístico	0,15	1.8 1.9(2)
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Disminución de residuos (1)	0/0,10 <sup>(1)</sup>	3.18(1)
	2	Distancia instalación/obra	0,45/0,40 <sup>(1)</sup>	3.19
	3	Contenido de chatarra en transformados	0,45/0,40 <sup>(1)</sup>	3.20
	4	Declaración ambiental de producto	0,10	3.2
Sociales	N/A			

(1) Solo aplica a armaduras pasivas.

(2) Solo es aplicable a ferralla armada.

Tabla A2.B.3.9

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (TALLER DE ESTRUCTURAS METÁLICAS, $j=9$ )				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,7	1.1
	2	Seguro Responsabilidad Civil	0,15	1.10
	3	Control estadístico	0,15	1.9
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Distancia instalación/obra	0,45	3.19
	2	Contenido de chatarra	0,45	3.20
	3	Declaración ambiental de producto	0,1	3.2
Sociales	N/A			

Tabla A2.B.3.10

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (PRETENSADO, $j=10$ )				
Tipo de requisitos	Criterios			Indicadores
	Nº	Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	1	1.1
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Vida útil	0,60	3.8
	2	Minimización de recursos	0,30	3.10
	3	Gestión de residuos en la obra	0,05	3.14
	4	Declaración ambiental de producto	0,05	3.2
Sociales	1	Recursos humanos. Formación	0,05	4.2
	2	Recursos humanos. Formación específica	0,90	4.3
	3	Seguridad y salud	0,05	4.4

Tabla A2.B.3.11

Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$ e indicadores ICS (CONSTRUCCIÓN EN OBRA, $j = 11$ )				
Tipo de requisitos	Nº	Criterios		Indicadores
		Nombre	Factor de ponderación $\gamma_{j,l}$	
Prestacionales	1	Distintivo de Calidad Oficialmente Reconocido (DCOR)	0,2	1.1
	2	Control de ejecución	0,8	1.4
Económicos	N/A			
Medioambientales	1	Reducción de emisiones en la obra	0,30	3.11, 3.12
	2	Reutilización de productos de excavación	0,25	3.13
	3	Gestión de residuos en la obra	0,25	3.14
	4	Gestión del agua de lluvia en la obra	0,20	3.16
Sociales	1	Carácter de obra de interés general	0,17	4.1
	2	Recursos humanos. Formación	0,33	4.2
	3	Seguridad y salud	0,33	4.4
	4	Información al ciudadano	0,17	4.5

## ANEJO 3

## Lista de comprobación para el control de proyecto

## Contenidos del anejo

- 1 MEMORIA Y ANEJO DE CÁLCULO.
  - 1.1 DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA ESTRUCTURA.
  - 1.2 ACCIONES.
    - 1.2.1 *Identificación y congruencia.*
    - 1.2.2 *Acciones durante el proceso constructivo.*
  - 1.3 PROPUESTA ESTRUCTURAL.
  - 1.4 MODELOS ESTRUCTURALES.
  - 1.5 CÁLCULO DE ESFUERZOS.
    - 1.5.1 *Combinaciones de acciones.*
    - 1.5.2 *Coefficientes de ponderación.*
    - 1.5.3 *Programas o métodos de cálculo empleados.*
    - 1.5.4 *Entrada de datos en los programas de cálculo de esfuerzos.*
    - 1.5.5 *Salidas de resultados de los programas de cálculo.*
    - 1.5.6 *Consideración del proceso constructivo.*
  - 1.6 COMPROBACIÓN DE ESTADOS LÍMITE.
    - 1.6.1 *Congruencia entre resultados del cálculo y esfuerzos de comprobación.*
    - 1.6.2 *Características de los materiales y coeficientes de minoración.*
    - 1.6.3 *Dimensionamiento y comprobación.*
    - 1.6.4 *Durabilidad.*
    - 1.6.5 *Resistencia al fuego.*
    - 1.6.6 *Resistencia al sismo.*
    - 1.6.7 *Resistencia a fatiga.*
    - 1.6.8 *Dimensionamiento de aparatos de apoyo y juntas.*
    - 1.6.9 *Congruencia del dimensionamiento con los modelos.*
    - 1.6.10 *Incidencia en el proceso constructivo.*
    - 1.6.11 *Caso de elementos singulares.*
    - 1.6.12 *Congruencia con el informe geotécnico.*
  - 1.7 COMPROBACIONES ADICIONALES.
- 2 PLANOS.
  - 2.1 CONGRUENCIA CON LA MEMORIA Y EL ANEJO DE CÁLCULO.
  - 2.2 CONGRUENCIA CON OTROS PLANOS DE DEFINICIÓN DE LA OBRA.
  - 2.3 DOCUMENTACIÓN GRÁFICA.
- 3 PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES.
  - 3.1 CONGRUENCIA CON LA MEMORIA, ANEJOS Y PLANOS.
  - 3.2 TOLERANCIAS.
  - 3.3 CONGRUENCIA CON EL PRESUPUESTO.
- 4 PRESUPUESTO.

El control de calidad del proyecto de la estructura se realizará a partir de los documentos del mismo y conforme al alcance del encargo realizado por la propiedad. Para cada documento, la lista de comprobaciones será la siguiente, de forma orientativa.

## **1. Memoria y Anejo de cálculo**

### **1.1 Definición geométrica de la estructura**

#### **1.2 Acciones**

##### **1.2.1 Identificación y congruencia**

a) Tipos de acciones:

- a.1) directas e indirectas;
- a.2) fijas y variables; y
- a.3) permanentes, variables y accidentales.

b) Son acordes con:

- b.1) la reglamentación de acciones correspondiente al tipo de estructura en cuestión;
- b.2) el informe geotécnico; y
- b.3) documentos específicos sobre acciones a considerar, aceptados por la propiedad.

##### **1.2.2 Acciones durante el proceso constructivo**

Se comprobará si se han evaluado las acciones durante el proceso constructivo, analizando:

- a) su incidencia en el cálculo de esfuerzos; y
- b) su influencia en el dimensionamiento.

### **1.3 Propuesta estructural**

Se comprobará si el esquema estructural adoptado garantiza:

- a) la estabilidad del conjunto de la estructura;
- b) la estabilidad de cada una de sus partes;
- c) la estabilidad en las fases del proceso constructivo;
- d) la repercusión en la respuesta estructural y la estabilidad de los elementos no estructurales en los casos en que sea necesario (por ejemplo, obras de edificación sometidas a acciones sísmicas); y
- e) una correcta concepción de los detalles en el caso de estructuras sometidas a fatiga.

### **1.4 Modelos estructurales**

Se comprobará si:

- a) son correctos y congruentes con los criterios de dimensionamiento en lo que respecta a la estructura terminada;
- b) son correctos y congruentes con el dimensionamiento en lo que respecta a las fases del proceso constructivo;

- c) las constantes estáticas de las secciones transversales son correctas y representan con fidelidad la realidad; y
- d) el sistema de vinculaciones y apoyos modelizado representa la realidad.

## 1.5 Cálculo de esfuerzos

### 1.5.1 Combinaciones de acciones

Se comprobará si:

- a) las combinaciones de acciones consideradas son las relevantes; y
- b) las combinaciones de acciones no consideradas no son relevantes.

### 1.5.2 Coeficientes de ponderación

Se comprobará si:

- a) los coeficientes parciales de seguridad de acciones se ajustan a los establecidos por la reglamentación específica vigente;
- b) los coeficientes de combinación se ajustan a los establecidos por la reglamentación específica vigente; y
- c) se cumplen las condiciones para la disminución, en su caso, de los coeficientes parciales de los materiales.

### 1.5.3 Programas o métodos de cálculo empleados

Se comprobará si los programas o métodos de cálculo empleados:

- a) están correctamente especificados de acuerdo con lo establecido por este Código; y
- b) están sancionados como aceptables.

### 1.5.4 Entrada de datos en los programas de cálculo de esfuerzos

Se comprobará si es acorde con:

- a) la propuesta estructural adoptada;
- b) el modelo adoptado;
- c) la geometría de la estructura; y
- d) las hipótesis de combinación de acciones relevantes.

### 1.5.5 Salidas de resultados de los programas de cálculo

Se comprobará si los resultados son congruentes con los modelos empleados y las acciones adoptadas, habiéndose realizado una evaluación por vía independiente de los esfuerzos sobre una muestra significativa de elementos elegida de acuerdo con criterios de importancia estructural y representatividad. De acuerdo con el nivel de control y del elemento analizado (acorde con las tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se dejará constancia de los siguientes aspectos:

- a) muestra seleccionada;
- b) criterios de selección;
- c) procesos de comprobación;
- d) hipótesis adoptadas; y
- e) resultados obtenidos.

### 1.5.6 Consideración del proceso constructivo

Se comprobará si el proyecto define un proceso constructivo viable, si se han evaluado los esfuerzos en la estructura durante el mismo, y si se establecen los criterios o exigencias que deban cumplir los elementos auxiliares necesarios para la ejecución de manera que el proceso constructivo definido sea factible.

De forma general, en particular en el caso de estructuras ejecutadas con cimbras (cuajadas, porticadas, cimbras autolanzables, etc...) y especialmente en el caso de estructuras de edificación con procesos de ejecución con varias plantas cimbradas de forma simultánea, se dejará constancia, acorde con el nivel de control y el elemento analizado (según las tablas 55.1 y 96.1 de este Código), de sí:

- a) se valoran los esquemas resistentes y las cargas transmitidas a la estructura durante el cimbrado o el proceso constructivo;
- b) son correctas las evaluaciones de esquemas resistentes y cargas transmitidas;
- c) tiene influencia la rigidez de la cimbra o medio auxiliar en la obtención de esfuerzos en la estructura definitiva durante el proceso constructivo;
- d) son correctas las conclusiones;
- e) hace falta realizar estudios complementarios, en función de determinados condicionantes impuestos por el proceso constructivo.

## 1.6 Comprobación de Estados Límite

### 1.6.1 Congruencia entre resultados del cálculo y esfuerzos de comprobación

Se comprobará la idoneidad de los esfuerzos adoptados en las comprobaciones de Estados Límite. Para ello, de acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se tomará la muestra correspondiente a los elementos estructurales incluidos en dichas tablas.

### 1.6.2 Características de los materiales y coeficientes de minoración

Se comprobará si están correctamente especificadas las características de los materiales y sus coeficientes parciales de seguridad para:

- a) hormigón;
- b) acero pasivo y activo;
- c) acero estructural; y
- d) elementos de unión y conexión.

### 1.6.3 Dimensionamiento y comprobación

Se examinará si el dimensionamiento de secciones y elementos, así como su comprobación frente a los estados límite últimos y de servicio, respeta las imposiciones de este Código. De acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se tomará como mínimo la muestra correspondiente a los elementos estructurales incluidos en dichas tablas.

### 1.6.4 Durabilidad

Se comprobará si se ha adoptado una estrategia específica para la consecución de unas condiciones adecuadas de durabilidad, en particular si se cumplen las especificaciones relacionadas con la durabilidad en lo referente a:

- a) identificación del tipo de ambiente;
- b) especificaciones para el hormigón (dosificación, tipo de cemento, recubrimientos nominales,...);

- c) especificaciones para eventuales sistemas de protección anticorrosiva de armaduras activas o pasivas;
- d) especificaciones para los sistemas de protección anticorrosiva de elementos de acero estructural y de sus uniones, definiendo la clase de exposición y el grado de durabilidad requerido, acorde con el artículo 86 de este Código;
- e) formas, detalles constructivos, medidas especiales de protección y condiciones para facilitar el mantenimiento y la inspección. En particular, en secciones en cajón, se verificará si se ha previsto un sistema para el acceso a su interior; y
- f) sustitución de aparatos de apoyo. Se verificará que se ha previsto en proyecto una eventual sustitución de aparatos de apoyo, se definen las reacciones para la sustitución, se han definido los posibles refuerzos para permitirla, y se define el proceso para poder realizarla.

### 1.6.5 Resistencia al fuego

Se comprobará con carácter general que en el proyecto se detalla, para cada elemento estructural, la correspondiente exigencia reglamentaria de resistencia frente al fuego y la justificación de su cumplimiento, y en particular si se cumplen las especificaciones relacionadas en cuanto a:

- a) tiempos de resistencia a fuego;
- b) recubrimientos mecánicos, espesores, revestimientos;
- c) tipología, dimensionamiento y justificación de las protecciones necesarias. Compatibilidad de estas con los sistemas de protección para la durabilidad;
- d) estudios complementarios necesarios.

### 1.6.6 Resistencia al sismo

Se comprobará si se cumplen las especificaciones relacionadas con el comportamiento sísmico en cuanto a:

- a) idoneidad del planteamiento estructural;
- b) zona sísmica;
- c) clase de construcción;
- d) ductilidad;
- e) atados;
- f) existencia de detalles constructivos suficientes y adecuados;
- g) consideración del efecto del sismo en la respuesta de los elementos no estructurales y de su estabilidad; y
- h) otros aspectos.

### 1.6.7 Resistencia a fatiga

En el caso de estructuras sometidas a fatiga se verificará que el proyecto incluye la verificación explícita de este Estado Límite, y en particular se verificará que:

- a) las acciones de fatiga consideradas son correctas;
- b) los coeficientes parciales considerados son adecuados;
- c) se verifica el cumplimiento del Estado Límite; y
- d) en estructuras de acero estructural, los detalles definidos y su categoría frente a fatiga, son acordes con las verificaciones realizadas.

### 1.6.8 Dimensionamiento de aparatos de apoyo y juntas

Se verificará que el proyecto define los movimientos y reacciones para el dimensionamiento de aparatos de apoyo y juntas, y en el caso que la rigidez de los apoyos tenga influencia en el cálculo, que el dimensionamiento realizado y las hipótesis adoptadas en el cálculo global sean adecuadas.

### 1.6.9 Congruencia del dimensionamiento con los modelos

Se comprobará si los resultados del dimensionamiento son congruentes con los modelos empleados, realizando una evaluación por vía independiente del dimensionamiento, mediante comprobaciones de seguridad, de deformabilidad y de otros estados límite relevantes, en una muestra significativa de elementos elegida de acuerdo con criterios de importancia estructural y representatividad. De acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se tomará la muestra correspondiente, identificando:

- a) muestra seleccionada;
- b) criterios de selección;
- c) procesos de comprobación;
- d) hipótesis adoptadas; y
- e) resultados obtenidos.

### 1.6.10 Incidencia en el proceso constructivo

Se comprobará si se han evaluado los efectos que en el dimensionamiento tiene el proceso constructivo acorde con lo descrito en el apartado 1.5.6 de este anejo.

### 1.6.11 Caso de elementos singulares

Si existen elementos singulares, tales como apoyos especiales, ménsulas cortas o vigas pared, comprobación por muestreo para evaluar si su dimensionamiento es correcto. De acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se tomará la muestra correspondiente, haciendo constar:

- a) muestra seleccionada;
- b) criterios de selección;
- c) procesos de comprobación y justificación de su validez, en particular si se emplea el método de bielas y tirantes;
- d) hipótesis adoptadas; y
- e) resultados obtenidos.

### 1.6.12 Congruencia con el informe geotécnico

Se comprobará si en el dimensionamiento de los elementos de cimentación se han respetado las conclusiones del informe geotécnico en lo relativo a:

- a) tipología de la cimentación y de los elementos de contención, así como las recomendaciones geotécnicas para el proyecto de la cimentación;
- b) las características de agresividad del terreno y del agua, y su influencia en las calidades del hormigón y acero estructural en su caso;
- c) recubrimientos, sobreespesores;
- d) las propiedades resistentes, deformacionales y de estabilidad del terreno;
- e) parámetros geotécnicos del terreno necesarios para el cálculo de las cimentaciones; y
- f) criterios para el control de asientos de elementos aislados y de asientos diferenciales.

## 1.7 Comprobaciones adicionales

Además de las comprobaciones expuestas en los apartados anteriores podrán comprobarse, de conformidad con el contenido del presente Código, los siguientes aspectos:

- a) el contenido de la documentación justificativa del cumplimiento de las exigencias relativas a la gestión medioambiental de la ejecución, si el proyecto indicara su necesidad por expreso deseo de la propiedad.
- b) El contenido del proyecto en relación con la estrategia para la contribución de la estructura a la sostenibilidad, de conformidad con el artículo 6 del presente Código.
- c) La existencia del anejo de la Memoria correspondiente al plan y programa de control de la estructura, y la conformidad de su contenido en relación con lo indicado en el Artículo 19 del presente Código.
- d) La consideración en el proyecto de un plan de inspección y mantenimiento, y su conformidad en relación al contenido del artículo 23 del presente Código.
- e) El contenido del proyecto en cuanto a la justificación del cumplimiento de requisitos adicionales a los considerados en el presente Código, por expreso deseo de la propiedad, en su caso.

Se deberá comprobar, además, que el proyecto cumple el resto de legislación vigente en otros ámbitos (como por ejemplo, seguridad y salud, medioambiente, etc.).

## 2. Planos

### 2.1 Congruencia con la memoria y el anejo de cálculo

Se comprobará si se han respetado los resultados del cálculo de esfuerzos y del dimensionamiento, mediante la comprobación de una muestra significativa de elementos elegida de acuerdo con criterios de importancia estructural y representatividad. De acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se tomará la muestra correspondiente, haciendo constar:

- a) muestra seleccionada;
- b) criterios de selección;
- c) procesos de comprobación;
- d) hipótesis adoptadas; y
- e) resultados obtenidos.

### 2.2 Congruencia con otros planos de definición de la obra

Se comprobará si las cotas de replanteo, las escuadrías y dimensiones de los diferentes elementos estructurales, los huecos que afecten a los elementos en su comportamiento estructural y otros condicionantes que puedan afectar a la estructura definidos en los planos no estructurales, han sido tomados en consideración en los planos estructurales y para definir el modelo estructural.

De acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se tomará la muestra correspondiente haciendo constar:

- a) muestra seleccionada;
- b) criterios de selección;
- c) procesos de comprobación;
- d) hipótesis adoptadas; y
- e) resultados obtenidos.

## 2.3 Documentación gráfica

De acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código), se tomará la muestra correspondiente a todos los elementos estructurales incluidos en el proyecto, sobre los que se hará constar:

- a) muestra seleccionada;
- b) criterios de selección;
- c) procesos de comprobación;
- d) hipótesis adoptadas; y
- e) resultados obtenidos.

Se comprobará por muestreo, de acuerdo con el nivel de control (tablas 55.1 y 96.1 de este Código):

- a) si se incluye un cuadro de materiales en el que se defina de forma completa todas las características de los mismos, junto con los coeficientes parciales de seguridad de acciones y resistencias adoptados, y sus niveles de control asociados;
- b) si se definen los recubrimientos de acuerdo con las condiciones de exposición ambiental y la resistencia al fuego;
- c) si las cotas de replanteo y las escuadrías y dimensiones de los diferentes elementos estructurales son acordes con las previsiones del modelo estructural adoptado;
- d) si están previstos los huecos para el mantenimiento o de paso de las instalaciones, y si ellos son acordes con las hipótesis adoptadas para el cálculo de esfuerzos y el dimensionamiento;
- e) si se definen las disposiciones de la armaduras en la sección transversal de las piezas y los esquemas de armado que permitan la posterior realización detallada de los despieces para la elaboración de la ferralla y facilitar la colocación de las armaduras en las piezas haciéndolo viable;
- f) si están definidos los solapos y anclajes de armaduras, y sus radios de doblado, o si existen criterios claros para su definición;
- g) si se definen los criterios para el tesado de tendones de pretensado: fuerzas de tesado, alargamientos de tesado previstos, escalones de tesado, anclajes activos y pasivos, etc.;
- h) si están definidas las transiciones de armaduras en los nudos y evaluada su viabilidad constructiva;
- i) si están definidos completamente todos los elementos y detalles de la estructura metálica, que permitan al taller metálico el desarrollo de los planos de taller, los planos de montaje y las hojas de despiece. Se deberá verificar que los planos definen, al menos:
  - los espesores y dimensiones de todas las chapas;
  - las ubicaciones de las soldaduras de emplame de chapas;
  - los detalles de soldaduras, transiciones de espesores y dimensiones, y el acceso para su soldeo, así como los requisitos de fatiga mínimos a exigir a la hora de su ejecución y control:
    - o en soldaduras a tope, se debe verificar si las soldaduras se ejecutan desde dos lados, si se ejecuta desde un lado con saneo de la raíz, o si se emplea chapa de respaldo,
    - o en soldaduras a penetración parcial, se debe verificar que se defina el porcentaje de penetración parcial,
    - o en soldaduras en ángulo, se debe comprobar que se define el espesor de la garganta;

- los elementos de unión y conexión;
  - contraflechas;
  - especificaciones para los sistemas de protección anticorrosiva de elementos de acero estructural y de sus uniones, definiendo la clase de exposición y el grado de durabilidad requerido, acorde con el Artículo 86 de este Código;
- j) si están definidos los detalles de apoyo de las piezas prefabricadas o compuestas en función de las coacciones supuestas en el modelo estructural y de sus condiciones exigibles de estabilidad;
- k) si están definidos las condiciones de tipo geométrico y otros detalles que deben cumplir los contornos de las piezas de carácter aligerante, en función de su influencia en la definición de la sección resistente de las piezas compuestas;
- l) si todos los elementos estructurales están definidos, no existiendo lagunas en la definición de los mismos o carencias de información sobre elementos, en particular sobre los detalles constructivos (nudos, transiciones, huecos, quiebros, apoyos, enlaces, fijaciones...);
- m) si se describen los parámetros y exigencias geotécnicas utilizadas para el proyecto;
- n) si se definen los apoyos y juntas, así como si se incluyen los criterios para la realización de una eventual sustitución de aparatos de apoyo;
- o) si se define un proceso constructivo viable, acorde con el proyecto; y
- p) si se establecen los criterios o exigencias que deban cumplir los elementos auxiliares necesarios para la ejecución de la estructura, y si se definen las posibles afecciones que los medios auxiliares puedan tener en la estructura definitiva.

### 3. Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares

En general, el objeto del control de calidad del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto es el de asegurar que los materiales, equipos, procedimientos de fabricación, puesta en obra, ensayos, tratamientos, condiciones de suministro, recepción, conservación, almacenamiento y manipulación de productos, criterios de aceptación y rechazo, las acciones a adoptar en caso de no conformidades, etc. son acordes a los condicionantes de la obra.

Se deberá verificar que este documento se haya particularizado para la obra en cuestión, que refiera a las normas de control y de criterios de aceptación actualizadas, y que incluya un plan de control específico para la obra.

En su caso, la comprobación se podrá realizar, por muestreo, de acuerdo con el siguiente procedimiento, a título orientativo.

#### 3.1 Congruencia con la memoria, anejos y planos

Se comprobará:

- a) si se han respetado las especificaciones de los materiales y de la ejecución, y sus niveles de control de recepción asociados que figuran en la memoria, el anejo de cálculo y planos;
- b) si se han especificado aspectos tales como las condiciones de los rellenos en trasdós de muros que condicionan los empujes de tierras, respetando las hipótesis establecidas en la memoria y el anejo de cálculo; y

- c) si se han especificado los aspectos esenciales del proceso constructivo, que condicionan los modelos estructurales y las acciones adoptadas en el cálculo de esfuerzos y en las comprobaciones de los estados límite últimos y de servicio.

### 3.2 Tolerancias

Se comprobará si se han especificado las tolerancias dimensionales o se hace referencia expresa para adoptar las que figuran en este Código.

### 3.3 Congruencia con el Presupuesto

Se comprobará que se han definido las formas o criterios de medición y abono para las distintas unidades de obra asociadas a la estructura, y que son coherentes con la descripción de las partidas del presupuesto.

## 4. Presupuesto

En general, el control del contenido de este documento del proyecto tiene por objeto establecer las posibles omisiones y contradicciones en las unidades de obra definidas en las mediciones y presupuesto con respecto a la memoria, los planos del proyecto y el pliego de prescripciones técnicas particulares, así como verificar la correcta medición de las distintas partidas. Asimismo podrá analizarse, en función del alcance del encargo, aspectos relativos a la configuración de los precios.

Las comprobaciones anteriores se realizarán, en general, sobre un muestreo estadísticamente representativo de las diferentes partidas o con el alcance solicitado por la propiedad.

A título orientativo, se podrá comprobar:

- a) que las definiciones de las partidas correspondientes a las unidades de obra de cimentación y estructura son suficientes, completas, correctas y congruentes con el resto de los documentos del proyecto;
- b) que las mediciones de las distintas partidas se corresponden con las que se deducen a partir de la definición técnica de la estructura. Para ello podrá realizarse una verificación independiente por muestreo;
- c) que el proyecto contiene los correspondientes cuadros de precios y su justificación, y que la descomposición de los precios es razonable y congruente con la descomposición de las partidas. En su caso, verificación por muestreo de la adecuación de los precios del presupuesto a bases de referencia.

## ANEJO 4

### Documentación de suministro y control de los productos recibidos directamente en obra

#### Contenidos del anejo

##### 1 DOCUMENTACIÓN PREVIA AL SUMINISTRO.

###### 1.1 DOCUMENTACIÓN GENERAL.

- 1.1.1 *Cementos.*
- 1.1.2 *Agua.*
- 1.1.3 *Áridos.*
- 1.1.4 *Aditivos.*
- 1.1.5 *Adiciones.*
- 1.1.6 *Hormigón.*
- 1.1.7 *Acero para armaduras pasivas.*
- 1.1.8 *Acero para armaduras activas.*
- 1.1.9 *Armaduras pasivas.*
- 1.1.10 *Elementos y sistemas de aplicación de pretensado.*
- 1.1.11 *Elementos prefabricados.*
- 1.1.12 *Productos de acero para estructuras de acero.*

###### 1.2 DOCUMENTACIÓN DEL DISTINTIVO DE CALIDAD OFICIALMENTE RECONOCIDO.

##### 2 DOCUMENTACIÓN DURANTE EL SUMINISTRO.

- 2.1 CEMENTOS.
- 2.2 ÁRIDOS.
- 2.3 ADITIVOS.
- 2.4 ADICIONES.
- 2.5 HORMIGÓN.
- 2.6 ACERO PARA ARMADURAS PASIVAS.
- 2.7 ACERO PARA ARMADURAS ACTIVAS.
- 2.8 ARMADURAS PASIVAS.
- 2.9 ELEMENTOS Y SISTEMAS DE APLICACIÓN DE PRETENSADO.
- 2.10 ELEMENTOS PREFABRICADOS.
- 2.11 PRODUCTOS DE ACERO PARA ESTRUCTURAS DE ACERO.

##### 3 DOCUMENTACIÓN TRAS EL SUMINISTRO. CERTIFICADO FINAL DEL SUMINISTRO.

##### 4 ACTA DE TOMA DE MUESTRAS.

## 1 Documentación previa al suministro

El suministrador deberá entregar la documentación relevante contemplada en los Capítulos 13 y 23 del Código Estructural y que se detalla a continuación.

### 1.1 Documentación general

#### 1.1.1 Cementos

La documentación a aportar será la relativa al mercado CE (declaración de prestaciones y marcado CE) o el certificado de conformidad con los requisitos reglamentarios.

#### 1.1.2 Agua

En el caso de aguas sin antecedentes en su utilización o procedentes del lavado de las cubas en las centrales de hormigonado, el suministrador del hormigón o productos prefabricados, aportará la siguiente documentación:

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que se garantice el cumplimiento de todas las especificaciones referidas en el Artículo 29 de este Código, en la que constará la identificación del laboratorio que ha efectuado los ensayos que justifican el cumplimiento de las especificaciones y la fecha de emisión del informe o acta de ensayo.
- Informe o acta de ensayo, con una antigüedad inferior a 6 meses, emitido por un laboratorio que incluya los resultados de todas las características referidas en el Artículo 29 de este Código.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

#### 1.1.3 Áridos

Se entregará, en su caso, la declaración de prestaciones y el marcado CE.

En el caso de que los áridos estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se entregará la documentación a que hace referencia el apartado 1.2 de este anejo.

En el caso de áridos de autoconsumo, se entregará la siguiente documentación:

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que se garantice el cumplimiento de todas las especificaciones referidas en el Artículo 30 de este Código, en la que constará la identificación del laboratorio que ha efectuado los ensayos que justifican el cumplimiento de las especificaciones, las fechas de emisión de los informes o actas de ensayo y garantía de que el tratamiento estadístico es equivalente al exigido en el Mercado CE.
- Informes o actas de ensayo, emitidos por un laboratorio que incluya los resultados de todas las características referidas en el Artículo 30 de este Código.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

#### 1.1.4 Aditivos

Se entregará en su caso, la declaración de prestaciones y el marcado CE.

Para los aditivos que no dispongan de marcado CE, el suministrador aportará la siguiente documentación:

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que se garantice el cumplimiento de todas las especificaciones referidas en el Artículo 31 de este Código, en la que constará la identificación del laboratorio que ha efectuado los ensayos que justifican el cumplimiento de las especificaciones, las fechas de emisión de los informes o actas de ensayo, y garantía de que el tratamiento estadístico es equivalente al exigido en el Mercado CE.
- Informe o acta de ensayo, con una antigüedad inferior a 6 meses, emitido por un laboratorio que incluya los resultados de todas las características referidas en el Artículo 31 de este Código.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

### 1.1.5 Adiciones

Se entregará en su caso, la declaración de prestaciones y el marcado CE.

### 1.1.6 Hormigón

En el caso de que el hormigón disponga de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, será suficiente con la presentación de la documentación establecida en el apartado 1.2, de este anejo.

Si el hormigón no dispone un distintivo oficialmente reconocido el suministrador del hormigón aportará la siguiente documentación:

- Declaración responsable, cuyo modelo se incluye en este apartado.
- En su caso, informe o acta de ensayo, emitido por un laboratorio que incluya los resultados de los ensayos a los que se hacen referencia en la declaración.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código, en el caso de que se adjunten informes o actas de ensayos.

## DECLARACION RESPONSABLE DEL FABRICANTE DE HORMIGÓN PREVIA AL SUMINISTRO A UNA OBRA

### Datos de la persona declarante:

Nombre.....Apellidos .....NIF/CIF/NIE.....,

Hace esta declaración responsable en calidad de .....

### Datos del fabricante de hormigón:

Central :

Ubicación:

Municipio:           Código Postal:

Tipo de Vía:          Nombre de la vía:   Número:

Polígono:           Km:                   Isla:                   Sector:               Parcela:

Declaro :

1. Que como fabricante suministraré a la obra .....  
situada en .....  
los hormigones tipificados siguientes: T-R/C/TM/A.....
2. Que dispongo de las instalaciones conforme a las especificaciones indicadas en el Código Estructural y conforme a la reglamentación industrial vigente, relativa al control de producción de

hormigones fabricados en central, pudiendo exhibir, si es preciso, la documentación exigible que en ésta última se pueda contemplar.

3. Que los materiales que utilizaré serán conformes a las especificaciones indicadas en el Código Estructural y que está a disposición de la dirección facultativa, si se solicita, la documentación de identificación de los materiales componentes (procedencia, suministrador, certificaciones, etc).
4. Que la dosificación nominal del hormigón que suministraré cumplirá lo siguiente:
  - Contenido mínimo de cemento (Kg/m<sup>3</sup>): + valor de la tolerancia
  - Relación máxima agua/cemento: - valor de la tolerancia
  - Contenido de adiciones, en su caso (Kg/m<sup>3</sup>):
  - Cantidad de aditivo (% respecto de peso del cemento):
5. Que en todos los casos se cumplen las dosificaciones de la tabla 43.2.1.
6. Que el hormigón que suministraré cumplirá con las condiciones técnicas establecidas en el Código estructural vigente, y en el contrato o pedido de suministro.
7. Que dispongo de un sistema de aseguramiento de la calidad documentado.
8. Que cada suministro irá acompañado del correspondiente albarán u hoja de suministro, conforme a las condiciones técnicas establecidas en el Código estructural, en el proyecto de ejecución y en el pedido.
9. Que para los hormigones de ambientes XA, XS, XD, XF y XM; se ha comprobado la impermeabilidad al agua del hormigón, conforme a lo indicado en este Código Estructural. Al efecto se adjunta informe o acta de ensayo, con antigüedad inferior a seis meses.
10. Que para los hormigones sometidos a una clase de exposición XF2 y XF4, se ha comprobado el contenido de aire ocluido acorde a lo indicado en este Código Estructural. Al efecto se adjunta informe o acta de ensayo, con antigüedad inferior a seis meses.
11. Que en caso de haberse solicitado en el pedido alguna característica adicional para el hormigón o para alguno de sus materiales componentes, se aportará la documentación justificativa necesaria para acreditar su cumplimiento.
12. Que entregaré a la dirección facultativa la documentación técnica que se me solicite para justificar cualquier especificación técnica incluida en la declaración responsable.
13. En el caso de los ambientes XC3, XC4, XD, XS, XF, XA y XM, estará a disposición del usuario, para cada fórmula de trabajo, una 'Ficha Técnica' del hormigón a suministrar donde se incluirá información adicional sobre los materiales componentes y la dosificación nominal, tal y como se indica en el Código Estructural. Esta ficha técnica estará actualizada en todo momento y dispondrá de una referencia única que permita identificarla en los albaranes de suministro o distinguirla de otras, en el caso de que existan varias fichas para una misma tipificación del hormigón.
14. Que siempre que se produzca un cambio en el suministrador de los materiales componentes, se comunicará previamente.

Localidad y fecha: .....

Firmado:

## CONTENIDO DE LA FICHA TÉCNICA DEL HORMIGÓN

(Necesaria para ambientes XC3, XC4, XD, XS, XF, XA y XM)

Datos del fabricante de hormigón:

Central :

Ubicación:

Producto : T-R/C/TM/A.....

Referencia unica de producto:..... (Cuando una ficha contenga diferentes variantes de un mismo producto, cada una de ellas deberá tener una denominación claramente diferenciada.)

Datos de Identificación de los materiales:

- Cemento: (Designación completa, suministrador y procedencia. )
- ÁRIDOS
  - Árido fino: (Designación completa, suministrador y procedencia.)
  - Árido grueso: (Designación completa, suministrador y procedencia.)
- Aditivos: (Designación completa, tipo y fabricante.)
- Agua: Procedencia (Red pública, pozo, reciclada...).
- (En el caso de que el agua no proceda de la red de suministro de agua potable los resultados de los ensayos deberán estar a disposición del usuario.)*
- Adiciones:(Designación completa, tipo, procedencia y suministrador.)

La declaración de prestaciones de los materiales que lo requieran deberá estar a disposición del usuario.

En el caso de prestaciones especiales contempladas en este Código, los ensayos que verifiquen su cumplimiento, deberán estar a disposición del usuario. Por ejemplo, los requerimientos del árido en la exposición XM o del cemento en el caso de áridos potencialmente reactivos.

Datos de la dosificación nominal (\*) del producto:

- Contenido nominal de cemento (Kg/m3):  $\pm$  valor de la tolerancia
- Relación agua/cemento nominal:  $\pm$  valor de la tolerancia
- Contenido nominal de adiciones, en su caso (Kg/m3):  $\pm$  valor de la tolerancia
- Cantidad de aditivo (% respecto de peso del cemento) (\*\*):  $\pm$  valor de la tolerancia
- Otros datos opcionales, en su caso.

(\*) Los valores "nominales" se refieren a los valores reflejados en la dosificación teórica empleada en la planta.

(\*\*) Se podrá reflejar un rango de dosificaciones de aditivos que comprenda las posibles variaciones en su dosificación en función de las condiciones ambientales.

Fecha y Firma de la persona responsable en planta de la dosificación nominal:

**1.1.7 Acero para armaduras pasivas**

Cuando los productos de acero para armaduras pasivas deban disponer de marcado CE, se entregará la declaración de prestaciones y el marcado CE.

En caso de que los productos de acero para hormigón dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido será suficiente con la presentación de la documentación del distintivo de calidad establecida en el apartado 1.2 de este anejo.

Mientras no esté vigente el marcado CE y si no dispusiera de distintivo de calidad oficialmente reconocido, se entregará la siguiente documentación:

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que se garantice el cumplimiento de todas las especificaciones referidas en el Artículo 34 de este Código, en la que constará la identificación del laboratorio que ha efectuado los ensayos que justifican el cumplimiento de las especificaciones y las fechas de emisión de los informes o actas de ensayo.
- Informe o acta de ensayo, emitido por un laboratorio que incluya los resultados de todas las características referidas en el Artículo 34 de este Código.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

Para los aceros soldables de especial ductilidad, además se entregarán los informes o actas de los ensayos de fatiga y de carga cíclica.

Cuando el fabricante garantice las características de adherencia mediante el ensayo de la viga contemplado en el apartado 34.2 de este Código, presentará un certificado de homologación de adherencia, con una antigüedad inferior a 36 meses desde la fecha de fabricación del acero en el que constará, al menos:

- Identificación del laboratorio que ha realizado los ensayos de la viga.
- Identificación del fabricante.
- Dirección de la fábrica.
- Marca comercial.
- Tipo de acero.
- Croquis con la identificación del fabricante en las barras.
- Diámetros de las barras.
- Geometría superficial de las barras, incluyendo diámetro, altura mínima de corruga/grafila, separación de corrugas/grafilas y su tolerancia, perímetro sin corrugas/grafilas y su tolerancia, intervalo de inclinación de corrugas/grafilas, para las que se certifica el cumplimiento de las tensiones de adherencia.
- Los límites admisibles de variación de las características geométricas de los resaltos para el caso de suministro en forma de barra recta, con indicación expresa de que en el caso de suministros en rollo la altura de corruga deberá ser superior a la indicada en el certificado más 0,1 mm en el caso de diámetros superiores a 20 mm o más 0,05 mm en el resto de los casos.
- Número del informe de ensayo de la viga.
- Diámetros nominales ensayados y serie a la que representan.
- Croquis con la geometría superficial de las barras.
- Fecha de firma del certificado y número de referencia del mismo.

### 1.1.8 Acero para armaduras activas

Cuando los productos de acero para armaduras activas deban disponer de marcado CE, se entregará la declaración de prestaciones y el marcado CE.

En caso de que los productos de acero para hormigón dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido será suficiente con la presentación de la documentación del distintivo de calidad establecida en el apartado 1.2 de este anejo.

Mientras no esté vigente el marcado CE, y si no dispusiera de distintivo de calidad oficialmente reconocido, se entregará la siguiente documentación:

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que se garantice el cumplimiento de todas las especificaciones referidas en el Artículo 36 de este Código, en la que constará la identificación del laboratorio que ha efectuado los ensayos que justifican el cumplimiento de las especificaciones y las fechas de emisión de los informes o actas de ensayo.
- Informe o acta de ensayo, emitido por un laboratorio que incluya los resultados de todas las características referidas en el apartado 36 de este Código.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

## 1.1.9 Armaduras pasivas

### 1.1.9.1 Armadura pasiva normalizada

Cuando la armadura pasiva normalizada deba disponer de marcado CE, se entregará la declaración de prestaciones y el marcado CE.

En caso de que las mallas electrosoldadas y armaduras básicas electrosoldadas en celosía dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido será suficiente con la presentación de la documentación establecida en el apartado 1.2. de este anejo.

Mientras no esté vigente el marcado CE, y si no dispusiera de distintivo de calidad oficialmente reconocido, se entregará la siguiente documentación:

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que se garantice el cumplimiento de todas las especificaciones referidas en el Artículo 35 de este Código, en la que constará la identificación del laboratorio que ha efectuado los ensayos que justifican el cumplimiento de las especificaciones y las fechas de emisión de los informes o actas de ensayo.
- Informe o acta de ensayo, emitido por un laboratorio que incluya los resultados de todas las características referidas en el Artículo 35 de este Código.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código.

### 1.1.9.2 Ferralla

En el caso de que la ferralla disponga de un distintivo de calidad oficialmente reconocido será suficiente con la presentación de la documentación establecida en el apartado 1.2.

Si la ferralla no dispone un distintivo oficialmente reconocido el elaborador de ferralla aportará la siguiente documentación:

- Declaración responsable, cuyo modelo se incluye en este apartado.
- En su caso, informe o acta de ensayo, emitido por un laboratorio que incluya los resultados de los ensayos a los que se hacen referencia en la declaración.
- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código, en el caso de que se adjunten informes o actas de ensayos.
- En su caso, certificado de homologación de soldadores y del proceso de soldadura.
- En su caso, certificado de adherencia con una antigüedad inferior a 36 meses, desde la fecha de fabricación del acero.



En el caso de que los elementos y sistemas de pretensado dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido será suficiente con la presentación de la documentación establecida en el apartado 1.2 de este anejo.

Siempre que no disponga de marcado CE y si no dispusiera de distintivo de calidad oficialmente reconocido, el suministrador deberá aportar la siguiente información:

- Declaración firmada por persona física con poder de representación suficiente en la que se garantice el cumplimiento las especificaciones que se indican a continuación, además constará la identificación del laboratorio que ha efectuado los ensayos que justifican el cumplimiento de las especificaciones y las fechas de emisión de los informes o actas de ensayo.

Especificaciones del acero:

- Tipo: barra, alambre o cordón.
- Carga unitaria máxima.
- Sección transversal nominal.
- Relajación a las 1.000 horas para una tensión inicial igual al 70% de la carga máxima unitaria garantizada.
- Módulo de elasticidad.

Especificaciones de los tendones:

- Tipo.
- Protección para la corrosión.
- Especificaciones para los anclajes.
- Peso del tendón.
- Carga máxima unitaria.
- Coeficiente de rozamiento en curva ( $\mu$ ).
- Coeficiente de rozamiento parásito ( $k$ ).
- Radio mínimo de curvatura.
- Diámetro interior y exterior de la vaina y espesor.
- Separación máxima entre apoyos de la vaina.

Especificaciones de los anclajes:

- Tipo de anclaje.
- Mínima separación entre centros de gravedad, con indicación de la resistencia media del hormigón.
- Mínima separación entre placas, con indicación de la resistencia media del hormigón.
- Penetración de cuña.

#### 1.1.11 Elementos prefabricados

En su caso, se entregará documentación obligatoria relativa al marcado CE (declaración de prestaciones, etiqueta de marcado CE e instrucciones de uso y seguridad). En el caso de aquellos elementos prefabricados que declaren que han empleado los materiales especificados en el plano de la fabricación de acuerdo con el proyecto, así como que han sido elaborados conforme a un procedimiento según el cual el proceso de fabricación cumple con las especificaciones del plano de fabricación de

acuerdo con el proyecto (método 3 de los contemplados en la correspondiente norma armonizada, el marcado CE) incluirá la siguiente información:

- Propiedades de los materiales empleados.
- Datos geométricos del elemento: dimensiones, secciones y tolerancias.
- Manual de calidad del control de producción en fábrica.
- En su caso, certificado de control de producción en fábrica conforme al apartado 62.1 de este Código expedido por una entidad de certificación.

Para aquellos elementos prefabricados que declaren el cumplimiento de los requisitos esenciales mediante la indicación de los datos geométricos del componente y de las propiedades de los materiales y productos constituyentes utilizados (método 1 de la correspondiente norma armonizada, el marcado CE) deberán incluir la siguiente información:

- Datos geométricos del elemento: dimensiones, secciones y tolerancias.
- Propiedades de los materiales y productos utilizados que sean necesarias tanto para el cálculo de la capacidad portante como para el resto de propiedades relevantes del elemento: durabilidad, funcionalidad, etc.

Para aquellos elementos cuyas propiedades se determinen por medio de los Eurocódigos (método 2 de la correspondiente norma armonizada), el marcado CE incluirá la siguiente información:

- Valores característicos de la resistencia y otras propiedades de la sección transversal que permitan calcular la capacidad portante y el resto de propiedades relevantes del elemento.
- Valores de cálculo de las propiedades del elemento establecidas en los Eurocódigos.

En el caso de que los elementos prefabricados dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido será suficiente con la presentación de la documentación establecida en el apartado 1.2 de este anejo.

Para el resto de los productos para los que no esté en vigor el marcado CE y si no dispusieran de distintivo de calidad oficialmente reconocido, se entregará la siguiente documentación:

- Declaración del laboratorio de cumplir los requisitos contemplados en el apartado 17.2.2.1 de este Código.
- En su caso, certificado de cualificación del personal que realiza la soldadura no resistente.
- En su caso, certificado de homologación de soldadores y del proceso de soldadura.

Asimismo se entregará la siguiente documentación relativa a los suministradores de los materiales empleados en la elaboración de las armaduras pasivas:

- Documentación correspondiente al marcado CE o, en su caso, certificados de los ensayos que garanticen el cumplimiento de las especificaciones referidas en este Código.
- En su caso, declaraciones de estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- En su caso, certificado del ensayo de adherencia.

#### **1.1.12 Productos de acero para estructuras de acero**

Cuando los productos de acero para estructuras de acero deban disponer de marcado CE, se entregará la declaración de prestaciones y el marcado CE.

En caso de que los productos de acero para estructuras de acero dispongan de un distintivo de calidad oficialmente reconocido será suficiente con la presentación de la documentación establecida en el apartado 1.2 de este anejo.

## 1.2 Documentación del distintivo de calidad oficialmente reconocido

En el caso de que un producto o proceso de los contemplados en este código disponga de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, se entregará copia del certificado vigente del distintivo, firmado por persona física con capacidad suficiente del documento que lo acredite, donde al menos constará la siguiente información:

- Identificación de la entidad certificadora.
- Logotipo del distintivo de calidad.
- Identificación del fabricante.
- Alcance del certificado.
- Número de certificado.
- Fecha de expedición del certificado.
- Periodo de vigencia del certificado.

La posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, conforme a lo establecido en el Artículo 18 de este Código, permite reducir la documentación exigida en este anejo.

## 2 Documentación durante el suministro

Con la entrega de cualquier material o producto, el suministrador proporcionará una hoja de suministro en la que se recogerá, como mínimo, la información que a continuación se detalla de forma específica para cada uno de ellos.

### 2.1 Cementos

La información a incluir será la exigida en la reglamentación específica vigente, en particular lo indicado en la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos.

En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

### 2.2 Áridos

- Identificación del suministrador.
- Número de la declaración de prestaciones, o en su caso, indicación de autoconsumo.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre de la cantera.
- Identificación del peticionario.
- Fecha de entrega.
- Cantidad de árido suministrado.
- Designación del árido según se especifica en el Artículo 30 de este Código.
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

### 2.3 Aditivos

- Identificación del suministrador.

- Número la declaración de prestaciones.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Identificación del peticionario.
- Fecha de entrega.
- Cantidad suministrada.
- Designación del aditivo según se especifica en el Artículo 31 de este Código.
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

#### 2.4 Adiciones

- Identificación del suministrador.
- Número de la declaración de prestaciones.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Identificación del peticionario.
- Fecha de entrega.
- Designación de la adición según se especifica en el Artículo 32 de este Código.
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Cantidad suministrada.
- Identificación del lugar de suministro.

#### 2.5 Hormigón

- Identificación del suministrador.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre de la central de hormigón.
- Identificación del peticionario.
- Fecha y hora de entrega.
- Cantidad de hormigón suministrado.
- Designación del hormigón según se especifica en el Código Estructural. En el caso de designación por propiedades, deberá contener siempre la resistencia a compresión, la consistencia, el tamaño máximo del árido y el tipo de ambiente al que va a ser expuesto. En el caso de designación por dosificación, deberá contener siempre la dosificación de cemento (en kg/m<sup>3</sup>), la consistencia, el tamaño máximo del árido y el tipo de ambiente al que va a ser expuesto. En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Dosificación real del hormigón que incluirá, al menos:
  - en los ambientes XC3, XC4, XD, XS, XF, XA y XM se incluirá la referencia recogida en el apartado 13 de la declaración responsable contenida en el apartado 1.1.6 de este anejo,
  - tipo y contenido de cemento,
  - relación agua/cemento,
  - contenido en adiciones, en su caso,

- tipo y cantidad de aditivos,
- identificación completa del cemento, aditivos y adiciones empleados,
- identificación del lugar de suministro,
- identificación del camión que transporta el hormigón.
- hora límite de uso del hormigón.

## 2.6 Acero para armaduras pasivas

- Identificación del suministrador.
- Cuando esté vigente el marcado CE, número de la declaración de prestaciones (a partir de la fecha de entrada en vigor), o en su caso, indicación de autoconsumo.
- Número de identificación de la certificación de homologación de adherencia, en su caso, contemplado en el apartado 34.2 de este Código.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre de la fábrica.
- Identificación del peticionario.
- Fecha de entrega.
- Cantidad de acero suministrado clasificado por diámetros y tipos de acero.
- Diámetros suministrados.
- Designación de los tipos de aceros suministrados.
- Forma de suministro (barra o rollo).
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

## 2.7 Acero para armaduras activas

- Identificación del suministrador.
- Cuando esté vigente el marcado CE, número de la declaración de prestaciones (a partir de la fecha de entrada en vigor).
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre de la fábrica.
- Identificación del peticionario.
- Fecha de entrega.
- Cantidad de acero suministrado clasificado por tipos.
- Diámetros suministrados.
- Designación del alambre, barra o cordón.
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

## 2.8 Armaduras pasivas

- Identificación del suministrador.
- Cuando esté vigente el marcado CE, número de la declaración de prestaciones (a partir de la fecha de entrada en vigor), o en su caso, indicación de autoconsumo.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre de la instalación de ferralla.
- Identificación del peticionario.
- Fecha y hora de entrega.
- Identificación del acero utilizado.
- Identificación de la armadura.
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

## 2.9 Elementos y sistemas de aplicación de pretensado

- Identificación del suministrador.
- Cuando esté vigente el marcado CE, número de la declaración de prestaciones (a partir de la fecha de entrada en vigor) o en su caso, indicación de autoconsumo.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre del aplicador.
- Identificación del peticionario.
- Fecha y hora de entrega.
- Identificación de los materiales empleados.
- Designación de los elementos suministrados.
- Cantidad de elementos suministrados clasificados por elementos.
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

## 2.10 Elementos prefabricados

- Identificación del suministrador.
- Cuando esté vigente el marcado CE, número de la declaración de prestaciones (a partir de la fecha de entrada en vigor) o en su caso, indicación de autoconsumo.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre de la instalación de prefabricación.
- Identificación del peticionario.
- Fecha y hora de entrega.
- Designación de los elementos suministrados.
- Cantidad de elementos suministrados.

- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

## 2.11 Productos de acero para estructuras de acero

- Identificación del suministrador.
- Cuando esté vigente el mercado CE, número de la declaración de prestaciones.
- Número de serie de la hoja de suministro.
- Nombre de la fábrica.
- Identificación del peticionario.
- Fecha de entrega.
- Cantidad de acero suministrado clasificado por geometría y tipos de acero.
- Dimensiones de los perfiles o chapas suministrados.
- Designación de los tipos de aceros suministrados.
- En su caso, estar en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- Identificación del lugar de suministro.

## 3 Documentación tras el suministro. Certificado final del suministro

Los suministradores de materiales o productos incluidos en el ámbito de este Código proporcionarán un certificado final de suministro, en el que se recogerán la totalidad de los materiales o productos suministrados.

El certificado de suministro deberá mantener la necesaria trazabilidad de los materiales o productos certificados.

En el recuadro se adjunta un modelo con la información mínima que deberá contener el certificado de suministro.

## CERTIFICADO DE SUMINISTRO

Nombre de la empresa suministradora: \_\_\_\_\_

Nombre y cargo del responsable del suministro: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

*Identificación del declarante**Nombre, domicilio, teléfono/fax, documento de identificación (CIF/NIF/Pasaporte)*

### Certifico

Que la empresa \_\_\_\_\_

*Identificación del declarante**Nombre, domicilio, teléfono/fax, documento de identificación (CIF/NIF/Pasaporte)*

ha entregado en \_\_\_\_\_

*Lugar de recepción del material o producto*

los suministros que a continuación se detallan:

_____	_____	_____	_____	_____
<i>Fecha</i>	<i>Nº Albarán</i>	<i>Identificación del producto o material</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tiene DCOR</i>

Durante el periodo transcurrido entre la declaración de estar en posesión de un distintivo de calidad reconocido oficialmente y el último suministro, no se ha producido ni suspensión, ni retirada del citado distintivo. *(En el caso de que fuese aplicable).*

**Declaro bajo mi responsabilidad la conformidad del suministro arriba detallado con las disposiciones establecidas en el Código Estructural, aprobado mediante Real Decreto de \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.**

**Lugar, fecha y firma.**

## 4 Acta de toma de muestras

El acta de toma de muestras que se realice a los materiales o productos amparados por este Código tendrá como mínimo la siguiente información:

- Identificación del producto.
- Fecha, hora y lugar de la toma de muestras.
- Identificación y firma de los responsables presentes en la toma.
- Identificación del material o producto del que se extraigan las muestras o probetas, según lo establecido en este Código.
- Número de muestras obtenidas.
- Tamaño de las muestras.
- Código de las muestras.
- Informar si existe el recinto de conservación de probetas previsto en el apartado 57.3.2.

## ANEJO 5

Prescripciones para la utilización del cemento de aluminato de calcio

### Contenidos del anejo

- 1 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO DE ALUMINATO DE CALCIO.
- 2 MATERIALES.
- 3 PROYECTO.
- 4 DOSIFICACIÓN.
- 5 EQUIPOS Y ÚTILES DE TRABAJO.
- 6 PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN.
- 7 CURADO.
- 8 APLICACIONES.

## 1 Características del cemento de aluminato de calcio

Mientras los cementos portland deben sus propiedades hidráulicas fundamentalmente a los silicatos de calcio y al aluminato tricálcico, el cemento de aluminato de calcio las debe al aluminato monocálcico. El contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de este último cemento, según la norma UNE-EN 14647, debe estar comprendido entre el 35 y el 58%, si bien los valores habituales del mismo están entre el 37 y el 43%.

El cemento de aluminato de calcio presenta una serie de características especiales. Así, mientras tiene un tiempo de fraguado prácticamente análogo al del cemento portland, su endurecimiento es mucho más rápido, por lo cual, sus morteros y hormigones presentan al cabo de pocas horas una resistencia del mismo orden que la obtenida a 28 días con cemento portland.

Con el tiempo sus resistencias disminuyen al tener lugar el proceso de conversión, ya que la hidratación del cemento de aluminato de calcio a temperatura ambiente ( $<25^\circ\text{C}$ ) produce aluminatos de calcio hidratados hexagonales que son metaestables y por ello sufren inevitablemente una transformación (conversión) hacia la forma cúbica de aluminato de calcio hidratado, único compuesto termodinámicamente estable.

Esta conversión ocasiona al hormigón de cemento de aluminato de calcio un aumento de porosidad y por tanto una disminución de resistencia. La conversión puede transcurrir en pocos minutos o necesitar años, ya que la velocidad de transformación depende de diversos factores, y principalmente de la temperatura.

Esta disminución de resistencias puede ser de distinta cuantía. Si se siguen las recomendaciones de su correcto empleo y se utiliza una dosificación de cemento elevada y una relación agua/cemento baja, sus hormigones retienen una resistencia suficientemente elevada. Al contrario, las resistencias pueden descender hasta valores excesivamente bajos en el caso de no seguir las recomendaciones antes citadas.

La resistencia final alcanzada después de la conversión puede evaluarse mediante el ensayo descrito en la norma UNE-EN 14647.

El cemento de aluminato de calcio resiste notablemente mejor que los cementos portland la acción de aguas puras, agua de mar, aguas sulfatadas, aguas residuales, y terrenos yesíferos, así como la acción de sales de magnesio y ácidos diluidos. Sin embargo, sus hormigones son menos resistentes a la acción de los hidróxidos alcalinos.

Para la correcta utilización del cemento de aluminato de calcio en sus distintas aplicaciones se tendrán en cuenta las normas generales válidas para la confección de morteros y hormigones de cemento portland. Asimismo, se deberán seguir las instrucciones específicas que se señalan a continuación.

## 2 Materiales

El cemento de aluminato de calcio deberá cumplir las prescripciones exigidas en la reglamentación específica vigente, para poder ser utilizado en aquellos casos en los que su empleo está contemplado en el apartado 8 de aplicaciones de este anejo.

Los áridos cumplirán con las especificaciones generales que estipula este Código.

No se deberán utilizar áridos que contengan álcalis liberables y particularmente se debe evitar el empleo de los graníticos, esquistosos, micáceos y feldespáticos.

Se utilizarán áridos finos con un equivalente de arena superior al 85%, según el Anejo A de la norma UNE-EN 933-8 o, en caso contrario, que contengan menos del 5%, en peso, de partículas inferiores a 0,125 mm.

El comportamiento de los aditivos con el cemento de aluminato de calcio es notoriamente diferente del que presentan con el cemento portland. Son, pues, obligados los ensayos previos para establecer la compatibilidad y dosificación apropiada de cada tipo de aditivo.

### 3 Proyecto

Como resistencia de proyecto de los hormigones de cemento de aluminato de calcio, se tomará la resistencia mínima residual alcanzable después de que el cemento haya llegado a su conversión total, teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en el punto 1. Su valor se determinará según el procedimiento experimental descrito en el apartado A.7 del Anexo A de la norma UNE-EN 14647. En cualquier caso, la resistencia de proyecto no superará nunca los 40 N/mm<sup>2</sup>.

Debido al pH más bajo y la menor reserva alcalina, las armaduras embebidas en los hormigones fabricados con cemento de aluminato de calcio pueden estar más expuestas a la corrosión. Por ello, y por razones de durabilidad en general, los recubrimientos mínimos que se deben utilizar son:

- En la clase de exposición no agresiva (XO): 20 mm.
- En la clase de exposición normal (XC): 30 o 40 mm en función del diámetro de la armadura y las tensiones del elemento.
- En la clase de exposición marina (XS), cloruros no marinos (XD) y química agresiva (XA): 40 mm.

El recubrimiento mínimo se incrementará en el margen de recubrimiento  $\Delta C_{dev}$  prescrito en el apartado 43.4.1 del Código Estructural, para obtener el recubrimiento nominal definido en dicho apartado.

### 4 Dosificación

Se respetará estrictamente el cumplimiento de las siguientes prescripciones:

- No se utilizarán relaciones agua/cemento superiores a 0,4. Para el cálculo del agua de amasado se tendrá en cuenta el agua aportada por los áridos.
- El contenido mínimo de cemento será de 400 kg/m<sup>3</sup>.

### 5 Equipos y útiles de trabajo

Se evitará cualquier posible contacto o contaminación accidental del cemento de aluminato de calcio con otros cementos a base de clinker portland, o con cales o con yesos.

### 6 Puesta en obra del hormigón

Para la puesta en obra de los hormigones con cemento de aluminato de calcio se recomienda emplear las mismas técnicas que para los hormigones con cemento portland (colado, proyectado, bombeado, etc.). Además se recomienda utilizar métodos de compactación habituales, como por ejemplo, agujas vibrantes.

No se permite el uso de agua reciclada para la fabricación de los hormigones con cemento de aluminato de calcio.

En el hormigonado en tiempo caluroso, los áridos y el agua no deben estar expuestos directamente al sol.

En el hormigonado en tiempo frío se tendrán en cuenta las siguientes precauciones:

- No se utilizarán áridos congelados.
- Se asegurará que la temperatura del hormigón recién elaborado sea la suficiente para que éste pueda permanecer por encima de los 0°C hasta que se haya iniciado el fraguado y, con él, las reacciones exotérmicas de hidratación del cemento.

## 7 Curado

En el caso de pavimentos o losas se deberá aplicar inmediatamente un curado inicial del hormigón con productos de curado o protegerlo con arpilleras húmedas. En otros casos de estructuras o elementos de menor superficie, el curado se iniciará, una vez finalizado el fraguado, mediante aspersión o riego en forma continuada, prolongándolo, como mínimo, durante las primeras veinticuatro horas desde la puesta en obra del hormigón.

Es conveniente, al igual que para el cemento portland, evitar la desecación prematura de los elementos de hormigón ya elaborados, especialmente en ambientes calurosos y secos. Una buena recomendación práctica es conservarlos a cubierto, siendo aconsejable regarlos periódicamente durante los primeros días.

Salvo estudio especial, no se debe utilizar el curado térmico.

## 8 Aplicaciones

De acuerdo con el Artículo 28 del Código Estructural, el empleo de cemento de aluminato de calcio en hormigones deberá ser objeto, en cada caso, de estudio especial, exponiendo las razones que aconsejan su uso y observándose estrictamente las especificaciones contenidas en el presente anejo.

El cemento de aluminato de calcio resulta muy adecuado para:

- Reparaciones rápidas de urgencia.
- Hormigón en medios químicamente agresivos.
- Hormigonado en tiempo frío.

Cuando su uso sea justificable, se puede utilizar en:

- Obras y elementos prefabricados, de hormigón en masa o armado no estructural.
- Determinados casos de cimentaciones de hormigón en masa.
- Hormigón proyectado.

El cemento de aluminato de calcio no resulta indicado para:

- Hormigón armado estructural.
- Hormigón en masa o armado de grandes volúmenes.

El cemento de aluminato de calcio está prohibido para:

- Hormigón pretensado en todos los casos, según el Artículo 28 del Código Estructural.

Por lo que respecta a las clases de exposición, los hormigones fabricados de acuerdo con las especificaciones del presente anejo, se comportan adecuadamente en:

- |  |     |
|--|-----|
| - Ambiente no agresivo                 | X0  |
| - Ambiente marino                      | XS  |
| - Ambiente químicamente agresivo débil | XA1 |
| - Ambiente químicamente agresivo medio | XA2 |

## ANEJO 6

### Recomendaciones para la selección del tipo de cemento a emplear en hormigones estructurales

#### Contenidos del anejo

- 1 **INTRODUCCIÓN.**
- 2 **SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO EN FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL HORMIGÓN.**
- 3 **SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO EN FUNCIÓN DE APLICACIONES ESTRUCTURALES ESPECÍFICAS.**
  - 3.1 CEMENTOS RECOMENDADOS PARA CIMENTACIONES.
  - 3.2 CEMENTOS RECOMENDADOS PARA OBRAS PORTUARIAS Y MARÍTIMAS.
  - 3.3 CEMENTOS RECOMENDADOS PARA PRESAS.
  - 3.4 CEMENTOS RECOMENDADOS PARA OBRAS HIDRÁULICAS DISTINTAS DE LAS PRESAS.
- 4 **SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO EN FUNCIÓN DE LAS CIRCUNSTANCIAS DE HORMIGONADO.**
- 5 **SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO EN FUNCIÓN DE LA CLASE DE EXPOSICIÓN.**

## 1 Introducción

La Instrucción para la recepción de cementos vigente regula, con carácter general, las condiciones que debe cumplir el cemento para su empleo. Este anejo de recomendaciones se incluye únicamente con la finalidad de facilitar la selección del tipo de cemento a emplear en cada caso por parte del autor del proyecto o de la dirección facultativa.

La selección del tipo de cemento deberá efectuarse considerando, al menos, los siguientes criterios:

- la aplicación del hormigón, de acuerdo con el apartado 2 de este anejo,
- las circunstancias de hormigonado, de acuerdo con el apartado 4 de este anejo,
- las condiciones de agresividad ambiental a las que va a estar sometido el elemento de hormigón, de acuerdo con el apartado 5 de este anejo.

## 2 Selección del tipo de cemento en función de la aplicación del hormigón

Los cementos recomendados, en función de su aplicación, son los indicados en la tabla A6.2.

Tabla A6.2 Tipos de cementos en función de la aplicación del hormigón

APLICACIÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Hormigón en masa	Todos los 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	Todos los 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, CEM V/B.
Hormigón pretensado incluidos los prefabricados estructurales	Cementos comunes(**) de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P)(***).
Elementos estructurales prefabricados de hormigón armado	Resultan muy adecuados los cementos comunes(**) de los tipos CEM I, CEM II/A y adecuado el cemento común tipo CEM IV/A cuando así se deduzca de un estudio experimental específico.
Hormigón en masa y armado en grandes volúmenes	Resultan muy adecuados los cementos comunes CEM III/B y CEM IV/B y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A. Cementos para usos especiales ESP VI-1. Es muy recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH) y de muy bajo calor de hidratación (VLH), según los casos.
Hormigón de alta resistencia	Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/A-D y CEM II/A 42,5 R. El resto de cementos comunes tipo CEM II/A pueden resultar adecuados cuando así se deduzca de un estudio experimental específico.
Hormigones para reparaciones rápidas de urgencia	Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/A-D, y el cemento de aluminato de calcio (CAC).

Hormigones para desencofrado y descimbrado rápido	Los cementos comunes(**) tipo CEM I, y CEM II.
Hormigón proyectado.	Los cementos comunes tipo CEM I, y CEM II/A.
Hormigones con áridos potencialmente reactivos(****)	Resultan muy adecuados los cementos comunes tipo CEM III, CEM IV, CEM V, CEM II/A-D, CEM II/B-S y CEM II/B-V, y adecuados los cementos comunes tipo CEM II/B-P y CEM II/B-M.

(\*) En el caso de grandes volúmenes de hormigón en masa.

(\*\*) Dentro de los indicados son preferibles los de alta resistencia inicial.

(\*\*\*) La inclusión de los cementos CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P) como utilizables para la aplicación de hormigón pretensado,

es coherente con la posibilidad, contemplada en el articulado de este Código, de utilización de adición al hormigón pretensado de cenizas volantes en una cantidad no mayor del 20 % del peso de cemento.

(\*\*\*\*) Para esta aplicación son recomendables los cementos con bajo contenido en alcalinos o aquellos citados en la tabla.

### 3 Selección del tipo de cemento en función de aplicaciones estructurales específicas

#### 3.1. Cementos recomendados para cimentaciones

En la tabla A6.3.1 se recogen los cementos recomendados para su uso en la fabricación de hormigones destinados a cimentaciones.

Tabla A6.3.1 Cementos recomendados para cimentaciones

APLICACIÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Cimentaciones de hormigón en masa	Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM IV/B, siendo adecuados el resto de cementos comunes, excepto los 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. En todos los casos es recomendable la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH). Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR o SRC) <sup>(1)</sup> o al agua de mar (MR) cuando corresponda.
Cimentaciones de hormigón armado	Muy adecuados los cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A, siendo adecuados el resto de cementos comunes a excepción de los CEM III/B, CEM III/C, CEM IV/B CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T y CEM II/B-T. Es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia a sulfatos (SR o SRC) <sup>(1)</sup> o al agua de mar (MR) cuando corresponda.

(1) De acuerdo con la vigente Instrucción de Recepción de Cementos.

#### 3.2. Cementos recomendados para obras portuarias y marítimas

En la tabla A6.3.2 se recogen los cementos recomendados para su uso en la fabricación de hormigones destinados a la construcción de estructuras de hormigón en masa, armado o pretensado que formen parte de obras portuarias y marítimas.

Tabla A6.3.2 Cementos recomendados para obras portuarias y marítimas

APLICACIÓN	TIPO DE HORMIGÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Obras portuarias y marítimas	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.
	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.
	Pretensado(**)	Cementos comunes(*) de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-P, CEM II/A-V y CEM II/A-M (V-P).

(\*) Dentro de los indicados son preferibles los de alta resistencia inicial.

(\*\*) Estos cementos son los únicos permitidos según el Artículo 28 del Código Estructural en hormigón pretensado.

La utilización de uno u otro tipo de cemento, con característica adicional MR cuando sea preceptiva, dependerá de las exigencias del hormigón y siempre que no haya circunstancias especiales que desaconsejen su uso.

Todos los cementos SR y SRC son, además de resistentes a los sulfatos, resistentes al agua de mar. Por tanto, cuando se especifique la utilización de un cemento resistente al agua de mar, MR, se podrá emplear un cemento SR o SRC en su lugar.

### 3.3. Cementos recomendados para presas

En la tabla A6.3.3 se recogen los cementos recomendados para su uso en la fabricación de hormigones destinados a la construcción de presas.

Tabla A6.3.3 Cementos recomendados para presas

APLICACIÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Presas de hormigón vibrado	Cementos comunes de los tipos CEM II/A, CEM III/A, CEM III/B y CEM IV/A.
Presas de hormigón compactado	Cementos comunes de los tipos CEM III, CEM IV y CEM V. Cementos para usos especiales ESP VI-1. Cementos especiales de muy bajo calor de hidratación VLH III, VLH IV y VLH V. Cementos de escoria de horno alto de baja resistencia inicial L.

También pueden emplearse los cementos tipo CEM I, cuando se añada una adición al hormigón en cantidad suficiente, compatible con las exigencias del proyecto.

Se recomienda que los cementos a utilizar sean de clase resistente baja (32,5), así como tener en cuenta, especialmente, el calor de hidratación, por lo cual, con carácter general, la utilización de cementos con característica adicional de bajo calor de hidratación y de muy bajo calor de hidratación resultan aconsejables.

### 3.4. Cementos recomendados para obras hidráulicas distintas de las presas

En la tabla A6.3.4 se recogen los cementos recomendados para su uso en la fabricación de hormigones destinados a la construcción de estructuras para el transporte de agua que no formen parte de los cuerpos de las presas.

Tabla A6.3.4 Cementos recomendados para obras hidráulicas distintas de las presas

APLICACIÓN	TIPO DE HORMIGÓN	CEMENTOS RECOMENDADOS
Tubos de hormigón, canales y otras aplicaciones hidráulicas	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, CEM III/C. Cementos para usos especiales ESP VI-1(*)
	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.
	Pretensado	Cementos comunes de los tipos CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M (V-P)

(\*) En revestimientos de grandes canales con máquinas de encofrados deslizantes.

#### 4 Selección del tipo de cemento en función de las circunstancias de hormigonado

Los cementos recomendados, en función de las condiciones de puesta en obra, son los indicados en la tabla A6.4.

Tabla A6.4 Tipos de cementos en función de las circunstancias de hormigonado

CIRCUNSTANCIAS DE HORMIGONADO	CEMENTOS RECOMENDADOS
Hormigonado en tiempo frío(*)(**)	Los cementos comunes tipo CEM I, CEM II/A y CEM IV/A. Se recomienda la utilización de cementos de clase resistente alta o media (52,5 y 42,5).
Hormigonado en ambientes secos y sometidos al viento y, en general, en condiciones que favorecen la desecación del hormigón(**)	Cementos comunes tipo CEM I y CEM II/A.
Insolación fuerte u hormigonado en tiempo caluroso(**)	Los cementos comunes tipo CEM II, CEM III/A, CEM IV/A y CEM V/A.

(\*) En estas circunstancias, no conviene emplear la característica adicional de bajo calor de hidratación (LH).

(\*\*) En estas circunstancias, resulta determinante tomar, durante el proceso de ejecución o puesta en obra, las medidas adecuadas especificadas en la reglamentación correspondiente y, en su caso, en este Código.

#### 5 Selección del tipo de cemento en función de la clase de exposición

Los cementos recomendados, en función de la clase de exposición que componen el ambiente en el que va estar ubicado el elemento estructural, son los indicados en la tabla A6.5.

Tabla A6.5 Tipos de cementos en función de las clases de exposición

CLASE DE EXPOSICIÓN	TIPO DE PROCESO (agresividad debida a)	CEMENTOS RECOMENDADOS
X0	Ninguno	Todos los recomendados según la aplicación prevista.
XC	Corrosión de las armaduras de origen diferente de los cloruros	CEM I, cualquier CEM II (preferentemente CEM II/A), CEM III/A, CEM IV/A.
XS <sup>(*)</sup>	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen marino	Muy adecuados los cementos CEM II/S, CEM II/V (preferentemente los CEM II/B-V), CEM II/P (preferentemente los CEM II/B-P), CEM II/A-D, CEM III, CEM IV (preferentemente los CEM IV/A) y CEM V/A.
XD	Corrosión de las armaduras por cloruros de origen no marino	Preferentemente, los CEM I y CEM II/A y, además, los mismos que para la clase de exposición XS.
XA <sup>(**)</sup>	Ataque al hormigón por sulfatos	Los mismos que para la exposición XS.
XA	Lixiviación del hormigón por aguas puras, ácidas, o con CO <sub>2</sub> agresivo	Los cementos comunes de los tipos CEM II/P, CEM II/V, CEM II/A-D, CEM II/S, CEM III, CEM IV y CEM V.
-	Reactividad álcali-árido	Cementos de bajo contenido en alcalinos <sup>(***)</sup> (óxidos de sodio y de potasio) en los que $(Na_2O)_{eq} = Na_2O (\%) + 0,658 K_2O (\%) < 0,60$ .

- (\*) En esta clase de exposición es necesario el empleo de cementos que cumplan las prescripciones relativas a la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR)
- (\*\*) En el caso de las clases XA2 o XA3 es necesario el empleo de cementos que cumplan las prescripciones relativas a la característica adicional de resistencia a los sulfatos (SR o SRC), tal y como establece el articulado del Código. En los casos en que el elemento esté en contacto con agua de mar será únicamente necesario que cumplan las prescripciones relativas a la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR).
- (\*\*\*) Son especialmente recomendables los cementos citados en la tabla A6.2 para hormigones con áridos potencialmente reactivos (que deberán cumplir igualmente el requisito de bajo contenido en alcalinos).

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.

## ANEJO 7

## Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras

## Contenidos del anejo

- 1 ALCANCE.**
- 2 BASES DE PROYECTO.**
  - 2.1. ACCIONES.
    - 2.1.1. *Valores característicos de las acciones.*
      - 2.1.1.1. Valores característicos de las acciones permanentes.
  - 2.2. MATERIALES Y GEOMETRÍA.
    - 2.2.1. *Materiales.*
      - 2.2.1.1. Coeficientes parciales de seguridad de los materiales.
- 3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.**
  - 3.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.
- 4 PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES.**
  - 4.1. MATERIALES.
    - 4.1.1. *Hormigones.*
      - 4.1.1.1. Composición.
      - 4.1.1.2. Condiciones de calidad.
      - 4.1.1.3. Características mecánicas.
      - 4.1.1.4. Valor mínimo de la resistencia.
      - 4.1.1.5. Docilidad del hormigón.
- 5 DURABILIDAD.**
  - 5.1. DURABILIDAD.
    - 5.1.1. *Durabilidad del hormigón y de las armaduras.*
      - 5.1.1.1. Recubrimientos.
      - 5.1.1.2. Empleo de hormigón reforzado con fibras.
      - 5.1.1.3. Resistencia del hormigón frente a la erosión.
- 6 CÁLCULO.**
  - 6.1. DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO.
    - 6.1.1. *Características del hormigón.*
      - 6.1.1.1. Tipificación de los hormigones.
      - 6.1.1.2. Resistencia de cálculo del hormigón.
      - 6.1.1.3. Diagrama tensión - deformación en tracción de cálculo del hormigón con fibras.
      - 6.1.1.4. Factor de orientación.
      - 6.1.1.5. Fluencia del hormigón.
      - 6.1.1.6. Coeficiente de Poisson.
  - 6.2. CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.
    - 6.2.1. *Estado Límite de Agotamiento frente a sollicitaciones normales.*
      - 6.2.1.1. Hipótesis básicas.
      - 6.2.1.2. Dominios de deformación.
      - 6.2.1.3. Efecto de confinamiento del hormigón.
      - 6.2.1.4. Flexión simple o compuesta.
      - 6.2.1.5. Tracción simple o compuesta.
      - 6.2.1.6. Cuantías geométricas mínimas.
    - 6.2.2. *Estado Límite de Agotamiento frente a cortante.*
      - 6.2.2.1. Consideraciones generales.
      - 6.2.2.2. Piezas de hormigón reforzado con fibras sin y con armadura de cortante.
      - 6.2.2.3. Armaduras transversales.

- 6.2.2.4. Armaduras longitudinales.
- 6.2.2.5. Rasante entre alas y alma de una viga.
- 6.2.3. *Estado Límite de Agotamiento frente a punzonamiento.*
  - 6.2.3.1. Losas de hormigón reforzado con fibras.
- 6.2.4. *Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones.*
  - 6.2.4.1. Disposiciones relativas a las armaduras.

## 7 EJECUCIÓN.

- 7.1. EJECUCIÓN.
  - 7.1.1. *Procesos de elaboración, armado y montaje de armaduras.*
    - 7.1.1.1. Anclaje de las armaduras pasivas. Generalidades.
  - 7.1.2. *Elaboración y puesta en obra del hormigón.*
    - 7.1.2.1. Fabricación del hormigón.
      - 7.1.2.1.1. Dosificación de materiales componentes.
      - 7.1.2.1.2. Agua.
      - 7.1.2.1.3. Fibras.
    - 7.1.2.2. Equipos de amasado.
    - 7.1.2.3. Amasado del hormigón.
    - 7.1.2.4. Suministro del hormigón.
    - 7.1.2.5. Puesta en obra del hormigón.
      - 7.1.2.5.1. Vertido y colocación del hormigón.
      - 7.1.2.5.2. Compactación del hormigón.

## 8 CONTROL.

- 8.1. CONTROL DE LA CONFORMIDAD DE LOS PRODUCTOS.
  - 8.1.1. *Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los materiales componentes del hormigón.*
    - 8.1.1.1. Otros componentes del hormigón.
      - 8.1.1.1.1. Especificaciones.
      - 8.1.1.1.2. Ensayos.
      - 8.1.1.1.3. Criterios de aceptación o rechazo.
    - 8.1.2. *Control del hormigón.*
      - 8.1.2.1. Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón.
      - 8.1.2.2. Realización de los ensayos.
        - 8.1.2.2.1. Ensayos de resistencia del hormigón.
        - 8.1.2.2.2. Control de la resistencia del hormigón al 100 por 100.
        - 8.1.2.2.3. Control indirecto de la resistencia del hormigón.
      - 8.1.2.3. Decisiones derivadas del control.
      - 8.1.2.4. Ensayos de información complementaria del hormigón.
  - 8.2. CONTROL DE LA EJECUCIÓN.
    - 8.2.1. *Criterios generales para el control de la ejecución.*
    - 8.2.2. *Ensayos previos y característicos del hormigón.*
      - 8.2.2.1. Ensayos previos.
      - 8.2.2.2. Ensayos característicos de resistencia.

## 1 Alcance

Las prescripciones y requisitos incluidos en el articulado de este Código se refieren a hormigones que no incorporan fibras en su masa. Por ello, se precisa establecer unas recomendaciones específicas y complementarias cuando, para mejorar algunas prestaciones ya sea en estado fresco, en primeras edades o en estado endurecido, se empleen fibras en el hormigón, las cuales pueden modificar algunas de sus propiedades.

Quedan expresamente fuera de los objetivos de este anejo:

- Los hormigones fabricados con fibras distintas a las que constan en este anejo. como aceptables para su uso en hormigones.
- Los hormigones en los que la distribución y/u orientación de las fibras es forzada intencionadamente.

Los hormigones con dosificación en fibras superior al 1,5% en volumen deberán ser objeto de un estudio específico.

A los efectos de este anejo, los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa. El planteamiento es general para todo tipo de fibras, si bien hay que tener presente que la base fundamental del conocimiento de que se dispone es para fibras de acero, lo que se refleja en cierta medida en el mismo.

La aplicación de estos hormigones puede ser con finalidad estructural o no estructural. El empleo de fibras en el hormigón tiene finalidad estructural cuando se utiliza su contribución en los cálculos relativos a alguno de los estados límite últimos o de servicio y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones. Se considerará que las fibras no tienen función estructural, cuando se incluyan fibras en el hormigón con otros objetivos, como la mejora de la resistencia al fuego o el control de la fisuración a primeras edades.

La adición de fibras es admisible en hormigones en masa, armados o pretensados, y se puede hacer con cualquiera de los diversos sistemas, sancionados por la práctica, de incorporación de las fibras al hormigón y, en el caso de que así no se hiciera, debe explicitarse el sistema utilizado. Se contempla la confección de hormigones con fibras con carácter, en estado fresco, de autocompactabilidad.

En el anejo se presenta una relación de referencias normativas nacionales e internacionales relacionadas con el tema de este anejo y que pueden servir de apoyo o referencia.

En cada plano de la estructura deberá figurar un cuadro de tipificación de los hormigones, incluyendo las condiciones adicionales para los hormigones con fibras que se señalan en el Artículo 33 de este Código.

La tipificación propuesta en este anejo refleja las especificaciones básicas que se exigen cuando las fibras tienen finalidad estructural. Además de las propiedades que quedan implícitas en la tipificación del hormigón según el apartado 6.1.1 de este anejo, el pliego de prescripciones técnicas particulares deberá incluir aquellas características adicionales exigidas al hormigón con fibras, así como los métodos de ensayo para su verificación y los valores que deban alcanzar dichas características. En todo caso, deberá indicarse una propuesta de dosificación con los siguientes datos:

- Dosificación de fibras en  $\text{kg/m}^3$
- Tipo, dimensiones (longitud, diámetro efectivo, esbeltez), forma, resistencia a tracción de la fibra (en  $\text{N/mm}^2$ ) y módulo de elasticidad (en  $\text{N/mm}^2$ ), en el caso de fibras con finalidad estructural.

Sin embargo la efectividad de las distintas fibras disponibles en el mercado puede ser muy variable, y las condiciones de disponibilidad del producto o las condiciones de la obra pueden recomendar una modificación de alguna de las características especificadas en el pliego, ya sea de tipo, de dimensiones y, por ende, de la dosificación necesaria de fibras para obtener las mismas propiedades. Por ello, cuando la designación del hormigón sea por propiedades, la dosificación indicada en el pliego de prescripciones técnicas particulares debe entenderse como orientativa. Antes del inicio del hormigonado, el suministrador propondrá una dosificación de obra, y realizará los ensayos previos de acuerdo con el apartado 8.2.2 de este anejo. A la vista de los resultados, la dirección facultativa obra aceptará la dosificación propuesta o exigirá nuevas propuestas.

En lo que sigue, se detallan los complementos a los diversos artículos del Código necesarios para poder realizar y tener en cuenta la incorporación de fibras al hormigón.

## 2 Bases de proyecto

### 2.1. Acciones

#### 2.1.1. Valores característicos de las acciones

##### 2.1.1.1. Valores característicos de las acciones permanentes

La densidad y las dosificaciones usuales de las fibras no llevan a modificar los valores del peso específico característico del hormigón con fibras respecto al hormigón sin ellas.

### 2.2. Materiales y geometría

#### 2.2.1. Materiales

##### 2.2.1.1. Coeficientes parciales de seguridad de los materiales

Para los Estados Límite Últimos y para los Estados Límite de Servicio se mantienen los mismos coeficientes parciales de seguridad dados en los Anejos 19 y 21.

## 3 Análisis estructural

### 3.1. Análisis estructural

La incorporación de fibras modifica el comportamiento no lineal del hormigón estructural, especialmente en tracción, estado en el cual las secciones fisuradas también contribuyen a resistir tracciones. Esta colaboración resistente se puede tener en cuenta empleando alguno de los diagramas constitutivos presentados en el apartado 6.1.1.3 de este anejo.

Asimismo, dada la ductilidad a nivel seccional que introduce la presencia de fibras, se consideran válidos los principios para la aplicación del método de análisis lineal con redistribución limitada y de los métodos de cálculo plástico, cuando se comprueben los requisitos para la aplicación de los mismos, especificados en el Capítulo 5 de los Anejos 19 y 21.

Los momentos plásticos o últimos se obtendrán de acuerdo con el apartado 6.1.1 de este anejo y, para placas macizas, se considerará que las líneas de rotura tienen suficiente capacidad de rotación si la profundidad de la fibra neutra en ELU de flexión simple es menor que  $0,3d$  (ó  $0,25h$  en secciones de hormigón reforzadas exclusivamente con fibras).

El empleo de fibras estructurales puede aumentar la anchura de las bielas de compresión, lo cual puede ser tenido en cuenta en los modelos de bielas y tirantes. Por consiguiente, la combinación de

armadura convencional y fibras puede suponer una alternativa para reducir la cuantía de armadura convencional en regiones D donde se presente una alta densidad de armadura que dificulte el correcto hormigonado del elemento.

## 4 Propiedades tecnológicas de los materiales

### 4.1. Materiales

#### Fibras. Definiciones:

Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas.

De una manera general, se pueden clasificar como fibras estructurales, aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al hormigón en masa (en el caso de las fibras estructurales, la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de hormigón), o como fibras no estructurales, aquellas que sin considerar en el cálculo esta energía suponen una mejora ante determinadas propiedades como, por ejemplo, el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Las características geométricas de las fibras, longitud ( $l_f$ ), diámetro equivalente ( $d_f$ ), y esbeltez ( $\lambda$ ), se establecerán de acuerdo con las normas UNE-EN 14889-1, UNE-EN 14889-2 y UNE 83516. Por otro lado, de acuerdo con su naturaleza, las fibras se clasifican en:

- Fibras de acero.
- Fibras poliméricas.
- Fibras de vidrio resistentes a los álcalis.

La efectividad de las fibras puede valorarse por medio de la resistencia residual a la tracción por flexión, correspondiente a aberturas de fisura de 0,5 y 2,5 mm, obtenidas de acuerdo a la norma UNE-EN 14651. De forma alternativa, el autor del proyecto o la dirección facultativa pueden indicar el empleo de la norma UNE 83515 (ensayo Barcelona con control por desplazamiento circunferencial o desplazamiento del pistón) con objeto de reducir la dispersión y el tiempo de ensayos o de la norma UNE 83510.

Si bien no se especifica un contenido mínimo en fibras, cuando se utilicen fibras con función estructural no es recomendable utilizar dosificaciones inferiores al 0,25% en volumen del hormigón (equivalente a 20 kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero ó 2,5 kg/m<sup>3</sup> de fibras poliméricas).

El límite superior del contenido en fibras se fija en el 1,5% en volumen del hormigón. El empleo de dosificaciones muy elevadas exige modificar sensiblemente la estructura granular del hormigón. Para estos casos, se recomienda la consulta de bibliografía especializada.

#### Fibras de acero

Estas fibras deberán ser conformes con la norma UNE-EN 14889-1 y, según el material base utilizado en su fabricación, se clasifican en:

- Grupo I: alambres estirados en frío.
- Grupo II: láminas cortadas.
- Grupo III: extractos fundidos.
- Grupo IV: conformados en frío.
- Grupo V: aserrados de bloques de acero.

La forma de la fibra tiene una incidencia importante en las características adherentes de la fibra con el hormigón y puede ser muy variada: rectas, onduladas, corrugadas, conformadas en extremos de distintas formas, etc.

Cuando las fibras sean suministradas con un recubrimiento (por ejemplo zinc), debe declararse el tipo y la cantidad del mismo, expresada en  $\text{g/cm}^2$ .

La longitud de la fibra ( $l_f$ ) se recomienda sea, como mínimo, 2 veces el tamaño del árido mayor. Es usual el empleo de longitudes de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo de árido. Cuando el hormigón se coloque por bombeo, la longitud de la fibra debe ser inferior a  $2/3$  del diámetro del tubo. Sin embargo, la longitud de la fibra debe ser suficiente para dar una adherencia necesaria a la matriz y evitar arrancamientos con demasiada facilidad.

A igualdad de longitud, las fibras de pequeño diámetro aumentan el número de ellas por unidad de peso y hacen más denso el entramado o red de fibras. El espaciamiento entre fibras se reduce cuando la fibra es más fina, siendo más eficiente y permitiendo, en general, una mayor capacidad de rotación en las secciones, así como un mayor grado de redistribución de esfuerzos en estructuras hiperestáticas.

### Fibras poliméricas

Están formadas por un material polimérico (polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, alcohol de polivinilo, acrílico, nylon, poliéster) extrusionado y posteriormente cortado. Estas pueden ser adicionadas homogéneamente al hormigón, mortero o pasta. Se rigen por la norma UNE-EN 14889-2 y, según su forma física, se clasifican en:

Clase I: Micro fibras:  $< 0,30$  mm de diámetro: a) mono-filamentosas, y b) fibrilosas.

Clase II: Macro fibras:  $> 0,30$  mm de diámetro.

Las macro-fibras pueden colaborar estructuralmente, siempre que su longitud esté comprendida entre 20 mm y 60 mm, y que la longitud de las fibras sea como mínimo 3 veces el tamaño máximo del árido.

Las micro-fibras se emplean para reducir la fisuración por retracción plástica del hormigón, especialmente en pavimentos y soleras, pero no pueden asumir ninguna función estructural. También se utilizan para mejorar el comportamiento frente al fuego, siendo conveniente en este caso que el número de fibras por kg sea muy elevado.

Además de por sus características físico-químicas, las micro-fibras se caracterizan por su frecuencia de fibra, que indica el número de fibras presentes en 1 kg, y que depende de la longitud de fibra y muy especialmente de su diámetro.

### Fibras de vidrio resistentes a los álcalis

Este tipo de fibras podrán emplearse siempre que se garantice un comportamiento adecuado durante la vida útil del elemento estructural, en relación con los problemas potenciales de deterioro de este tipo de fibras como consecuencia de la alcalinidad del medio.

La fibra de vidrio se emplea habitualmente para la fabricación de mortero reforzado con fibra, conocido como GRC por sus siglas en inglés, en cuya composición entra solo árido fino, generalmente arena silíceo, y no árido grueso.

Dado que los HRF pueden experimentar importantes reducciones de resistencia y tenacidad debido a la exposición al medio ambiente, se deberán tomar las medidas adecuadas tanto sobre la fibra como sobre la matriz cementícea para su protección.

Se permite el empleo de mezclas de fibras de distinta naturaleza y/o tamaño, denominándose hormigones reforzados con mezclas de fibras. Estas combinaciones se han mostrado eficaces para mejorar las prestaciones del hormigón, obteniéndose efectos de sinergia entre los distintos tipos de fibra combinados. Esta combinación no se aconseja en el caso de las fibras de vidrio.

#### 4.1.1. Hormigones

##### 4.1.1.1. Composición

Cuando las fibras utilizadas sean metálicas, el ion cloruro total aportado por los componentes no excederá del 0,4% del peso del cemento.

##### 4.1.1.2. Condiciones de calidad

Cuando se utilicen fibras, se incluirá entre las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón en el pliego de prescripciones técnicas particulares, la longitud máxima de las fibras.

Cuando las fibras tengan función estructural, se incluirán asimismo los valores de resistencia característica residual a tracción por flexión  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$ , de acuerdo con lo especificado en el apartado 6.1 de este anejo.

Cuando se utilicen fibras con otras funciones, se especificarán los métodos para verificar la adecuación de las fibras a tal fin.

##### 4.1.1.3. Características mecánicas

La resistencia del hormigón a flexotracción, a los efectos de este Código, se refiere a la resistencia de la unidad de producto o amasada y se obtiene a partir de los resultados de ensayo de rotura a flexotracción, en número igual o superior a tres, realizados sobre probetas prismáticas de ancho igual a 150 mm altura igual a 150 mm y longitud total entre 550 y 700 mm, de 28 días de edad, fabricadas, conservadas y ensayadas de acuerdo con la norma UNE-EN 14651. La distancia entre puntos de soporte deberá ser de 500 mm.

Cuando el elemento a diseñar tenga un canto inferior a 12,5 cm, o cuando el hormigón presente endurecimiento a flexión con resistencia residual a flexotracción  $f_{R1}$  superior a la resistencia a tracción  $f_{ct}$ , se recomienda que las dimensiones de la probeta y el método de preparación, se adapten para simular el comportamiento real de la estructura, y el ensayo se realice en probetas no entalladas.

Para elementos estructurales con un comportamiento sustancialmente diferente al de la viga, pueden utilizarse otros tipos de ensayos alternativos que sean más representativos de la respuesta del material, siempre y cuando vengan contrastados por una campaña experimental concluyente. Cuando la desviación entre los resultados de una misma unidad de producto sobrepase ciertos límites, debe realizarse una verificación del proceso seguido a fin de conceder representatividad a los mismos.

Al efecto de asegurar la homogeneidad de una misma unidad de producto, el recorrido relativo de un grupo de tres probetas (diferencia entre el mayor resultado y el menor, dividida por el valor medio de las tres), tomadas de la misma amasada, no podrá exceder el 35%.

Los criterios planteados en el Código para obtener el valor de la resistencia a tracción  $f_{ct}$ , a partir de los resultados del ensayo de tracción indirecta, son válidos siempre que se refieran al límite de proporcionalidad.

En sollicitaciones de compresión, el diagrama tensión-deformación del hormigón con fibras no se modifica respecto al del articulado, ya que se puede considerar que la adición de las fibras no varía de forma significativa el comportamiento del hormigón en compresión.

Del ensayo propuesto en la norma UNE-EN 14651 se obtiene el diagrama carga-abertura de fisura del hormigón (figura A7.4.1). A partir de los valores de carga correspondiente al límite de proporcionalidad ( $F_L$ ) y a las aberturas de fisura 0,5 mm y 2,5 mm ( $F_1$  y  $F_3$  respectivamente), se obtiene el valor de resistencia a flexotracción ( $f_{ct,fl}$ ) y los valores de resistencia residual a flexotracción correspondientes,  $f_{R,1}$  y  $f_{R,3}$ .

El cálculo de los valores de resistencia a flexotracción y de resistencia residual a flexotracción según la citada norma UNE-EN 14651, se realiza asumiendo una distribución elástico lineal de tensiones en la sección de rotura.

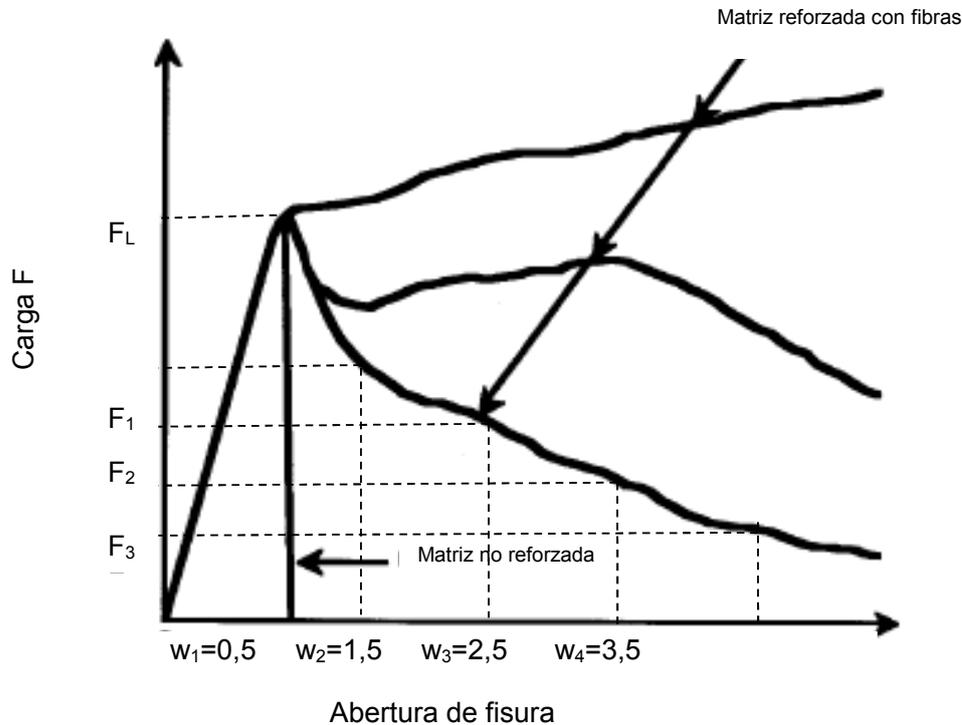


Figura A7.4.1 Diagrama tipo carga apertura de fisuras

A partir de estos valores se determinará el diagrama de cálculo a tracción según lo indicado en el apartado 6.1.1 de este anejo. También se podrán incorporar otros diagramas que definan las ecuaciones constitutivas de forma directa, siempre y cuando los resultados vengán avalados por campañas concluyentes de tipo experimental y bibliografía especializada.

Alternativamente, se puede emplear la resistencia a fisuración, tenacidad y resistencia residual a tracción del hormigón reforzado con fibras, propiedades obtenidas de acuerdo a la norma UNE-EN 14651. Se puede asimismo emplear la norma UNE 83515 en sustitución de la norma UNE-EN 14651, previa calibración de las correlaciones entre ambos ensayos para el hormigón de obra. También se admite la adopción de probetas con otras formas y dimensiones, así como la simplificación del procedimiento de ensayo, siempre y cuando estas modificaciones hayan sido validadas mediante comprobación experimental propia o con base en la literatura. El recorrido relativo de un grupo de probetas (diferencia entre el mayor resultado y el menor, dividida por el valor medio), tomadas de la misma amasada, no podrá exceder del 35%.

Tal y como indica la figura A7.4.2 del ensayo propuesto en la norma UNE 83515, se obtiene el diagrama que relaciona la carga aplicada y el desplazamiento circunferencial total del hormigón (TCOD). A partir de los valores de carga correspondiente a la carga de fisuración ( $P_f$ ), se puede estimar el valor de resistencia a tracción ( $f_{ct}$ ). Asimismo, se pueden obtener resistencias residuales a tracción ( $f_{ctRx}$ ) correspondientes a una determinada deformación circunferencial ( $R_x$ ).

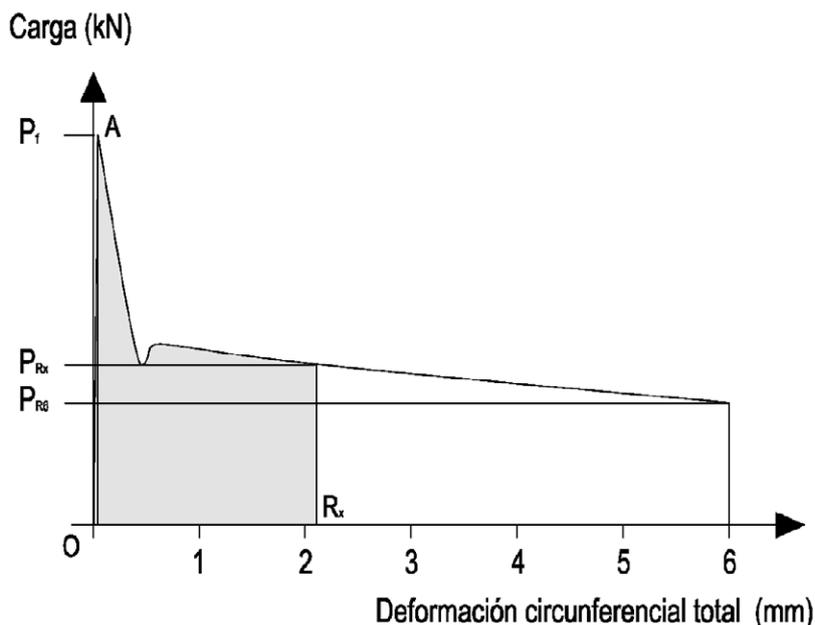


Figura A7.4.2 Diagrama tipo carga – desplazamiento circunferencial total (mm)

Existe bibliografía específica que permite correlacionar los resultados de los ensayos realizados con las normas UNE-EN 14651 y UNE 83515 para hormigones con distintos tipos de fibras. Asimismo, se pueden establecer correlaciones experimentales entre ambos ensayos con el fin de emplear el ensayo UNE 83515 (con control de la apertura circunferencial de fisura o desplazamiento vertical del actuador). Estas correlaciones deberán ser estadísticamente representativas y orientadas a su uso durante el control de calidad.

#### 4.1.1.4. Valor mínimo de la resistencia

Para que el hormigón con fibras pueda ser considerado con función estructural, la resistencia característica residual a tracción por flexión  $f_{R,1,k}$  no será inferior al 40 % del límite de proporcionalidad y  $f_{R,3,k}$  no será inferior al 20 % del límite de proporcionalidad (véase apartado 33.4 de este Código).

#### 4.1.1.5. Docilidad del hormigón

El empleo de fibras en hormigón puede provocar una pérdida de docilidad, cuya magnitud será función del tipo y longitud de la fibra empleada, así como de la cuantía de fibras dispuesta. Este factor debe considerarse especialmente al solicitar la consistencia del hormigón en el caso de adición de fibras en obra.

En el caso de hormigones con fibras, se recomienda que la consistencia del hormigón no sea inferior a 9 cm de asiento en el cono de Abrams (si bien depende del tipo de aplicación y sistema de puesta en obra). En caso contrario, el ensayo del cono de Abrams es poco adecuado y se recomienda ensayar la consistencia de acuerdo con los ensayos propuestos en la norma UNE-EN 12350-3.

En el caso de hormigones con fibras con condiciones de autocompactabilidad rige lo previsto en la tabla 33.5 b de este Código.

## 5 Durabilidad

### 5.1. Durabilidad

#### 5.1.1. Durabilidad del hormigón y de las armaduras

##### 5.1.1.1. Recubrimientos

El empleo de hormigón reforzado con fibras con función estructural hace innecesaria la utilización de la malla de reparto que exige el Código, a situar en medio de los recubrimientos superiores a 50 mm.

##### 5.1.1.2. Empleo de hormigón reforzado con fibras

De forma general, se podrá emplear hormigón reforzado con fibras en todas las clases de exposición. En las clases de exposición XS2, XS3, XD2 y XF4, en el caso del empleo de fibras de acero al carbono deberá justificarse el uso mediante pruebas experimentales. Una alternativa viable es el empleo de aceros inoxidable, galvanizados o resistentes a la corrosión.

En caso de clases de exposición por ataques químicos al hormigón XA1, XA2 y XA3, las fibras de acero y sintéticas podrán emplearse previo estudio justificativo de la no reactividad de los agentes químicos con dichos materiales distintos del hormigón.

##### 5.1.1.3. Resistencia del hormigón frente a la erosión

En general, el empleo de fibras de acero mejora la resistencia a la erosión.

## 6 Cálculo

### 6.1. Datos de los materiales para el proyecto

#### 6.1.1. Características del hormigón

##### 6.1.1.1. 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):

$$T - R / f - R1 - (R3/R1) / C / TM - TF / A$$

donde:

<i>T</i>	Indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso de hormigón pretensado
<i>R</i>	Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm <sup>2</sup>
<i>f</i>	Indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibra de vidrio. En el caso de mezclas de fibras se incluirán dos o más letras indicativas
<i>R1, R3</i>	Resistencia característica residual a flexotracción especificada $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$ en N/mm <sup>2</sup>
<i>(R3/R1)</i>	Relación $f_{R,3,k}/f_{R,1,k}$
<i>C</i>	Letra inicial del tipo de consistencia, o definición de autocompactabilidad en su caso, tal y como se define en el apartado 33.5. de este Código
<i>TM</i>	Tamaño máximo del árido en mm, definido en el apartado 30.3. de este Código

- TF** Longitud máxima de la fibra, en mm. En el caso de mezclas de fibras se incluirán dos o más números en el mismo orden que en *f*.
- A** Designación del ambiente, de acuerdo con el apartado 27.1 de este Código.

En cuanto a las resistencias residuales a flexotracción características especificadas, se recomienda utilizar la siguiente serie siempre que supere el valor mínimo exigido en el apartado 33.4 de este Código:

1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 – ....

Las cifras indican las resistencias residuales a flexotracción características especificadas del hormigón a 28 días, expresada en N/mm<sup>2</sup>.

Cuando las fibras no tengan función estructural, los indicativos R1 y R3 deberán sustituirse por "CR" en el caso de fibras para control de retracción, "RF" en el caso de fibras para mejorar la resistencia al fuego y "O" en otros casos.

En el caso de hormigones designados por dosificación se recomienda el siguiente formato:

*T - D - G/f/CF/C/TM/A*

Donde *D* significa hormigón designado por dosificación, *G* es el contenido de cemento en kg/m<sup>3</sup> de hormigón y *CF* el contenido de fibra en kg/m<sup>3</sup> de hormigón, prescrito por el peticionario. El resto de los parámetros tiene el significado indicado más arriba. En este caso, deberá garantizarse que el tipo, dimensiones y características de las fibras coincidan con los indicados en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

### 6.1.1.2. Resistencia de cálculo del hormigón

Se considerarán como resistencias residuales a flexotracción de cálculo del hormigón,  $f_{R,1,d}$  y  $f_{R,3,d}$ , el valor de la resistencia característica de proyecto  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$  correspondiente, dividido por un coeficiente parcial de seguridad  $\gamma_c$ , que adopta los valores indicados en los Anejos 19 y 21. Es posible trabajar con resistencias residuales a tracción, siempre que se demuestre la validez experimental.

### 6.1.1.3. Diagrama tensión - deformación en tracción de cálculo del hormigón con fibras

Para el cálculo de secciones sometidas a sollicitaciones normales, en los Estados Límite Últimos se adoptará uno de los diagramas siguientes:

- Diagrama rectangular: De forma general, se aplicará el diagrama de la figura A7.6.1. caracterizado por la resistencia residual a tracción de cálculo  $f_{ctR,d}$ .

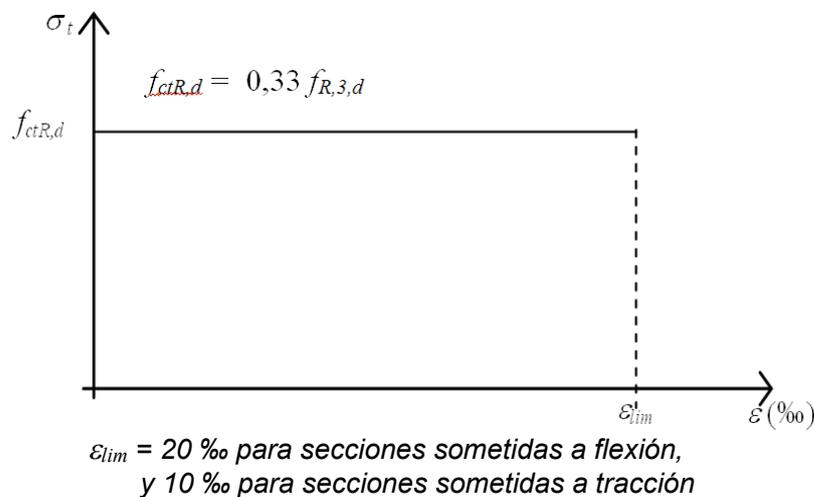


Figura A7.6.1 Diagrama de cálculo rectangular

- Diagrama multilíneal: Para aplicaciones que exigen un cálculo ajustado, se propone el diagrama tensión ( $\sigma$ ) - deformación ( $\varepsilon$ ) de la figura A7.6.2, definido por una resistencia a tracción de cálculo  $f_{ctd}$  y de las resistencias residuales a tracción de cálculo:  $f_{ctR1,d}$ ,  $f_{ctR3,d}$ , asociadas a sendas deformaciones  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  en el régimen de post-pico, donde:

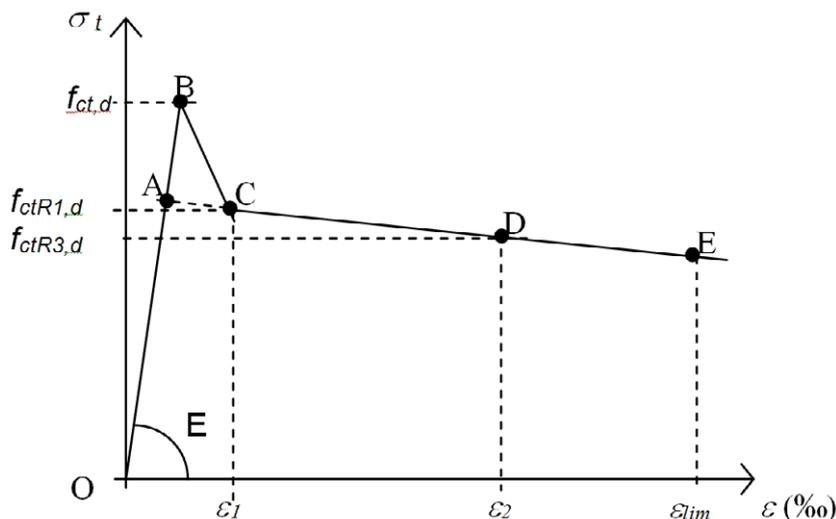


Figura A7.6.2 Diagrama de cálculo multilíneal

- $f_L$  Carga correspondiente al límite de proporcionalidad
- $f_{ct,d} = 0,6 f_{ct,fl,d}$
- $f_{ctR1,d} = 0,45 f_{R,1,d}$
- $f_{ctR3,d} = k_1 (0,5 f_{R,3,d} - 0,2 f_{R,1,d})$
- $k_1 = 1$  para secciones sometidas a flexión y  $0,7$  para secciones sometidas a tracción
- $\varepsilon_1 = 0,1 + 1000 \cdot f_{ct,d} / E_{c,0}$
- $\varepsilon_2 = 2,5 / l_{cs}$
- $\varepsilon_{lim} = 20 \text{ ‰}$  para secciones sometidas a flexión y  $10 \text{ ‰}$  para secciones sometidas a tracción
- $l_{cs}$  Longitud crítica (en metros) del elemento calculado que puede determinarse por la expresión:
- $l_{cs} = \min (s_m, h - x)$
- siendo:  $x$  =profundidad del eje neutro
- $h-x$  =distancia del eje neutro al extremo más traccionado
- $s_m$  = distancia media entre fisuras. Salvo que se disponga de datos justificados se podrá utilizar para  $s_m$  los valores de la tabla A7.6.1.

Tabla A7.6.1 Valores de referencia para  $s_m$

Elementos sin armadura tradicional, o poco armados y hormigón de fibras con comportamiento a flexión con ablandamiento ( $f_{R,1} < f_L$ y $f_{R,2} < f_L$ )	$H$ (canto de la pieza)
Hormigón de fibras armado, con $f_{R,3,d} < 2 \text{ kN/mm}^2$	$s_m$ calculado de acuerdo con el Anejo 19

Elementos con hormigón de fibras con comportamiento a flexión con endurecimiento ( $f_{R,1} > f_L$ y/o $f_{R,3} > f_L$ )	Se determinará de forma experimental según lo indicado en el apartado 4.1.1.3. de este anejo
Otros casos	Se consultará la bibliografía especializada

Nota: De forma simplificada, se considerarán elementos poco armados aquellos cuya cuantía geométrica de armadura tradicional a tracción sea inferior al uno por mil.

El efecto del pico A-B-C puede ser importante cuando se aplique un análisis no lineal, especialmente para pequeñas deformaciones. En otros casos, para el cálculo en rotura puede utilizarse el diagrama bilineal simplificado, formado por las rectas correspondientes al tramo elástico O-A y la prolongación de la recta C-E hasta el punto A, e incluso considerando un comportamiento rígido con  $E = \infty$ .

Se aceptarán otros diagramas de cálculo siempre que los resultados con ellos obtenidos concuerden de manera satisfactoria con los correspondientes a los del diagrama rectangular indicado en la figura A7.6.1, o queden del lado de la seguridad.

Los diagramas constitutivos presentados son generales y cualquiera de estos puede ser empleado también para el cálculo en ELS adaptando para ello los coeficientes de seguridad parciales de los materiales al Estado Límite que se pretenda abordar.

De forma alternativa se puede emplear la siguiente formulación:

**CASO I:** Para el diseño en ELS de materiales con ablandamiento se propone el mismo diagrama usado para el hormigón en masa a tracción uniaxial hasta  $f_{ct}$ . En la rama residual (régimen fisurado) se aplica un diagrama bilineal (figura a).

La rama residual (BC) se describe analíticamente como:

$$\frac{\sigma - f_{ct}}{0.2f_{ct} - f_{ct}} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_p}{\varepsilon_Q - \varepsilon_p} \text{ para } \varepsilon_p \leq \varepsilon \leq \varepsilon_c$$

$$\text{con } \varepsilon_Q = \frac{G_F}{l_{cs} f_{ct}} + \left( \varepsilon_p - \frac{0.8f_{ct}}{E_c} \right)$$

donde  $G_F$  representa la energía de fractura del hormigón en masa.

**CASO II:** Material con endurecimiento (figura b), la rama residual (BD) se describe analíticamente como:

$$\frac{\sigma - f_{ct}}{f_{Ftsd} - f_{ct}} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_p}{\varepsilon_{SLS} - \varepsilon_p} \text{ para } \varepsilon_p \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{SLS}$$

**CASO III:** Material con endurecimiento (figura c), la rama AD se define de acuerdo con:

$$\frac{\sigma - \sigma_{A'}'}{f_{Ftsd} - \sigma_{A'}'} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{A'}'}{\varepsilon_{SLS} - \varepsilon_{A'}'} \text{ para } \varepsilon_p \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{SLS}$$

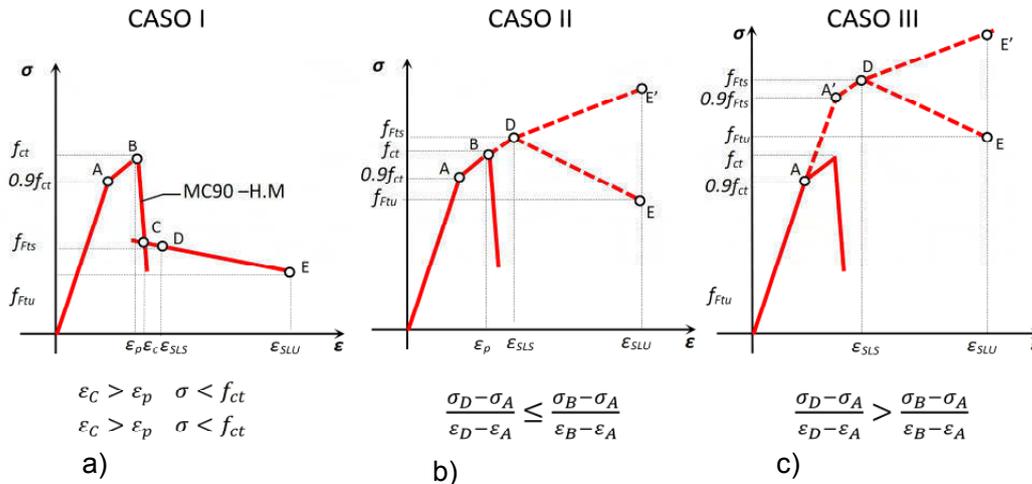


Figura A7.6.3

Las expresiones generales para la definición de la ecuación constitutiva son:

$$f_{ctm} = 0,30(f_{ck})^{2/3}$$

$$f_{Fts} = 0,45f_{R1}$$

$$f_{Ftu} = k [f_{Fts} - (w_u / \text{CMOD}_3)(f_{Fts} - 0,5f_{R3} + 0,2f_{R1})]$$

$$\varepsilon_{SLs} = \text{CMOD}_1 / l_{cs}$$

$$\varepsilon_{SLU} = w_u / l_{cs} = \min(\varepsilon_{Fu}, 2,5 / l_{cs} = 2,5 / y)$$

$$\varepsilon_{Fu} = [20\% \text{ ablandamiento}; 10\% \text{ endurecimiento}]$$

#### 6.1.1.4. Factor de orientación

En general, en el diseño se asume que la distribución de fibras en el hormigón es isotrópica, es decir, que las fibras se orientan de manera uniforme en todo el volumen. Con el fin de considerar distribuciones diferentes que tienen lugar en estructuras, se introduce un factor de orientación ( $K$ ) que en el caso de distribución isotrópica toma un valor  $K = 1,0$ . Se entiende por factor de orientación  $K$ :

$$K = \frac{n}{th} = n \frac{A_f}{V_f A}$$

Donde  $n$  es el número real de fibras en una sección,  $th$  el número teórico de fibras en la sección,  $A_f$  el área de la sección transversal de una fibra,  $V_f$  la fracción volumétrica de fibras y  $A$  el área de la sección transversal de hormigón en la que se mide el valor de  $K$ .

Para efectos favorables, se podrá aplicar un factor  $K < 1,0$  siempre que se verifique experimentalmente. Para efectos desfavorables, será necesario determinar y aplicar experimentalmente el factor  $K > 1,0$ . Cuando se emplea  $K < 1,0$  en una dirección, el valor de  $K$  en la otra dirección también se deberá comprobar.

Se podrán realizar ensayos específicos para determinar el efecto de la orientación de las fibras debido al hormigonado y la compactación en estructuras, usando elementos representativos del comportamiento del hormigón en las estructuras.

En la orientación y distribución de las fibras tienen influencia notable los efectos de borde y pared de encofrado, la forma del molde, el tiempo y energía de vibrado, y en el caso de los hormigones autocompactantes la dirección y distancia de avance del hormigón.

### 6.1.1.5. Fluencia del hormigón

En el empleo de fibras sintéticas para uso estructural, el fabricante deberá aportar el coeficiente de fluencia del hormigón, mediante el contraste experimental de los resultados.

### 6.1.1.6. Coeficiente de Poisson

Las fibras individualmente, o como grupo, deberán tener un coeficiente de Poisson similar al del hormigón, si se quiere tener en cuenta el efecto red a nivel estructural.

## 6.2. Cálculos relativos a los Estados Límite Últimos

### 6.2.1. Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales

#### 6.2.1.1. Hipótesis básicas

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones en las que las fibras desempeñen función estructural se efectuará considerando como diagrama de cálculo del hormigón a tracción alguno de los que se definen en los Anejos 19 y 21.

#### 6.2.1.2. Dominios de deformación

Se consideran los mismos que para una estructura con hormigón convencional para secciones de hormigón con refuerzo mixto de armadura convencional y fibras. Para secciones de hormigón reforzado exclusivamente con fibras, la deformación máxima asociada al pivote A (10‰) se aumentará hasta  $\varepsilon_{lim}$  (ver el apartado 6.1.1.3 de este anejo).

#### 6.2.1.3. Efecto de confinamiento del hormigón

Las fibras con función estructural proporcionan al hormigón un efecto de confinamiento similar al de las armaduras transversales. Para cuantificar el efecto del confinamiento producido por las fibras debe consultarse la bibliografía especializada.

#### 6.2.1.4. Flexión simple o compuesta

En aquellos casos en que se utilicen fibras con función estructural, solas o en combinación con armadura tradicional, se deberá cumplir la siguiente limitación:

$$A_p f_{pd} \frac{d_p}{d_s} + A_s f_{yd} + \frac{z_f}{z} A_{ct} f_{ctR,d} \geq \frac{W_l}{z} f_{cm} + \frac{P}{z} \left( \frac{W_l}{A} + e \right)$$

donde:

$z_f A_{ct} f_{ctR,d}$	Contribución de las fibras
$z_f$	Brazo mecánico de la tracción del hormigón
$A_{ct}$	Área traccionada de hormigón
$f_{ctR,d}$	Resistencia residual a tracción de cálculo en el diagrama rectangular.

En el caso de secciones rectangulares con o sin armadura pasiva puede emplearse la siguiente relación simplificada, en la que no se precisa determinar el área traccionada de hormigón.

$$A_s f_{yd} + 0,4 A_c f_{ctR,d} \geq 0,04 A_c f_{cd}$$

Esta limitación se justifica como garantía para evitar la rotura frágil del hormigón. La acción de las armaduras tradicionales y de las fibras es complementaria en este aspecto, y por tanto, la limitación constituye una exigencia de contenido mínimo en fibras para elementos sin armaduras tradicionales, y

la posibilidad de reducir, e incluso eliminar, la exigencia de armaduras tradicionales mínimas en elementos con contenido suficiente de fibras estructurales.

Esta limitación no rige para losas apoyadas sobre el terreno. Asimismo, en elementos que trabajen predominantemente comprimidos y con flexiones reducidas en régimen de servicio tampoco rige esta limitación, debiéndose considerar esta solo si en alguna fase transitoria se producen estados de flexión que puedan conducir a la fisuración del elemento estructural.

Alternativamente a la expresión simplificada propuesta, de forma equivalente y para cualquier geometría de sección, se puede estimar la necesidad mínima de refuerzo, imponiendo que el Momento último ( $M_u$ ), considerando la contribución de las fibras y de la armadura en forma de barras, si la hubiere, debe ser igual o superior al Momento de fisuración de la sección ( $M_{fis}$ ).

$$M_u \geq M_{fis}$$

Para secciones rectangulares armadas solo con HRF, esta condición se traducirá en:

$$b \cdot h^2/6 \cdot f_{R3d} \geq b \cdot h^2/6 \cdot f_{ctm,fl} \text{ y, por tanto, } f_{R3d} \geq f_{ctm,fl}.$$

#### 6.2.1.5. Tracción simple o compuesta

En el caso de secciones de hormigón sometidas a tracción simple o compuesta, provistas de dos armaduras principales y fibras, deberá cumplirse la siguiente limitación:

$$A_p f_{pd} + A_s f_{yd} + A_c f_{ctR,d} \geq 0,20 A_c f_{cd}$$

#### 6.2.1.6. Cuantías geométricas mínimas

Los valores relativos a las cuantías geométricas mínimas (establecidas en el Anejo 19) que deben disponerse en los diferentes tipos de elementos estructurales, en función del acero utilizado, se podrán reducir, en el caso de hormigones con fibras, en una cuantía mecánica equivalente:

$$A_c f_{ctRm}$$

donde  $A_c$  y  $f_{ctRm}$  son el área de la sección transversal de hormigón y la resistencia residual a tracción media del hormigón, respectivamente.

Este refuerzo se debe disponer con el fin de controlar el ancho de las fisuras que se forman a cortas edades, debido a los fenómenos térmicos producidos por las reacciones de hidratación y retracción, y no por acciones de tipo directo o indirecto. En este sentido, si bien el control de este tipo de fisuración viene influenciado por una multitud de factores (curado, régimen térmico e higrométrico del entorno, acción solar, entre otros), es sabido que el uso de la cuantía y tipo adecuados de fibras conduce a un control eficiente de la fisuración originada por estos motivos. Esta limitación no rige si el fabricante y/o suministrador de las fibras puede garantizar, mediante pruebas a escala real u otros ensayos, que su producto es adecuado para el control de este tipo de fisuración, para el elemento estructural a ejecutar y en las condiciones reales de obra.

### 6.2.2. Estado Límite de Agotamiento frente a cortante

#### 6.2.2.1. Consideraciones generales

La contribución de las fibras se deberá tener en cuenta en la capacidad resistente de los tirantes.

#### 6.2.2.2. Piezas de hormigón reforzado con fibras sin y con armadura de cortante

Cuando existan barras longitudinales dobladas que sean tenidas en cuenta en el cálculo como armadura de cortante, al menos un tercio de la resistencia a cortante deberá ser provista por la contribución de las fibras de acero o en su caso por la contribución conjunta de las fibras de acero y estribos verticales. En todo caso, la cuantía mínima de la armadura a cortante está establecida y se dispondrá tal como lo marca el Anejo 19.

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su} + V_{fu}$$

donde:

$V_{cu}$  Contribución del hormigón a la resistencia a esfuerzo cortante

$V_{su}$  Contribución de la armadura transversal de alma a la resistencia a esfuerzo cortante

$V_{fu}$  Contribución de las fibras de acero a la resistencia a esfuerzo cortante.

$$V_{fu} = 0,7 \xi \tau_{fd} b_0 d$$

donde:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \text{ con } d \text{ en (mm) y } \xi \leq 2$$

$\tau_{fd}$  Valor de cálculo del incremento de la resistencia a cortante debido a las fibras, tomando el valor:

$$\tau_{fd} = 0,5 f_{ctR,d} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

En el caso de secciones en T, se podría tener en cuenta la contribución de las alas a través de un coeficiente  $k_f$  multiplicador en la expresión de  $V_{fu}$ . Este coeficiente puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$k_f = 1 + n \cdot \left[ \frac{b_f}{b_0} \right] \cdot \left[ \frac{h_f}{d} \right] \text{ con } k_f \leq 1,5$$

donde:

$h_f$  Altura de las alas en mm

$b_f$  Ancho de las alas en mm

$b_0$  Ancho del alma en mm

$$n = \frac{b_f - b_w}{h_f} \leq 3 \text{ y } n \leq \frac{3 \cdot b_w}{h_f}$$

### 6.2.2.3. Armaduras transversales

La cuantía mínima de refuerzo a cortante, ya sea en forma de hormigón reforzado por fibras de acero y/o estribos verticales, debe cumplir la relación:

$$V_{su} + V_{fu} \geq \frac{f_{ct,m}}{7,5} b_0 d$$

### 6.2.2.4. Armaduras longitudinales

En el caso de estructuras de hormigón reforzado con fibras con función estructural, en lugar de  $V_{su}$ , deberá considerarse ( $V_{su} + V_{fu}$ ) en las expresiones del articulado.

### 6.2.2.5. Rasante entre alas y alma de una viga

Experimentalmente se ha comprobado, que las fibras con función estructural pueden contribuir de forma significativa a resistir el esfuerzo rasante ala-alma. Para considerar esta contribución, deberá basarse en campañas experimentales concluyentes o en publicaciones científicas avaladas.

### 6.2.3. Estado Límite de Agotamiento frente a punzonamiento

#### 6.2.3.1. Losas de hormigón reforzado con fibras

Las fibras pueden mejorar la resistencia a punzonamiento. Una primera aproximación es considerar su contribución a partir de una tensión resistente en la superficie crítica equivalente a:

$$\tau_{fd} = 0,5 f_{ctR,d} \quad (\text{N/mm}^2)$$

No obstante, este valor puede ser significativamente mayor, debiéndose demostrar experimentalmente si se pretende utilizar.

### 6.2.4. Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones

#### 6.2.4.1. Disposiciones relativas a las armaduras

Solo se considerará que las fibras contribuyen a la resistencia al deslizamiento cuando se trate de juntas encastilladas transversalmente donde las dimensiones de las llaves sean comparables a la de la propia fibra.

## 7 Ejecución

### 7.1. Ejecución

#### 7.1.1. Procesos de elaboración, armado y montaje de armaduras

##### 7.1.1.1. Anclaje de las armaduras pasivas. Generalidades

Las fibras mejoran las características de anclaje, en el caso de empleo conjunto con armaduras pasivas y activas, lo cual puede ser utilizado en los cálculos de este anejo siempre que vengan avalados por ensayos experimentales que así lo justifiquen.

#### 7.1.2. Elaboración y puesta en obra del hormigón

##### 7.1.2.1. Fabricación del hormigón

###### 7.1.2.1.1. Dosificación de materiales componentes

###### 7.1.2.1.2. Agua

El aumento de la consistencia debido al uso de las fibras debe ser compensado siempre con la adición de aditivos reductores de agua, sin modificar la dosificación prevista de agua.

###### 7.1.2.1.3. Fibras

La efectividad de los distintos tipos de fibras puede variar mucho, por ello, se recomienda designar el hormigón por propiedades y definir el tipo y dosificación de fibras en los ensayos previos.

La selección del tipo y dosificación de las fibras dependerá de su efectividad y de su influencia en la consistencia del hormigón. La longitud máxima cumplirá las condiciones estipuladas en este anejo. El aumento de la esbeltez de las fibras y el empleo de altas dosificaciones, conlleva un aumento de su eficiencia mecánica, pero puede provocar un descenso de la consistencia y un mayor riesgo de formación de bolas de fibras que se segregan del hormigón (erizos).

La dosificación de las fibras se hará en peso, empleando básculas y escalas distintas de las utilizadas para los áridos. En el caso de empleo de dosificadores automáticos, los mismos deberán estar tarados con la frecuencia que determine el fabricante. La tolerancia en peso de fibras será del  $\pm 3$  por 100.

#### 7.1.2.2. Equipos de amasado

La comprobación de la homogeneidad de la mezcla producida por una amasadora fija o móvil, deberá incluir la verificación de que la diferencia máxima tolerada entre los resultados de contenido en fibras obtenido según norma UNE-EN 14721 y UNE-EN 14488-7 de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (a 1/4 y 3/4 de la descarga) sea inferior al 10%.

#### 7.1.2.3. Amasado del hormigón

El amasado es una fase crítica de los hormigones con fibras, por el riesgo de enredo de las fibras formando erizos. Este riesgo se reduce con una buena dosificación con suficiente contenido de árido fino, pero aumenta con un transporte excesivamente largo y especialmente cuando el contenido en fibras es elevado y estas son muy esbeltas. El orden de llenado también puede ser decisivo. Como norma general, las fibras se incorporarán junto con los áridos. Preferentemente, el árido grueso al inicio del amasado, desaconsejándose la introducción de las fibras como primer componente de la mezcla.

Cuando se prevea un transporte largo, puede plantearse la adición de las fibras en obra. Para ello, se debe prever un hormigón suficientemente fluido para facilitar el camino de las fibras hasta el fondo de la cuba, y disponer de un sistema de dosificación en obra que garantice la precisión indicada en el apartado 51.2.3 de este Código. El vertido de las fibras se debe realizar lentamente (entre 20 y 60 kg por minuto en el caso de fibras de acero) con la cuba girando a su máxima velocidad, hasta garantizar la distribución homogénea de las fibras en la masa del hormigón.

#### 7.1.2.4. Suministro del hormigón

En la hoja de suministro deberán figurar los siguientes datos:

- Especificación del hormigón: designación de acuerdo con el apartado 33.6. de este Código.
- Material, tipo, dimensiones (longitud, características de la sección y diámetro equivalente, esbeltez), características de las formas (conformadas en extremos, onduladas, etc.) de las fibras.
- Contenido de fibras en kilos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) de hormigón, con una tolerancia de  $\pm 3\%$ .

La relación de las características de las fibras podrá ser sustituida por una referencia a la designación comercial completa de las mismas, y soportada por una ficha técnica previamente aceptada por la dirección facultativa y disponible en el libro de obra.

#### 7.1.2.5. Puesta en obra del hormigón

##### 7.1.2.5.1. Vertido y colocación del hormigón

El vertido y colocación debe realizarse de modo que no precise transporte adicional del hormigón en obra. Deben evitarse interrupciones del hormigonado, ya que estas podrían ocasionar discontinuidades en la distribución de las fibras.

Cuando la colocación en obra se realiza mediante tolva, el diámetro de la boca de descarga debe ser superior a 30 cm para facilitar el vertido.

##### 7.1.2.5.2. Compactación del hormigón

Debido a que el uso de fibras reduce la docilidad del hormigón, se necesitará una mayor energía de compactación. Sin embargo, la respuesta a la vibración del hormigón de fibras es mejor que la de un hormigón tradicional, por lo que para un mismo asiento en el cono de Abrams se requiere menor tiempo de vibrado.

La compactación origina una orientación preferencial de las fibras. En general, estas tienden a colocarse paralelas a la superficie encofrada, especialmente si se aplican vibradores de superficie. Este efecto es solo local pero puede ser importante en elementos de poco espesor.

El uso de vibradores internos puede generar zonas con exceso de pasta y pocas fibras en la zona donde se ha dispuesto el vibrador, así como cierta orientación en el sentido tangencial al diámetro externo del vibrador.

## 8 Control

### 8.1. Control de la conformidad de los productos

#### 8.1.1. Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los materiales componentes del hormigón

##### 8.1.1.1. Otros componentes del hormigón

###### 8.1.1.1.1. Especificaciones

Son las establecidas en los Artículos 31 y 32 del Código Estructural más las que puedan contenerse en el pliego de prescripciones técnicas particulares.

###### 8.1.1.1.2. Ensayos

Antes de comenzar la obra, se comprobará el efecto de las fibras mediante los ensayos previos del hormigón citados en el Anejo 13 del Código Estructural. Como consecuencia de lo anterior, se seleccionarán las marcas, tipos y dosificación de fibras admisibles en la obra. La continuidad de la composición y de las características será garantizada por el fabricante correspondiente.

Durante la ejecución de la obra se vigilará que las fibras utilizadas sean precisamente las aceptadas según el párrafo anterior.

La dirección facultativa, cuando lo considere necesario en la ejecución de la obra, podrá requerir la comprobación de las condiciones exigidas a las fibras.

###### 8.1.1.1.3. Criterios de aceptación o rechazo

El incumplimiento de alguna de las especificaciones, será condición suficiente para calificar las fibras como no aptas para los hormigones.

Cualquier posible modificación de la marca, el tipo o la dosificación de las fibras que se vayan a utilizar, respecto a lo aceptado en los ensayos previos al comienzo de la obra, implicará su no utilización, hasta que tras la realización con dichas modificaciones de los ensayos previstos en el Anejo 13 del Código Estructural, la dirección facultativa autorice su aceptación y empleo en la obra.

### 8.1.2. Control del hormigón

El control de la calidad del hormigón de fibras incluirá, además del control especificado en el articulado, el del tipo y contenido de fibras, y en caso de fibras con función estructural, el de su resistencia residual, según el método que establezca el pliego.

#### 8.1.2.1. Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón

Cuando las fibras tengan función estructural, los ensayos incluirán, además de los especificados en el articulado, el ensayo de tres probetas por cada amasada utilizada para control, de acuerdo con la norma UNE-EN 14651, para determinar los valores de la resistencia residual a flexotracción  $f_{R,1,m}$  y  $f_{R,3,m}$  a los 28 días de edad. Alternativamente, el autor del proyecto o la dirección facultativa pueden indicar el

empleo de la norma UNE 83515. En cada amasada se determinará también el contenido en fibras según la norma UNE-EN 14721 o UNE-EN 14488-7.

Cuando, de acuerdo con lo especificado en el apartado 33.3 del Código Estructural, se seleccionen otros tipos de ensayos alternativos para el control de la resistencia residual a flexotracción del hormigón, estos deberán venir contrastados por una campaña experimental concluyente. La dirección facultativa fijará previamente los valores de referencia a obtener durante los ensayos y los criterios de aceptación y rechazo.

De acuerdo con lo indicado en la parte de materiales de este anejo, la dirección facultativa podrá valorar, bajo su responsabilidad, el empleo de otros procedimientos que faciliten el control. Puede ser el caso del ensayo MDPT o multidireccional de doble punzonamiento, realizado sobre probeta cúbica de 15x15x15 cm para el control de la resistencia residual o el método de inducción magnética para el control del contenido de fibras metálicas (y orientación). Finalmente, se podrán realizar conteos para conocer el contenido y orientación de las fibras.

### 8.1.2.2. Realización de los ensayos

En caso de hormigones de fibras de consistencia inferior a 9 cm de asiento en el cono de Abrams, se recomienda utilizar como método de control de la consistencia otros métodos, como el consistómetro Vebe de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-3 o el cono invertido de acuerdo con UNE 83503.

#### 8.1.2.2.1. Ensayos de resistencia del hormigón

Antes del comienzo del hormigonado es necesaria la realización de ensayos previos o ensayos característicos, los cuales se describen en el Anejo 13 del Código Estructural.

Cuando exista experiencia, bien documentada y suficiente, tanto en materiales, incluido el tipo y marca comercial de las fibras previstas, como en dosificación y medios (por ejemplo las centrales de hormigón preparado), podrán realizarse únicamente los ensayos de control.

#### 8.1.2.2.2. Control de la resistencia del hormigón al 100 por 100

Los criterios de definición de lotes coincidirán con lo especificado en el articulado.

El control de la resistencia residual según la norma UNE-EN 14651 o según UNE 83515, se realizará sobre 2 amasadas por lote. De estas amasadas, se hará el control del contenido en fibras según las normas UNE-EN 14721 o UNE-EN 14488-7.

Cuando el resultado del control de contenido en fibras en una amasada del lote, fuera inferior en un 10 % al valor estipulado, se ampliará el control de resistencia residual a flexotracción a todas las amasadas sobre las que se tomen muestras para determinar la resistencia a compresión.

El análisis de resultados y los estimadores a emplear para obtener los valores característicos correspondientes, a partir de los resultados de los ensayos, serán los mismos que los expuestos en el articulado para la resistencia a compresión.

#### 8.1.2.2.3. Control indirecto de la resistencia del hormigón

No se permite la aplicación de este tipo de control para los hormigones de fibras con función estructural.

#### 8.1.2.3. Decisiones derivadas del control

Cuando en un lote de obra sometida a control de resistencia, sea  $f_{R,j,est} \geq f_{R,j,k}$ , tal lote se aceptará.

Si resultase  $f_{R,j,est} < f_{R,j,k}$ , a falta de una explícita previsión del caso en el pliego de prescripciones técnicas particulares de la obra y sin perjuicio de las sanciones contractuales previstas por el Código, se procederá como sigue:

- Si  $f_{R,j,est} \geq 0,9 f_{R,j,k}$ , el lote se aceptará.

- Si  $f_{R,j,est} < 0,9 f_{R,j,k}$ , se procederá a realizar, por decisión de la dirección facultativa o a petición de cualquiera de las partes, los estudios o ensayos complementarios pertinentes.

Si se detectara alguna variación en el aspecto, dimensiones o forma de las fibras se deberán volver a realizar los ensayos previos.

#### 8.1.2.4. Ensayos de información complementaria del hormigón

La extracción de testigos, realizada de conformidad con lo indicado en los Capítulos 12, 13 y 14 del Código Estructural conduce a probetas cilíndricas sobre las que no pueden aplicarse los ensayos de referencia para la determinación de las características mecánicas a flexotracción del hormigón de fibras. Dado que esta verificación no podrá realizarse, pueden ser sustituidos por otros ensayos que permitan estimar la tenacidad del hormigón como, por ejemplo, el ensayo Barcelona o alternativamente el ensayo MDPT, ambos bajo la configuración de doble punzonamiento.

### 8.2. Control de la ejecución

#### 8.2.1. Criterios generales para el control de la ejecución

En el apartado 63.2 de este Código se incluirán las siguientes unidades de inspección, específicas de los hormigones de fibras:

- Tipos de fibras empleados tras el control de contenido en fibras.
- Condiciones de almacenamiento de las fibras.
- Método de añadir las fibras a la mezcla.

Los tamaños máximos de estas unidades de inspección anteriores se establecerán en el correspondiente proyecto, en función de las características de la obra.

#### 8.2.2. Ensayos previos y característicos del hormigón

##### 8.2.2.1. Ensayos previos

En el caso de hormigones con fibras, los ensayos previos toman especial importancia para la definición de las fibras a emplear y de su dosificación.

Cuando las fibras tengan función estructural, los ensayos previos incluirán la fabricación de al menos cuatro series de probetas procedentes de amasadas distintas, de seis probetas cada una, para ensayo a los 28 días de edad, por cada dosificación que se desee establecer, y se operará de acuerdo con la norma UNE-EN 14651 para determinar los valores medios de la resistencia residual a flexotracción:

$$f_{R,1,m} \text{ y } f_{R,3,m}$$

Para definir los valores de resistencia a obtener en los ensayos previos, cuando no se conozca el valor del coeficiente de variación de este ensayo, a título meramente informativo, puede suponerse que:

$$f_{R,j,k} = 0,7 f_{R,j,m}$$

mientras que en los casos de elementos solicitados a flexión, en los que se conozca el coeficiente de variación, el valor característico de tensión residual puede calcularse a través de:

$$f_{R,j,k} = \left( 1 - \frac{0,85 \alpha CV_{R,j}}{h^{0,32} l_{fs}^{0,48}} \right) f_{R,j,m} \leq 0,85 f_{R,j,m}$$

donde:

$h$  es la altura del elemento en mm, la cual debe asumirse siempre menor o igual a 300 mm

- $l_{fis}$  es la menor de las dimensiones diferentes de la altura o la mínima longitud de las líneas de rotura formadas, ambas en mm, asumiéndose siempre valores menores o iguales a 2000 mm
- $CV_{R,j}$  es el coeficiente de variación del ensayo de flexotracción de la norma UNE-EN 14651 en tanto por uno, el cual debe asumirse siempre mayor o igual a  $0,115 \cdot \alpha'$
- $\alpha'$  es el coeficiente estadístico relacionado con el grado de incertidumbre en la estimación de  $CV_{R,j}$  en función del número de probetas ensayadas, tal y como muestra la tabla A7.1
- $\alpha$  es el parámetro relacionado la confianza a respecto del valor de  $CV_{R,j}$ , el cual puede asumirse igual a 1 cuando se conozca la dispersión típica del material en el ensayo de la norma UNE-EN 14651 o igual  $\alpha'$  si se desconoce dicha dispersión, pero se dispone de resultados experimentales.
- Para elementos tipo viga,  $l_{fis}$  coincide con el ancho (b) mientras que para elementos planos  $l_{fis}$ , será la longitud mínima de las fisuras principales de flexión, y que pueden determinarse mediante criterios de cálculo plástico.
  - En el caso que no se conozca el valor de CV, puede asumirse  $CV = 25\%$ .

Tabla A7.1 Valores de referencia para  $\alpha'$ 

N° de probetas ensayadas	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$\alpha'$	2,05	1,60	1,42	1,33	1,22	1,17	1,07	1,05	1,00

### 8.2.2.2. Ensayos característicos de resistencia

Cuando las fibras tengan función estructural, los ensayos incluirán, además de los especificados en el articulado, el ensayo de tres probetas por amasada de acuerdo con la norma UNE-EN 14651 para determinar los valores de la resistencia residual a flexotracción  $f_{R,1,m}$  y  $f_{R,3,m}$  a los 28 días de edad. En cada amasada de este tipo, se determinará también el contenido en fibras según la norma UNE-EN 14721 o UNE-EN 14488-7.

El análisis de resultados y los estimadores a emplear para obtener los valores característicos correspondientes a partir de los resultados de los ensayos, serán los mismos expuestos en el articulado para la resistencia a compresión.

## ANEJO 8

## Recomendaciones para la utilización de hormigón con áridos ligeros

## Contenidos del capítulo

- 1 **INTRODUCCIÓN.**
- 2 **ALCANCE.**
- 3 **BASES DE PROYECTO.**
- 4 **ANÁLISIS ESTRUCTURAL.**
  - 4.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.
- 5 **PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES.**
  - 5.1 **MATERIALES.**
    - 5.1.1 **Áridos.**
      - 5.1.1.1 Generalidades.
      - 5.1.1.2 Designación de los áridos.
      - 5.1.1.3 Tamaños máximo y mínimo de un árido.
      - 5.1.1.4 Granulometría de los áridos.
      - 5.1.1.5 Forma del árido grueso.
      - 5.1.1.6 Requisitos físico-mecánicos.
    - 5.1.2 **Hormigones.**
      - 5.1.2.1 Composición.
      - 5.1.2.2 Valor mínimo de la resistencia.
      - 5.1.2.3 Docilidad del hormigón.
- 6 **DURABILIDAD.**
  - 6.1 **DURABILIDAD.**
    - 6.1.1 **Durabilidad del hormigón y de las armaduras.**
      - 6.1.1.1 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón.
      - 6.1.1.2 Recubrimientos.
      - 6.1.1.3 Durabilidad del hormigón.
      - 6.1.1.4 Requisitos de dosificación y comportamiento del hormigón.
      - 6.1.1.5 Limitaciones a los contenidos de agua y cemento.
      - 6.1.1.6 Resistencia del hormigón frente a la erosión.
- 7 **CÁLCULO.**
  - 7.1 **DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO.**
    - 7.1.1 **Características del hormigón.**
- 8 **EJECUCIÓN.**
  - 8.1 **PROCESOS DE ELABORACIÓN, ARMADO Y MONTAJE DE LAS ARMADURAS PASIVAS.**
    - 8.1.1 **Criterios generales para los procesos de ferralla.**
      - 8.1.1.1 Doblado.
    - 8.1.2 **Armado de la ferralla.**
      - 8.1.2.1 Distancia entre barras de armaduras pasivas.
    - 8.1.3 **Criterios específicos para el anclaje y empalme de las armaduras.**
      - 8.1.3.1 Anclaje de las armaduras pasivas.
  - 8.2 **FABRICACIÓN Y SUMINISTRO DEL HORMIGÓN.**
    - 8.2.1 **Fabricación del hormigón.**
      - 8.2.1.1 Dosificación de materiales componentes.
      - 8.2.1.2 Amasado del hormigón.
    - 8.2.2 **Transporte y suministro del hormigón.**
      - 8.2.2.1 Transporte del hormigón.
    - 8.2.3 **Puesta en obra del hormigón.**
      - 8.2.3.1 Compactación del hormigón.

## 1. Introducción

Las prescripciones y requisitos incluidos en el articulado de este Código se refieren al empleo de áridos de densidad normal, por lo que es necesario establecer recomendaciones diferentes o complementarias cuando se emplean áridos ligeros para producir hormigones estructurales.

Se puede obtener una amplia gama de densidades y propiedades mecánicas teniendo en cuenta que, la sustitución de árido de densidad normal por árido ligero, puede hacerse en forma parcial, reemplazando solamente la fracción gruesa del árido, o total, reemplazando también la arena por árido fino ligero.

Para distinguir el hormigón ligero del convencional, a los parámetros tenso-deformacionales del hormigón se les añade un subíndice "l".

## 2. Alcance

Se define, a los efectos de este anejo, como hormigón con áridos ligeros (HL) aquel hormigón de estructura cerrada, cuya densidad aparente, medida en condición de seco hasta peso constante, es inferior a  $2.000 \text{ kg/m}^3$ , pero superior a  $1.200 \text{ kg/m}^3$  y que contiene una cierta proporción de árido ligero, tanto natural como artificial. Se excluye a los hormigones celulares, tanto de curado estándar como curados en autoclave.

Es importante resaltar que la densidad aparente (o peso unitario) en el estado fresco es superior al del hormigón de árido normal y depende del grado de saturación del árido ligero y del contenido de agua de amasado.

## 3. Bases de proyecto

Son aplicables las bases establecidas en el articulado del Código Estructural.

## 4. Análisis estructural

### 4.1 Análisis estructural

Son aplicables los principios y métodos de cálculo establecidos en el articulado del Código Estructural.

El coeficiente de dilatación térmica del hormigón con árido ligero depende de las características del árido empleado en su fabricación, con un amplio rango que varía entre  $4 \cdot 10^{-6}$  y  $14 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . En caso de ausencia de datos y para el análisis estructural, se podrá tomar un valor promedio de  $8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . A este respecto, no es necesario tener en cuenta las diferencias existentes entre el acero de la armadura y el hormigón con árido ligero.

## 5. Propiedades tecnológicas de los materiales

### 5.1 Materiales

#### 5.1.1 Áridos

##### 5.1.1.1 Generalidades

Los áridos ligeros deben tener marcado CE (conforme a la norma UNE-EN 13055-1).

Existen muchos tipos diferentes de áridos ligeros, tanto naturales como artificiales, aptos para producir hormigones con áridos ligeros.

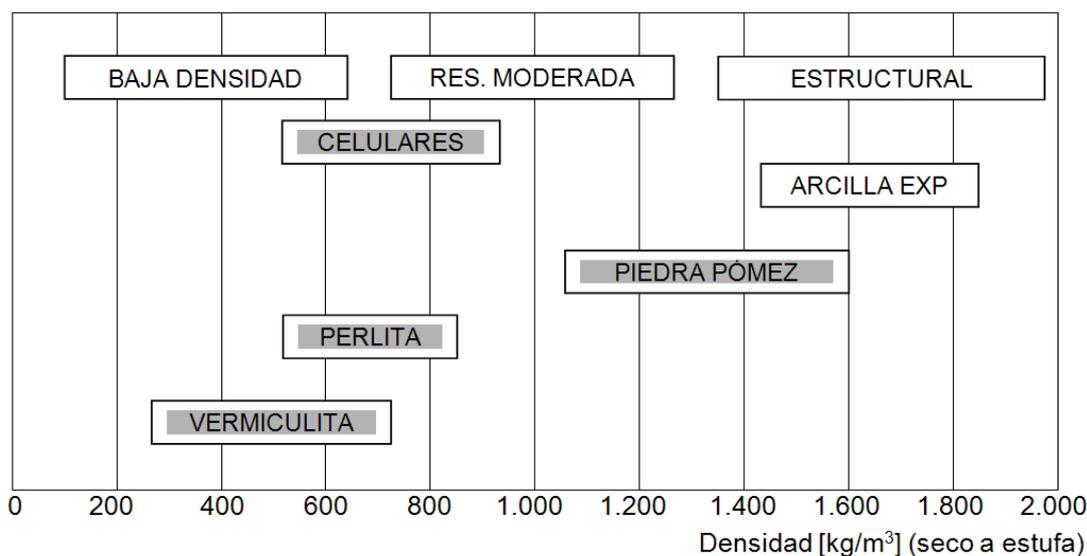


Figura A8.5.1.1 Rangos de densidad y clasificación de hormigones con áridos ligeros

Los hormigones con áridos ligeros contienen áridos ligeros que se sitúan en la zona alta de la escala, y están constituidos por arcillas, pizarras o esquistos expandidos, piedra pómez o áridos sintéticos, obtenidos a partir de materias primas como las cenizas volantes.

##### 5.1.1.2 Designación de los áridos

En la designación de áridos ligeros por tamaño, se tendrá en cuenta que la distribución de tamaños del árido se expresará como porcentaje en masa que pasa un número especificado de tamices, conforme se indica en la norma UNE-EN 13055-1.

##### 5.1.1.3 Tamaños máximo y mínimo de un árido

A efectos del presente Código se denomina tamaño máximo  $D$  de un árido ligero a la mínima abertura de tamiz según la norma UNE-EN 933-2 por el que pase más del 90% en masa (% desclasificados superiores a  $D$  que el 10 %), cuando además pase el total por el tamiz de apertura doble (% desclasificados superiores a  $2D$  igual al 0 %). Se denomina tamaño mínimo  $d$  de un árido ligero, la máxima abertura de tamiz UNE-EN 933-2 por el que pase menos del 15 % en masa (% desclasificados inferiores a  $d$  menor que el 15 %).

##### 5.1.1.3.1 Prescripciones y ensayos

Los áridos ligeros no presentan antecedentes de reacción álcali-árido, por lo que no será necesario proceder a su evaluación con respecto a este tipo de ataque.

#### 5.1.1.4 Granulometría de los áridos

En lo que respecta al análisis granulométrico, el procedimiento usual de tamizado y determinación del peso de la fracción retenida no es suficiente, porque las distintas fracciones de tamaño tienen distinta densidad. Si se trabaja con árido de peso normal y cuya densidad no depende de su tamaño, es posible hacer conversiones de peso a volumen en forma directa.

El mismo procedimiento, aplicado a áridos ligeros, aporta información errónea, justamente porque las distintas fracciones o tamaños poseen diferente densidad. Esto puede tenerse en cuenta si se determina la densidad de cada fracción y se calcula el correspondiente volumen. Hecha esta salvedad, es posible considerar los mismos límites granulométricos establecidos para áridos finos de densidad normal.

#### 5.1.1.5 Forma del árido grueso

Dado que en hormigones con áridos ligeros se emplean áridos artificiales o sintéticos que presentan formas que se aproximan a una esfera o elipsoide, se debe reducir la importancia de los límites impuestos al coeficiente de forma y/o índice de lajas.

#### 5.1.1.6 Requisitos físico-mecánicos

Los áridos ligeros son menos resistentes que los áridos de densidad normal, tanto a la compresión como frente a efectos de desgaste por abrasión y machaqueo. Ante esta situación, no se debe evaluar la resistencia al desgaste del árido grueso ligero por el método de Los Ángeles, según la norma UNE-EN 1097-2, así como tampoco la limitación a la friabilidad del árido fino ligero, evaluada según el ensayo micro-Deval indicado en la norma UNE 146404 EX, debiéndose emplear, cuando sea necesario, el método de ensayo descrito en el Anexo A de la norma UNE-EN 13055.

La capacidad de absorción de los áridos ligeros es normalmente alta, ya que su menor peso se logra a partir de una estructura porosa. No debe aplicarse pues, la limitación a los valores de absorción de agua aun cuando idealmente se elaboran de modo de presentar una superficie lo más cerrada posible, sobre todo si se expresa la absorción en % con respecto al peso del árido, ya que son menos densos, debiéndose emplear, cuando sea necesario, el método de ensayo descrito en el Anexo C de la norma UNE-EN 1097-6.

Dado que se prevé naturalmente una elevada absorción, para evitar que este fenómeno altere sensiblemente las propiedades del hormigón fresco (pérdidas de asentamiento, por ejemplo), deben adoptarse distintos métodos o tratamientos previos del árido durante el proceso de elaboración del hormigón.

En lo que respecta a la resistencia de los hormigones con áridos ligeros frente a la helada, la presencia de aire incorporado en el hormigón contribuye a reducir el deterioro, en forma semejante a lo que ocurre para hormigones de densidad normal. El grado de saturación del hormigón (y del árido) es un factor determinante, así como el nivel adecuado de resistencia. La evaluación de la aptitud del árido frente a ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato de magnesio, según el método de la norma UNE-EN 1367-2 no puede aplicarse, ya que la baja resistencia intrínseca del árido ligero y su elevada absorción indican una probabilidad remota de cumplimiento, debiéndose emplear, cuando sea necesario, el método de ensayo descrito en el Anexo C de la norma UNE-EN 13055. En general, se debe evaluar la aptitud del hormigón frente a ciclos de hielo y deshielo. Una elevada resistencia, la inclusión de aire incorporado y un bajo grado de saturación del árido (y del hormigón) contribuyen a mejorar significativamente el comportamiento.

### 5.1.2 Hormigones

#### 5.1.2.1 Composición

En los hormigones con áridos ligeros, las proporciones de mezcla, el grado de saturación previa del árido ligero e incluso el tipo y variedad de árido ligero, tienen influencia directa sobre las propiedades

del hormigón con áridos ligeros, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Por este motivo, la composición del hormigón y el procedimiento de pre-acondicionamiento del árido ligero deberán estudiarse previamente, sin excepción, a los efectos de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas, reológicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto.

#### 5.1.2.2 Valor mínimo de la resistencia

La resistencia de proyecto  $f_{ck}$  (véase el apartado 33.4 de este Código) no será inferior a 12 N/mm<sup>2</sup> en hormigón en masa, ni a 25 N/mm<sup>2</sup> en hormigones armados o pretensados.

#### 5.1.2.3 Docilidad del hormigón

Los conceptos establecidos en el apartado 33.5 de este Código pueden aplicarse sin necesidad de alteraciones. Sin embargo, las características propias del método de ensayo recogido en la norma UNE-EN 12350-2 hacen que el asentamiento infravalore la aptitud del hormigón con áridos ligeros para ser compactado.

El asentamiento en el tronco de cono se debe a la deformación del hormigón bajo su propio peso. La densidad del hormigón con áridos ligeros es inferior a la del hormigón convencional, razón por la cual ofrece mayor docilidad para asentamientos equivalentes.

Por este mismo motivo, no se considera prudente superar el límite superior para la consistencia fluida, aun con el empleo de aditivos superfluidificantes.

## 6. Durabilidad

### 6.1 Durabilidad

#### 6.1.1 Durabilidad del hormigón y de las armaduras

##### 6.1.1.1 Prescripciones respecto a la calidad del hormigón

Para niveles equivalentes de resistencia, los hormigones con áridos ligeros poseen una matriz de mortero usualmente más resistente que la correspondiente a un hormigón de peso normal. Por ello, es suficiente indicar que la durabilidad se asegura con el cumplimiento de clases resistentes, según se indica en el apartado 43.2.1 de este Código. Obviamente, los requisitos relativos al contenido mínimo de cemento y máxima relación agua/cemento también deben cumplirse.

##### 6.1.1.2 Recubrimientos

Los recubrimientos mínimos para el hormigón con áridos ligeros deben ser 5 mm superiores a lo que indica el Artículo 44 de este Código.

##### 6.1.1.3 Durabilidad del hormigón

Los hormigones con áridos ligeros no presentan, en general, un buen comportamiento frente a la erosión, dado que el árido ligero es usualmente blando. Con excepción de esta situación, su comportamiento es similar al de los hormigones convencionales de densidad normal.

##### 6.1.1.4 Requisitos de dosificación y comportamiento del hormigón

Para conseguir una durabilidad adecuada del hormigón, se deben cumplir los requisitos siguientes:

a) Requisitos generales:

- Mínimo contenido de cemento, según el apartado 43.2.1 de este Código.

- Clase resistente según el apartado 43.2.1 de este Código.

La determinación precisa de la relación agua/cemento no es directa, dado que los áridos ligeros se presaturan parcialmente de agua y son capaces de una absorción adicional. Por este motivo, se sustituye la limitación a la relación agua/cemento por la clase resistente.

b) Requisitos adicionales:

No es prudente exponer hormigones con áridos ligeros al desgaste por abrasión en forma permanente. Ante una acción eventual y mientras las partículas de árido ligero estén cubiertas por una capa de mortero, los hormigones con áridos ligeros son capaces de soportar erosión.

#### 6.1.1.5 Limitaciones a los contenidos de agua y cemento

En función de las clases de exposición a las que vaya a estar sometido el hormigón, definidas de acuerdo con el apartado 27.1 de este Código, se deberán cumplir las especificaciones recogidas en el apartado 43.2 de este Código, relativas a la clase resistente, descontando el agua de absorción de los áridos.

#### 6.1.1.6 Resistencia del hormigón frente a la erosión

No se recomienda el empleo de hormigones con áridos ligeros, para clase de exposición XM1, XM2, y XM3. Esto no inhabilita a los hormigones con áridos ligeros para soportar erosión eventual, pero el mecanismo de desgaste no está controlado por la resistencia del árido, como es el caso del hormigón de densidad normal.

## 7 Cálculo

### 7.1 Datos de los materiales para el proyecto

#### 7.1.1 Características del hormigón

Las características mecánicas del hormigón con áridos ligeros (deformación última, módulo de deformación longitudinal, resistencia a tracción), para una misma resistencia a compresión, dependen en gran medida de la densidad de éste, siendo mayores conforme aumenta la densidad en seco del hormigón con áridos ligeros.

Los datos y características para el proyecto del hormigón con áridos ligeros, así como los diagramas tensión-deformación aplicables para el análisis estructural y para el cálculo de secciones, serán los indicados en el apartado 11.3 del Anejo 19 de este Código.

## 8 Ejecución

### 8.1 Procesos de elaboración, armado y montaje de las armaduras pasivas

#### 8.1.1 Criterios generales para los procesos de ferralla

##### 8.1.1.1 Doblado

Al objeto de evitar compresiones excesivas y hendimientos del hormigón con áridos ligeros en la zona de curvatura de las barras, el doblado de las mismas para la formación de ganchos y patillas en U, se realizará con mandriles de diámetro no inferior a los indicados en la tabla 49.3.4 de este Código, pero multiplicados por 1,5.

El resto del contenido del apartado 49.3.4 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

### 8.1.2 Armado de la ferralla

#### 8.1.2.1 Distancia entre barras de armaduras pasivas

##### Barras aisladas

El diámetro máximo de barra a emplear en hormigón con áridos ligeros será  $\Phi = 32$  mm.

El resto del contenido del apartado 49.4.1 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

##### Grupos de barras

En hormigón con áridos ligeros, los grupos de barras estarán constituidos, como máximo, por dos barras.

### 8.1.3 Criterios específicos para el anclaje y empalme de las armaduras

#### 8.1.3.1 Anclaje de las armaduras pasivas

La longitud básica de anclaje de las barras corrugadas en hormigón con áridos ligeros es la indicada en el apartado 49.5.1 de este Código multiplicada por el factor  $1/\eta_1$ , siendo:

$$\eta_1 = 0,40 + 0,60 \frac{\rho}{2200}$$

y donde  $\rho$  es el valor de la densidad del hormigón con áridos ligeros secado en estufa ( $\leq 2.000$  kg/m<sup>3</sup>).

## 8.2 Fabricación y suministro del hormigón

### 8.2.1 Fabricación del hormigón

#### 8.2.1.1 Dosificación de materiales componentes

En el caso de hormigón con áridos ligeros, la realización de ensayos previos, con objeto de comprobar que satisface las condiciones que se le exigen, es el modo establecido para aceptar la dosificación prevista y sancionar el procedimiento de ejecución del hormigón.

La gran cantidad de absorción de agua, que, generalmente, presentan los áridos ligeros en estado seco, hace difícil predeterminar la relación “agua/cemento” real que corresponde a la dosificación prevista. Si el estado de aquellos es saturado, lo que no se consigue de modo inmediato, puede ocasionarse, desde la corteza accesible a los fenómenos de capilaridad, un proceso de transferencia de agua a la pasta del hormigón que también altera la relación “agua/cemento” prevista. En el primer caso disminuirá la trabajabilidad del hormigón con áridos ligeros, y en el segundo, su resistencia.

La complejidad del problema da lugar a diversos procedimientos para ejecutar el hormigón, que escapan a una regulación única. Por otra parte, el correcto resultado de la dosificación prevista es muy sensible a pequeños ajustes del procedimiento de ejecución. Por tanto, se establecen los ensayos previos como método de validación de la dosificación y del procedimiento de ejecución, como proceso único e indivisible.

El resto del contenido del apartado 51.3.2.1 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

#### 8.2.1.1.1. Áridos

En la ejecución de hormigón con áridos ligeros, la dosificación de los áridos puede realizarse en peso, en volumen, o de modo mixto, de modo que el árido ligero se dosifica en volumen y el resto en peso.

El resto del contenido del apartado 51.3.2.3 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

#### 8.2.1.2 Amasado del hormigón

Para el amasado del hormigón con áridos ligeros se utilizará, en general, más tiempo que para el hormigón convencional. Este incremento del tiempo de amasado se destinará a la humectación de los áridos, antes de añadir el cemento, y a homogeneizar la masa después de añadir el aditivo, posteriormente a la adición del agua total de amasado. Estos tiempos están destinados a evitar que la rápida absorción de agua y de aditivo por parte del árido ligero, reste trabajabilidad a la masa de hormigón y eficacia a la acción del propio aditivo.

La baja densidad del árido ligero puede ocasionar, al inicio del amasado y en función del grado de saturación de agua que presente al entrar en la amasadora, la flotación del mismo, lo que puede llegar a determinar el aprovechamiento eficaz de la amasadora.

El resto del contenido del apartado 51.3.3 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

### 8.2.2 Transporte y suministro del hormigón

#### 8.2.2.1 Transporte del hormigón

Si se realiza el transporte de hormigón con áridos ligeros por tubería (bombeo), se debe considerar la influencia de la presión de bombeo en el incremento de absorción de agua por parte de los áridos ligeros, así como del decremento correspondiente cuando aquella cesa. En el primer caso, se producirá una pérdida de trabajabilidad y en el segundo, un exceso en la relación agua/cemento. En el primer supuesto se dificultará la puesta en obra y, fundamentalmente, la propia operación de bombeo y, en el segundo, se producirá una pérdida de resistencia en el hormigón afectado, así como una pérdida de compacidad en su estructura interna. En consecuencia, deben preverse estas alteraciones en la dosificación.

Los correspondientes ensayos previos del hormigón con áridos ligeros, después de bombeado, constituyen el procedimiento de validación del mismo.

El transporte en camión hormigonera permite, mediante un amasado previo al vertido, corregir la tendencia a la disminución de la docilidad que se produce, en todos los casos, durante el mismo, así como la tendencia a la segregación del árido ligero durante el transporte de los hormigones de mayor docilidad.

El resto del contenido del apartado 51.4.1 de este Código es aplicable al hormigón con áridos ligeros.

### 8.2.3 Puesta en obra del hormigón

#### 8.2.3.1 Compactación del hormigón

La compactación del hormigón con áridos ligeros exige mayor energía de vibración que la demandada por un hormigón normal. En consecuencia, la compactación se realizará reduciendo la separación entre las posiciones consecutivas de los vibradores al 70% de la utilizada para un hormigón normal.

La tendencia a la flotación del árido ligero crece con vibraciones excesivas. El acabado superficial de la cara por la que se coloca el hormigón debe realizarse mediante un utillaje adecuado para presionar el árido ligero e introducirlo en la masa, de modo que quede recubierto por la lechada.

## ANEJO 9

## Recomendaciones para la utilización del hormigón proyectado estructural

**Contenidos del Anejo**

- 1 INTRODUCCIÓN.**
- 2 ÁMBITO DE APLICACIÓN ESPECÍFICO RELATIVO A LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.**
- 3 PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES.**
  - 3.1 CEMENTO.
  - 3.2 ÁRIDOS.
  - 3.3 ADITIVOS.
  - 3.4 ADICIONES.
  - 3.5 HORMIGONES.
    - 3.5.1 *Composición.*
    - 3.5.2 *Docilidad del hormigón.*
    - 3.5.3 *Tipificación de los hormigones.*
- 4 DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.**
  - 4.1 RECUBRIMIENTO NOMINAL.
  - 4.2 CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN.
- 5 DIMENSIONAMIENTO Y COMPROBACIÓN.**
  - 5.1 VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS ACCIONES PERMANENTES.
  - 5.2 MÓDULO DE DEFORMACIÓN.
  - 5.3 RESISTENCIA A TRACCIÓN DE CÁLCULO.
  - 5.4 DIAGRAMA TENSIÓN – DEFORMACIÓN DE CÁLCULO.
  - 5.5 DOMINIOS DE DEFORMACIÓN.
  - 5.6 ESTADOS LÍMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A CORTANTE.
    - 5.6.1 *Obtención de  $V_{u1p}$ .*
    - 5.6.2 *Obtención de  $V_{u2p}$ .*
  - 5.7 ESTADOS LÍMITE DE AGOTAMIENTO POR TORSIÓN EN ELEMENTOS LINEALES.
    - 5.7.1 *Obtención de  $T_{u1p}$ .*
  - 5.8 ESTADOS LÍMITE DE AGOTAMIENTO FRENTE A PUNZONAMIENTO.
  - 5.9 ANCLAJE Y EMPALME DE LAS ARMADURAS PASIVAS.
- 6 EJECUCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.**
  - 6.1 PUESTA EN OBRA Y CURADO DEL HORMIGÓN.
    - 6.1.1 *Prescripciones generales.*
  - 6.2 FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN.
    - 6.2.1 *Cemento.*
    - 6.2.2 *Aditivos.*
  - 6.3 TRANSPORTE Y SUMINISTRO DEL HORMIGÓN.
    - 6.3.1 *Transporte del hormigón.*
    - 6.3.2 *Suministro del hormigón.*
  - 6.4 VERTIDO Y COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN.
  - 6.5 PROYECCIÓN PARA TRABAJOS DE REPARACIÓN.
  - 6.6 PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN EN CONDICIONES CLIMÁTICAS ESPECIALES.
    - 6.6.1 *Hormigonado en tiempo frío.*
  - 6.7 CURADO DEL HORMIGÓN.
  - 6.8 PROCESOS POSTERIORES AL HORMIGONADO.
    - 6.8.1 *Desencofrado, desmoldeo y descimbrado.*
    - 6.8.2 *Acabado de superficies.*

## 7 GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS.

- 7.1 CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA EL CONTROL DE LOS PRODUCTOS.
  - 7.1.1 *Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los productos.*
  - 7.1.2 *Aditivos.*
- 7.2 CONTROL DEL HORMIGÓN.
  - 7.2.1 *Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón.*
  - 7.2.2 *Toma de muestras.*
  - 7.2.3 *Realización de los ensayos.*

## 1 Introducción

La proyección es una técnica de puesta en obra del hormigón que reúne, en una sola acción, las etapas de la colocación y la compactación, lo que se consigue por la proyección de los materiales a gran velocidad sobre un soporte mediante dos sistemas: vía húmeda y vía seca. Aunque los elementos bien ejecutados mediante ambos sistemas, pueden tener responsabilidad estructural, por cuestiones de calidad del ambiente de trabajo (especialmente en entornos cerrados) y de reducción de consumo de materiales, se recomienda el uso de la vía húmeda. Si bien el presente anejo se centra en esta última, las consideraciones de diseño aquí incluidas, también se aplican a elementos ejecutados por la vía seca, siempre y cuando se tomen medidas para asegurar la relación agua/cemento del hormigón y se compruebe el cumplimiento de las prestaciones de durabilidad requeridas.

Durante la ejecución por vía húmeda, el hormigón fresco se impulsa hasta la boquilla de proyección mediante un sistema de bombas. En la boquilla, que supone un estrangulamiento de la tubería, se añaden aire a presión y, si es necesario, aditivos antes de que el material se proyecte sobre el soporte. En este proceso, se producen dos fenómenos que tienen incidencia en las propiedades resistentes del hormigón colocado: el rebote y la introducción de aire en la mezcla.

En aras de establecer directrices de producción y control compatibles con las especificidades de la técnica, es necesario diferenciar entre los términos hormigón de partida y hormigón proyectado. El primero se refiere al hormigón suministrado en estado fresco para el proceso de bombeo y proyección, pero que todavía no ha sido sometido a dicho proceso. El segundo se refiere al hormigón colocado tras el proceso de bombeo y proyección, que debe resistir las sollicitaciones de la estructura y está influenciado tanto por el rebote como por una mayor porosidad.

Por las diferencias que pueden existir durante la ejecución, hay que distinguir entre el hormigón proyectado en la estructura final y el hormigón proyectado sobre la artesa normalizada, con el fin de realizar el control de calidad del material.

En este anejo se detallan los complementos a los diversos artículos de este Código, necesarios para poder considerar la aplicación estructural del hormigón proyectado.

## 2 Ámbito de aplicación específico relativo a las estructuras de hormigón

Las recomendaciones que se recogen en este anejo son aplicables a todas las estructuras y elementos de hormigón estructural que se indican en el Artículo 26 de este Código.

## 3 Propiedades tecnológicas de los materiales

Los principales constituyentes del hormigón proyectado son el cemento, los áridos, el agua, las adiciones y los aditivos. Para determinadas aplicaciones, el hormigón proyectado puede ser reforzado con fibras o armaduras de acero. Las especificaciones generales de los materiales son las indicadas en el Capítulo 8 de este Código.

### 3.1 Cemento

En el hormigón proyectado se pueden emplear cementos portland tipo I o tipo II/A. El uso de cementos tipo II/B o tipo III también está permitido, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones del Anejo 6 de este Código, y la viabilidad desde el punto de vista de su comportamiento y seguridad, se demuestre mediante ensayos a escala real. Es necesario que el cemento tenga buena compatibilidad con los aditivos empleados, para que se obtenga un fraguado rápido, promoviendo una rápida evolución de la resistencia inicial.

### 3.2 Áridos

La trabajabilidad, bombeabilidad y las propiedades en el estado endurecido del hormigón proyectado,

dependen de la composición mineralógica y de la granulometría de los áridos. El tamaño máximo de los áridos debe ser menor o igual a 12 mm. La distribución granulométrica estará dentro del huso indicado en la figura A9.3.2.

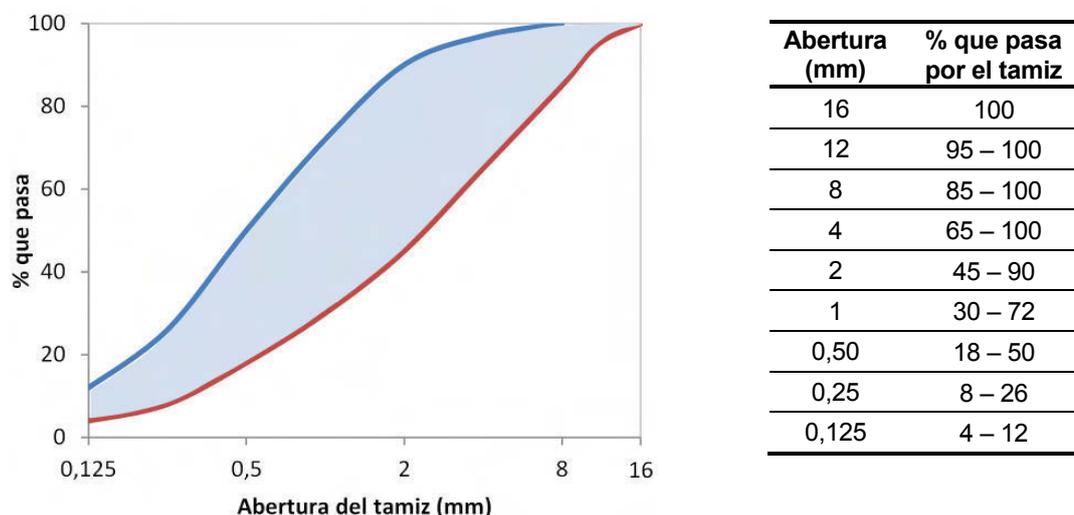


Figura A9.3.2 – Distribución granulométrica del árido

### 3.3 Aditivos

Los principales aditivos utilizados en hormigón proyectado son plastificantes/ superplastificantes, estabilizadores de fraguado y acelerantes de fraguado. La combinación de los aditivos en el mismo hormigón proyectado, está permitida siempre que sean compatibles entre sí, y dispondrán de marcado CE conforme a la norma UNE-EN 934-2.

De acuerdo con su composición química, los acelerantes de fraguado pueden ser de tres tipos: alcalinos, bien basados en aluminatos o bien en silicatos de sodio, o libres de álcalis, cuyo compuesto principal es el sulfato de aluminio. En la tabla A9.3.3, se presentan las características de los mismos.

Tabla A9.3.3 Aditivos acelerantes de fraguado

Propiedad	Alcalinos (aluminatos)	Alcalinos (silicatos)	Libres de álcali
Rango de dosificación (% sobre la masa de cemento)	3 – 7	12 – 15	4 – 8
pH	13 – 14	12 – 13	2,5 – 6
Contenido de Na <sub>2</sub> O equivalente (%)	19 – 20	8 – 10	< 1

Está permitido el uso de todos los tipos de aditivos acelerantes de fraguado indicados en la tabla A9.3.3. Por cuestiones de durabilidad, de capacidad resistente y de consumo de materiales, los elementos con resistencia característica igual o superior a 35 N/mm<sup>2</sup> que requieran el uso de acelerantes de fraguado, serán ejecutados con acelerantes de tipo libres de álcali. También están indicados por motivos de salud y seguridad, ya que, debido a su pH alrededor de 3, se reduce la formación de nieblas y aerosoles alcalinos en el ambiente de aplicación y, por tanto, el riesgo de daños a la piel, mucosas y ojos. Además, estos acelerantes no aumentan la cantidad de iones solubles en el hormigón, lo que reduce el riesgo de eflorescencias y de reacciones álcali-árido.

La dosificación óptima del acelerante y la compatibilidad del mismo con los demás aditivos o el cemento, debe determinarse mediante ensayos previos. A falta de otra referencia, se emplearán el procedimiento de ensayo y los criterios descritos en el apartado 7.2.3.7 de este anejo, además de las comprobaciones posteriores a escala real.

Los aditivos de autocurado pueden emplearse cuando el proceso de curado por otros métodos sea difícil de realizar. También se pueden emplear en el hormigón de partida, aditivos oclusores de aire con el fin de facilitar el proceso de bombeo. Esa práctica resulta especialmente interesante cuando se realiza la proyección de mezclas con consistencia baja y sin acelerantes.

### 3.4 Adiciones

En el hormigón proyectado se utilizan las adiciones, en sustitución de una parte del contenido de cemento, para mejorar algunas de sus propiedades, como trabajabilidad, retención de agua, aumento de densidad, resistencia y durabilidad. Siempre que sea viable, se dará preferencia a la incorporación de humo de sílice por los consecuentes beneficios obtenidos en cuanto a la facilidad de bombeo, a la durabilidad y a la resistencia a largo plazo.

### 3.5 Hormigones

De cara a especificar y tipificar el material, se tendrán en cuenta las diferencias entre el hormigón de partida y el hormigón proyectado. El primero será responsabilidad del suministrador del hormigón, mientras que el segundo será responsabilidad del constructor encargado de ejecutar la estructura. A efectos de control, cuando no haya especificación a ese respecto, se entenderá que el cambio de responsabilidades se produce inmediatamente antes de la entrada del hormigón de partida en la tolva del equipo de proyección.

La especificación y la tipificación del hormigón establecidas en proyecto se referirán al hormigón ya colocado, siendo de responsabilidad del constructor asegurar que las mismas se cumplan. El suministrador del hormigón de partida no será responsable del material colocado, siempre y cuando cumpla con las especificaciones definidas para el hormigón de partida en la etapa de validación previa o de acuerdo con el constructor.

Una vez puesta a punto la dosificación y comprobado el proceso de proyección, el suministrador deberá informar previamente al constructor sobre cualquier cambio que se produzca en los materiales o en la composición del hormigón de partida. La falta de dicha información previa por parte del suministrador del hormigón, implicará la asunción de la responsabilidad sobre los incidentes apreciados tras la ejecución y a raíz de dichos cambios.

La información del cambio debe realizarse desde el primer momento que se produce, comunicándolo a la dirección de obra y reflejándose en los albaranes de entrega.

#### 3.5.1 Composición

La composición final del hormigón proyectado, similar en cierta medida al de partida, presenta algunas diferencias introducidas por la incorporación del aire comprimido, por el uso de acelerantes de fraguado, en el caso de que se empleen, y por el rebote. Para un transporte por tubería y proyección satisfactorios, se recomienda que el contenido total de finos del hormigón de partida que pasan por el tamiz 0,063 mm (incluidos los procedentes de los áridos, del cemento y de las adiciones) se sitúe entre 500 y 550 kg/m<sup>3</sup>. El constructor tomará medidas adicionales para asegurar que el rebote no supere el 15% en superficies verticales y el 20% en el techo.

En el hormigón proyectado se puede emplear cualquier fibra estructural, siendo las más usuales las de acero y las poliméricas. Las fibras de acero deben tener marcado CE conforme a la norma UNE-EN 14889-1 y las poliméricas conforme a la norma UNE-EN 14889-2. La longitud de las fibras viene condicionada por los diámetros de las tuberías de transporte y la boquilla de proyección, así como por el tamaño máximo del árido y la posible formación de erizos. Son usuales longitudes de 30 a 40 mm, en el caso de fibras de acero y menores que 65 mm en el caso de fibras poliméricas, debido a su mayor flexibilidad.

#### 3.5.2 Docilidad del hormigón

La consistencia del hormigón de partida viene condicionada por los requisitos de bombeabilidad del material en estado fresco. Esta consistencia puede ser evaluada a través del asentamiento en el cono

de Abrams, de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-2, o por la extensión de flujo en la mesa de sacudidas de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-5. Siempre que sea posible, se dará preferencia a la realización de este último ensayo, debido a su mayor capacidad para discriminar variaciones que puedan afectar al proceso de bombeo y proyección.

Los rangos de consistencia para cada ensayo se presentan en la tabla A9.3.5.2. Los hormigones proyectados sin acelerantes de fraguado tendrán preferentemente consistencia S2, S3, E1, E2 o E3. Por otra parte, hormigones proyectados con acelerantes de fraguado serán preferentemente de tipo S4, S5, E3 o E4. La observancia de estos rangos no garantiza el cumplimiento de las condiciones de bombeabilidad exigibles al hormigón fresco, por lo que se deben realizar pruebas previas en obra.

Tabla A9.3.5.2 Clases de consistencia

Ensayo	Clase	Rango
Asentamiento UNE-EN 12350-2	S1	entre 10 mm y 40 mm
	S2	entre 50 mm y 90 mm
	S3	entre 100 mm y 150 mm
	S4	entre 160 mm y 210 mm
	S5	Mayor que 220 mm
Extensión de flujo UNE-EN 12350-5	E1	entre 500 mm y 540 mm
	E2	entre 550 mm y 590 mm
	E3	entre 600 mm y 640 mm
	E4	entre 650 mm y 700 mm

### 3.5.3 Tipificación de los hormigones

#### 3.5.3.1 Hormigón de partida

La designación del hormigón de partida puede realizarse tanto por dosificación como por propiedades. En el primer caso, la tipificación se realizará de acuerdo con el siguiente formato:

$$T - D - G / f / CF / C / TM - TF / A$$

donde:

- T Indicativo que será HB para el hormigón de partida sin fibra y HBF para el hormigón de partida con fibras.
- D Indicativo de hormigón especificado por dosificación.
- f En el caso de emplear fibras, indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibras de vidrio.
- G Es el contenido de cemento, en kg por m<sup>3</sup> de hormigón.
- f En el caso de emplear fibras, indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibras de vidrio.
- CF Es el contenido de fibra, en kg (hasta el primer decimal de precisión) por m<sup>3</sup> de hormigón.
- C Es la clase de consistencia del hormigón en función del tipo de ensayo de referencia seleccionado.
- TM Tamaño máximo del árido grueso en mm, definido en el apartado 30.3 de este Código.

- TF En el caso de emplear fibras, longitud máxima de la fibra, en mm.
- A Designación del ambiente, de acuerdo con el apartado 27.1 de este Código.

También se incluirá una tabla con la composición de la dosificación, en la cual se indicarán los materiales empleados, así como sus respectivas cantidades en kg/m<sup>3</sup> de hormigón.

En el caso de designación del hormigón de partida por propiedades, se usará la misma tipificación, cambiando el significado de la sigla *T* y de la sigla *C*. La primera será HB para el hormigón de partida sin fibra y HBF para el hormigón de partida con fibras. La segunda corresponde a la clase de consistencia en función del tipo de ensayo de referencia seleccionado, tal y como indica la tabla A9.3.5.2 del presente anejo.

### 3.5.3.2 Hormigón proyectado

Los hormigones proyectados y ya colocados sobre la superficie, 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):

$$T - R / J / (f - R1 - R3) / TM - TF / A$$

donde:

- T* Indicativo que será HMP en el caso de hormigón en masa proyectado, HAP en el caso de hormigón armado proyectado, HPP en el caso del hormigón pretensado proyectado y HRP en el caso del hormigón reforzado únicamente con fibras y proyectado. En el supuesto de que el hormigón armado proyectado o el hormigón pretensado proyectado también llevaran fibras, se usará respectivamente HAPF o HPPF.
- R* Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm<sup>2</sup> y referida al hormigón una vez proyectado sobre la superficie.
- J* Clase resistente a corta edad, establecida de acuerdo con el apartado 7.2.3.2 del presente anejo.
- f* En el caso de emplear fibras, indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibras de vidrio.
- R1, R3* En el caso de emplear fibras, resistencia característica residual a flexotracción especificada  $f_{R,1,k}$  y  $f_{R,3,k}$ , en N/mm<sup>2</sup> y referida al hormigón una vez proyectado sobre la superficie o valores equivalentes obtenidos en un ensayo alternativo, tal y como indica el apartado 7.2.3.3 de este anejo.
- TM* Tamaño máximo del árido grueso en mm, definido en el apartado 30.3 del articulado.
- TF* En el caso de emplear fibras, longitud máxima de la fibra, en mm.
- A* Designación del ambiente, de acuerdo con el apartado 27.1 del articulado.

## 4 DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### 4.1 Recubrimiento nominal

En el caso de hormigón armado o pretensado proyectado, los recubrimientos mínimos definidos en el Código, deben incrementarse en:

- 10 mm ambientes XD, XS y XA
- 5 mm resto de ambientes.

Este incremento viene dado por la posible mayor porosidad superficial del hormigón.

En el caso de hormigón reforzado con fibras proyectado, no se impone condición alguna de

recubrimiento. Se podrán emplear directrices diferentes a las especificadas en esta recomendación cuando se compruebe el comportamiento del material mediante ensayos específicos.

#### 4.2 Carbonatación del hormigón

En elementos de hormigón proyectado, el valor del coeficiente  $c_{air}$  de la tabla A12.3.1.b del Anejo 12, a falta de mayor información, deberá tomarse igual a 0,7.

## 5 DIMENSIONAMIENTO Y COMPROBACIÓN

Para el análisis estructural, el dimensionamiento y la comprobación de las estructuras de hormigón proyectado, el autor del proyecto empleará los Anejos 19 y 21, según el caso.

La incorporación de aire a la mezcla y la modificación del esqueleto granular debido al rebote diferencial, conducen a una ligera variación en la densidad y en las propiedades mecánicas del hormigón proyectado, en comparación con el de partida antes de la proyección. Esto afecta a las ecuaciones usadas para estimar las propiedades mecánicas y los diagramas constitutivos incluidos en el Código. Todas las propiedades referentes al hormigón proyectado serán indicadas en el presente anejo con los mismos símbolos recogidos en el Código para el hormigón convencional, añadiendo el subíndice "p".

### 5.1 Valores característicos de las acciones permanentes

Como consecuencia del sistema de puesta en obra, la densidad del hormigón proyectado suele ser inferior a la de un hormigón convencional. Por eso, para el cálculo del peso propio de la estructura, se recomienda tomar las siguientes densidades definidas en función de la resistencia característica del hormigón proyectado ( $f_{ckp}$ ) a los 28 días:

- Hormigón proyectado en masa o con fibras estructurales
 

$f_{ckp} < 40 \text{ N/mm}^2$	2.250 kg/m <sup>3</sup>
$f_{ckp} \geq 40 \text{ N/mm}^2$	2.300 kg/m <sup>3</sup>
- En el caso del hormigón proyectado armado o pretensado, a los valores indicados anteriormente se añadirán 100 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.2 Módulo de deformación

El módulo de deformación longitudinal secante del hormigón proyectado ( $E_{cmp,j}$ ) a una edad  $j$  expresado en N/mm<sup>2</sup>, viene dado por la ecuación:

$$E_{cmp,j} = \gamma_p \cdot \gamma_r \cdot 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{cmp,j}}$$

donde:

- |             |   |
|-------------|---|
| $f_{cmp,j}$ | Es la resistencia media a compresión estimada para el hormigón proyectado a la edad $j$ |
| $\gamma_p$  | Es el coeficiente de porosidad según:   |
|             | $\gamma_p = \frac{1 - p_s}{0,92}$   |
| $p_s$       | Es la porosidad del hormigón proyectado a la edad de 28 días, en tanto por uno          |
| $\gamma_r$  | Es el coeficiente de rebote según:  |
|             | $\gamma_r = 1 - r$  |
| $r$         | Es el rebote de material al proyectar el hormigón, en tanto por uno.                    |

Esta formulación es válida siempre que las tensiones, en condiciones de servicio, no sobrepasen el valor de  $0,40 f_{cmp,j}$ . En estas ecuaciones, la porosidad del hormigón proyectado deberá estar entre el 8% y el 18%, mientras que el rebote del material durante la proyección, deberá estar comprendido entre el 5% y el 15%. A falta de datos al respecto de porosidad y del rebote, se podrá adoptar el valor de 0,76 para el producto  $\gamma_p \cdot \gamma_r$ .

El módulo de deformación longitudinal del hormigón tiene una marcada dependencia del tipo del árido con el que se ha fabricado el hormigón. Las expresiones propuestas corresponden a hormigones fabricados con áridos de caliza densa. Los mismos factores de corrección establecidos en los Anejos 19 y 21 pueden aplicarse a esas ecuaciones en el caso de tener áridos de otras naturalezas.

Si se desea obtener con mayor precisión el valor del módulo para el tipo concreto de árido que se va a utilizar, se deberán realizar ensayos experimentales para adaptar las expresiones propuestas con coeficientes correctores en función de la naturaleza del árido. Como pasa con el hormigón convencional, dichas comprobaciones también deben realizarse en aquellas estructuras en que las deformaciones y su control sean especialmente importantes, bien por su magnitud (como en los casos de estructuras muy estables) o bien por su influencia en los esfuerzos y comportamiento de la propia estructura (como en el caso de construcciones evolutivas o por fases).

### 5.3 Resistencia a tracción de cálculo

La resistencia media o característica a tracción y a flexotracción del hormigón proyectado pueden estimarse con las mismas ecuaciones y consideraciones propuestas en el Anejo 19 de este Código, multiplicándose el valor resultante por el coeficiente ( $\eta_p$ ) que tiene en cuenta las variaciones en la densidad con respecto al hormigón convencional. Dicho coeficiente se calculará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\eta_p = 0,4 + 0,6 \frac{\rho_p}{2.400}$$

donde  $\rho_p$  es la densidad en estado seco del hormigón proyectado en  $\text{kg/m}^3$ , que no se considerará mayor que 2.400.

### 5.4 Diagrama tensión – deformación de cálculo

Para los hormigones proyectados se recomienda el uso de los diagramas parábola–rectángulo ó rectangular que se recogen a continuación, los cuales contemplan el riesgo de disminución progresiva de la deformación de rotura cuando disminuye la densidad en seco del hormigón proyectado.

#### a) Diagrama parábola – rectángulo:

Se puede utilizar el mismo diagrama del Anejo 19, multiplicando la deformación última ( $\varepsilon_{cu2}$ ) por  $\eta_p$  obtenido en el apartado 5.3 de este anejo.

#### b) Diagrama rectangular:

Es aplicable el diagrama rectangular del Anejo 19, con tensión constante  $\sigma_{cp} = \eta(x) \cdot f_{cdp}$  y altura del bloque comprimido  $y = \lambda(x) \cdot h$ . No obstante, la deformación última obtenida de acuerdo con el Código será multiplicada por  $\eta_p$ . Además, el factor  $\lambda_p$  para la obtención de  $\lambda(x)$  será definido por la ecuación:

$$\lambda_p = 0,937 \cdot \eta_p - 0,737$$

### 5.5 Dominios de deformación

Deberá tenerse en cuenta, en la definición de los dominios de deformación, la reducción de la deformación última en el hormigón en flexión, de acuerdo con el criterio establecido en el apartado 5.4 de este anejo.

## 5.6 Estados límite de agotamiento frente a cortante

### 5.6.1 Obtención de $V_{u1p}$

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma se obtendrá de acuerdo con el apartado 6.2 del Anejo 19, reduciéndose por el factor  $v_p$  dado por la ecuación siguiente. En ella se empleará la resistencia característica del hormigón proyectado ( $f_{ckp}$ ) en N/mm<sup>2</sup>.

$$v_p = 0,5 \cdot \eta_p \cdot \left(1 - \frac{f_{ckp}}{250}\right)$$

### 5.6.2 Obtención de $V_{u2p}$

#### 5.6.2.1 Piezas sin armadura de cortante

El esfuerzo cortante por tracción en el alma se obtendrá como:

$$V_{u2p} = \left[ \frac{0,18}{\gamma_c} \eta_p \xi (100 \rho_p f_{cvp})^{1/3} + 0,15 \alpha_p \sigma'_{cdp} \right] b_0 d \geq [0,35 f_{ctdp} + 0,15 \alpha_p \sigma'_{cdp}] b_0 d$$

#### 5.6.2.2 Piezas con armadura de cortante

La contribución del hormigón a esfuerzo cortante se obtendrá como:

$$V_{cup} = \left[ \frac{0,18}{\gamma_c} \eta_p \xi (100 \rho_p f_{cvp})^{1/3} + 0,15 \alpha_p \sigma'_{cdp} \right] b_0 d \geq [0,35 f_{ctdp} + 0,15 \alpha_p \sigma'_{cdp}] b_0 d$$

## 5.7 Estados límite de agotamiento por torsión en elementos lineales

### 5.7.1 Obtención de $T_{u1p}$

El esfuerzo torsor de agotamiento por compresión oblicua del alma, se obtendrá de acuerdo con el apartado 6.3 del Anejo 19, reduciéndose por el factor  $v_p$  dado en el apartado 5.6.1 de este anejo.

## 5.8 Estados límite de agotamiento frente a punzonamiento

La tensión máxima resistente en el perímetro crítico, se obtendrá como:

$$\tau_{rdp} = \frac{0,18}{\gamma_c} \eta_p \xi (100 \rho_p f_{cvp})^{1/3} + 0,1 \sigma'_{cdp} \geq 0,4 f_{ctdp} + 0,1 \sigma'_{cdp}$$

## 5.9 Anclaje y empalme de las armaduras pasivas

La adherencia entre barras y alambres corrugados con el hormigón proyectado, puede alcanzar valores similares a los que se alcanzan con hormigones colocados por métodos convencionales. No obstante, éste es un parámetro que está muy influenciado por la técnica de puesta en obra, el diámetro de la barra, la densidad de armadura, la composición del hormigón, el contenido de acelerante y, especialmente, la experiencia y habilidad del operador, que juega un papel clave a la hora de alcanzar buenas prestaciones. Para determinar la longitud neta de anclaje, se consideran los siguientes coeficientes para el cálculo de la tensión de adherencia con el hormigón proyectado:

$\tau_{bdp} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$	
$f_{ctdp}$	Resistencia a tracción de cálculo del hormigón proyectado, calculada de acuerdo con el apartado 5.3 del presente anejo. A efectos de cálculo no se adoptará un valor superior al asociado a un hormigón de resistencia característica 60 N/mm <sup>2</sup>
$\eta_1$	Coefficiente relacionado con la calidad de la adherencia y posición de la barra durante el hormigonado

	$\eta_1 = \eta_p$ para barra individual en un solo plano de armado y buena adherencia
	$\eta_1 = 0,7$ para el resto de casos
$\eta_2$	Coefficiente relacionado con el diámetro de la barra
	$\eta_2 = 1$ para barras de diámetro $\varnothing \leq 16$
	$\eta_2 = (116 - \varnothing) / 100$ para barras de diámetro $\varnothing > 16$

## 6 Ejecución de estructuras de hormigón

### 6.1 Puesta en obra y curado del hormigón

#### 6.1.1 Prescripciones generales

En la puesta en obra mediante proyección, un factor principal es el soporte sobre el que se proyecta, en el cual, previamente a la proyección, se deben realizar los trabajos preparatorios y tomar las medidas adicionales necesarias para asegurar las prestaciones finales requeridas, ya sean de adherencia entre capas o del acabado de la capa. El sustrato puede ser cualquier elemento portante capaz de resistir el impacto del hormigón proyectado y que tenga la suficiente rigidez para que el material pueda ser aplicado correctamente y se adhiera bien al sustrato sin que este último se mueva o vibre excesivamente.

El área de aplicación se limpiará con una mezcla aire-agua. La misma podrá estar húmeda pero sin agua libre antes de la aplicación del hormigón. El hormigón proyectado no se deberá emplear en sustratos con temperaturas inferiores a 2°C o en aquellos expuestos a vientos y lluvias fuertes sin tomar medidas especiales.

### 6.2 Fabricación del hormigón

#### 6.2.1 Cemento

La cantidad mínima de cemento por metro cúbico de hormigón será 1,15 veces la establecida en el apartado 43.2.1 del articulado. Con ello se quiere compensar, en cierta medida, la parte de cemento que se pierde en el rebote, aparte de facilitar aspectos de puesta en obra. En el caso de que la proyección se realice por la vía seca, se tomarán las medidas necesarias para asegurar que la cantidad de agua añadida en la boquilla y la relación agua/cemento resultante no superen en ningún momento los límites establecidos en el Código, estando dentro de los límites definidos en proyecto y en la etapa de validación descrita en el apartado 7.2 del presente anejo.

#### 6.2.2 Aditivos

Los acelerantes se almacenarán evitando la helada y la contaminación. Cada máquina para la proyección por vía húmeda incorporará una bomba dosificadora integrada para dispensar aditivos líquidos con una precisión mínima de  $\pm 5\%$  de la dosificación requerida.

### 6.3 Transporte y suministro del hormigón

#### 6.3.1 Transporte del hormigón

Dependiendo de la aplicación y del tiempo abierto necesario para el transporte y operación de proyección, es frecuente el empleo de aditivos estabilizadores de fraguado, por lo que no procede la limitación de tiempo que en el articulado se señala. En este caso, deberán considerarse las indicaciones del suministrador del aditivo en cuanto al tiempo máximo de estabilización.

### 6.3.2 Suministro del hormigón

Con respecto al suministro del hormigón de partida, rigen las consideraciones realizadas en el articulado, permitiéndose la especificación por composición. Esto debe tenerse presente en los temas de control y gestión de la obra.

### 6.4 Vertido y colocación del hormigón

Antes de iniciar la proyección, la dirección facultativa deberá aprobar el equipo y el operador. Cuando se inicia la misma, se dirigirá la boquilla en otra dirección a la de los trabajos hasta que la mezcla sea correctamente ajustada. Asimismo, en el caso de que durante la proyección el flujo fuera intermitente, el operario deberá realizar la misma operación hasta que dicho flujo vuelva a ser constante. Por ello, se recomienda proteger adecuadamente las zonas adyacentes a la de trabajo, para evitar salpicaduras, manchas y rebotes.

Cada capa de hormigón proyectado se llevará a cabo mediante varias pasadas de la boquilla en la zona de trabajo, mediante el uso de buenas prácticas y la manipulación de la boquilla. Cada pasada se realiza con una trayectoria en forma de elipse que se traslada en el espacio, esto es, no hay que concentrar la proyección en un punto. El hormigón saldrá de la boquilla en un flujo constante e ininterrumpido, manteniendo una distancia al soporte (entre 0,5 y 1,5 m en función del sistema de proyección y del equipo empleado) y un ángulo adecuado (próximo a 90° con respecto al sustrato). Cuando se proyecte detrás de la armadura, la boquilla se mantendrá próxima al sustrato y con un ángulo que asegure que la armadura quede totalmente envuelta, evitando que se acumule el rebote detrás de la misma.

Para superficies verticales o casi verticales, la proyección del hormigón deberá comenzar desde la parte inferior. En zonas donde se aplican capas gruesas, la superficie superior mantendrá una pendiente de aproximadamente 45°. Para superficies superiores curvas en clave o en bóveda, se deberá proyectar el hormigón preferiblemente desde los laterales hasta la parte superior.

Se respetará el tiempo suficiente para que el hormigón de una capa fragüe antes de aplicar la siguiente. Para obtener el espesor de hormigón prescrito es preferible, desde el punto de vista técnico, hacer varias pasadas formando capas finas, si bien desde el punto de vista de rendimientos este proceso no es satisfactorio, por lo que habrá que encontrar un equilibrio en la propia obra.

El constructor asegurará la proyección de una capa con el espesor mínimo establecido en proyecto. Para simplificar el control del espesor, siempre que sea posible, se instalarán separadores de referencia en diferentes puntos de la superficie sobre la cual se va a proyectar hormigón. El operador que controla la boquilla deberá cubrir la superficie con material hasta que no se aprecien los separadores, buscando generar un espesor lo más uniforme posible. Todo el material de rebote se retirará de la zona de trabajo y no se usará en los trabajos de proyección. La eliminación del rebote se realizará con el debido respeto a los riesgos de contaminación ambiental.

La máquina de proyección y el equipo auxiliar tendrán una capacidad adecuada para los volúmenes aplicados. Además, el equipo será a prueba de fugas con respecto a todos los materiales, manteniéndose en correcto funcionamiento para la duración de los trabajos en la obra. El equipo de proyección será capaz de alimentar los materiales a un ritmo aproximadamente constante y de expulsar las mezclas de hormigón proyectado desde la boquilla a velocidades que permitan la adherencia a la superficie con un mínimo rebote y una máxima adherencia y densidad.

El equipo se limpiará en profundidad como mínimo una vez por cada turno de trabajo, o en intervalos de tiempo menores si se usan aditivos para el control de la hidratación, para prevenir acumulación de residuos.

Las mangueras flexibles o rígidas deberán seguir una línea recta o curvas suaves. Además, presentarán un diámetro uniforme adecuado a la mezcla y a las características de la fibra (en el caso de hormigón proyectado con fibras) determinados en las pruebas en obra, evitando cualquier abolladura o torcedura.

El equipo para proyección por vía húmeda se configurará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La boquilla estará diseñada para la adición de aire presurizado para obtener velocidad y alta compactación del hormigón. En los casos que se requiera, la boquilla presentará una entrada para la incorporación de los aditivos acelerantes de fraguado. Preferiblemente, estos aditivos se deberán mezclar con el aire comprimido en la boquilla antes de incorporarse al hormigón. La boquilla debe ser suficientemente larga para aprovechar la presión generada por el aire comprimido. El aire para el equipo debe ser limpio, seco y libre de aceite. Se proporcionará de forma continua al equipo a una presión no más baja que la de operación y en los ratios de volumen especificados por el fabricante.

## 6.5 Proyección para trabajos de reparación

Para trabajos de reparación de hormigón, se aplicarán los requisitos especificados en los apartados anteriores. Asimismo, se deberán cumplir las recomendaciones indicadas a continuación:

- Antes de iniciar los trabajos de reparación, se realizará una prueba en un área de la superficie para verificar la calidad de la superficie y que la armadura queda embebida adecuadamente.
- El hormigón se aplicará hasta el nivel del hormigón adyacente o hasta cumplir el recubrimiento especificado. Si fuera necesario, se usará encofrado para obtener la forma original.
- Si el espacio entre barras de armado es menor de 50 mm, se tomarán medidas especiales, tales como disminuir el hormigón que sale de la boquilla y reducir la distancia entre la boquilla y el sustrato.

## 6.6 Puesta en obra del hormigón en condiciones climáticas especiales

### 6.6.1 Hormigonado en tiempo frío

El hormigón proyectado se protegerá de la helada esporádica hasta que haya alcanzado una resistencia a compresión de al menos 5 N/mm<sup>2</sup>. Si la helada se produjera de manera cíclica a cortas edades, se tomarán medidas adicionales para evitar que afecte a la durabilidad del material colocado.

Antes y durante la ejecución de elementos con riesgo de desprendimiento, el hormigón que se proyecta debe tener una temperatura de al menos 10°C. En el caso de que la temperatura afecte al comportamiento del material y la puesta en obra, deberán tomarse medidas adicionales en la central de producción para incrementar la temperatura del hormigón de partida, bien sea empleando agua caliente, bien protegiendo los áridos frente a heladas, entre otras medidas. Además se deberá tener en cuenta la temperatura del aire empleado para la proyección, así como la de los aditivos activadores de fraguado.

## 6.7 Curado del hormigón

En el hormigón proyectado, aparte de los métodos de curado habituales, podrán utilizarse aditivos de curado interno. Si los agentes de curado se aplican en zonas en las que habrá proyección de más capas de hormigón, se realizarán pruebas para comprobar la adherencia entre capas. Para ello, se emplearán las mezclas y métodos de trabajo aprobados antes de emplear dichos agentes en la obra.

El curado preferiblemente comenzará durante los 20 minutos siguientes a la finalización de cada operación de proyección si se usan aditivos acelerantes de fraguado y durante la primera hora siguiente cuando no se emplee ese tipo de aditivos. El curado será continuo durante al menos 7 días.

## 6.8 Procesos posteriores al hormigonado

### 6.8.1 Desencofrado, desmoldeo y descimbrado

Dada la velocidad muy rápida de desarrollo de resistencias de estos hormigones, se pueden reducir los tiempos de desencofrado, desmoldeo o descimbrado, que será como mínimo el tiempo en el que el conjunto del elemento estructural sea estable y esté todo proyectado.

### **6.8.2 Acabado de superficies**

El empleo de aditivos acelerantes dificulta cualquier actuación posterior de acabado en la superficie de hormigón. En consecuencia, debe estudiarse en detalle (incluso con experiencias previas) cuál debe ser el aditivo y la dosificación de acelerante para conseguir el acabado que se requiera.

Salvo que se especifique lo contrario, se evitarán las acciones de acabado como el enrasado superficial aplicado directamente sobre la capa proyectada. En el caso de que se requiera un tratamiento por contacto, este se realizará empleando llanas. Ningún tratamiento de superficie tendrá lugar hasta que la capa previa haya alcanzado una resistencia adecuada. Inmediatamente tras el acabado de la capa final, se aplicará un agente de curado u otro método para proteger la superficie del secado. Donde sea necesaria la realización de un revestimiento posterior, las membranas de curado se retirarán antes de su aplicación.

En el caso de que se produzcan acumulaciones de áridos, nidos de grava u otros defectos, deberán ser eliminados. El área de la nueva proyección no será inferior a 300 x 300 mm.

## **7 GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS**

### **7.1 Criterios específicos para el control de los productos**

#### **7.1.1 Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los productos**

Las especificaciones para todos los materiales cumplirán lo establecido en los Artículos 28 a 33 del Código Estructural y en el pliego de prescripciones técnicas particulares. En el caso de emplear fibras, también se seguirán las especificaciones establecidas en el Anejo 7.

#### **7.1.2 Aditivos**

En el caso de que se empleen acelerantes de fraguado, antes de comenzar la obra, se comprobará el efecto de los mismos a partir de ensayos con el cemento empleado, así como el resto de aditivos para la fabricación del hormigón de partida. Como consecuencia de lo anterior, se seleccionarán las marcas, tipos y dosificación de los acelerantes en la obra. La continuidad de su composición y características será garantizada por el fabricante correspondiente.

Durante la ejecución de la obra se vigilará que los acelerantes de fraguado sean los aprobados según el párrafo anterior. La dirección facultativa, cuando lo considere necesario en la ejecución de la obra, podrá requerir la comprobación de las condiciones exigidas a los acelerantes de fraguado. La dosificación de validación de los acelerantes de fraguado será aquella que permita una adecuada puesta en obra, así como el correcto desarrollo de resistencias mecánicas a todas las edades según sea la especificación del hormigón.

El incumplimiento de alguna de las especificaciones será condición suficiente para calificar los acelerantes como no aptos para los hormigones. Cualquier posible modificación de la marca, el tipo o la dosificación que se vayan a utilizar, respecto a lo aceptado en los ensayos previos al comienzo de la obra, implicará su no utilización, hasta que tras la realización de nuevos ensayos de validación la dirección facultativa autorice su aceptación y empleo en la obra.

### **7.2 Control del hormigón**

La caracterización de las propiedades del material se podrá realizar a tres niveles: sobre el hormigón de partida, sobre el hormigón ya proyectado en artesas normalizadas y sobre el hormigón proyectado en la propia estructura. Cuando la extracción del testigo o la ejecución del ensayo no supongan riesgo al que lo ejecuta y no provoquen un perjuicio estructural o estético inaceptables, la caracterización se podrá realizar en la propia estructura, no siendo necesario repetirla en la artesa. En caso contrario, se considerará que los resultados derivados de la caracterización de las artesas

proyectadas son representativas de la propia estructura, aunque pueden existir diferencias que deben ser evaluadas si se producen incidencias o no conformidades.

En lo que respecta al control del hormigón, hay que distinguir dos etapas con finalidades distintas: la validación previa y el control sistemático. En la primera de ellas, realizada antes del inicio de la ejecución de la estructura, se llevará a cabo la evaluación del comportamiento del hormigón y la comprobación de su conformidad con los requerimientos establecidos en proyecto. El equipo usado en las pruebas será el mismo que el empleado en la obra y los materiales serán representativos de aquellos que se usarán. La proyección será realizada por los operadores encargados de llevar a cabo la proyección en obra, los cuales deberán demostrar su competencia y habilidad para producir hormigón proyectado, cumpliendo en todo momento con las presentes recomendaciones. Con la mezcla de prueba se prepararán suficientes paneles de, al menos, 1.000 x 1.000 mm para proyección mediante robot y 600 x 600 mm para proyección manual, siguiendo lo descrito en la norma UNE-EN 14488-1, que serán debidamente caracterizados. La edad de extracción de las muestras, la edad de ensayo y el procedimiento de conservación y curado adoptados en esta etapa, serán los mismos que se emplearán durante la ejecución de la obra.

El procedimiento descrito en el párrafo anterior se repetirá teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos previstos para la dosificación de acelerante y para los parámetros de proyección (presión de las bombas y del aire comprimido) durante la obra. En ese sentido, se deberá comprobar que los hormigones obtenidos en dichas situaciones extremas atienden a los requerimientos de proyecto. Asimismo, se realizará la caracterización del hormigón de partida empleado en las pruebas, con el fin de establecer los requerimientos que el responsable del suministro del mismo deberá respetar durante la ejecución. Como resultado final de esta etapa, se elaborará un informe de validación en el que se incluirá la descripción de las dosificaciones validadas, de los parámetros de proyección de referencia, de los resultados obtenidos y de los criterios para la aceptación de los hormigones.

En la segunda etapa, realizada durante la ejecución de la obra, se llevará a cabo la comprobación sistemática de los requerimientos desde el punto de vista de comportamiento y durabilidad establecido en proyecto y derivado de la etapa anterior. Dicha verificación se realizará tanto en el hormigón de partida como en el hormigón ya colocado. Es importante asegurar que el material objeto de los ensayos de control sea lo más representativo posible del que se encuentra en la estructura. Por ello, los ensayos de caracterización del hormigón ya colocado se llevarán a cabo en una superficie ejecutada con una dosificación de acelerante que sea representativa del lote.

### 7.2.1 Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón

Los criterios para el control del hormigón de partida son los mismos establecidos en el Código. El control de la calidad del hormigón proyectado incluirá, además del control especificado en el Código, el de su resistencia a muy cortas edades.

### 7.2.2 Toma de muestras

En el caso de que la tipificación del hormigón de partida se realice por propiedades, la toma de muestras previamente al proceso de proyección se realizará tal y como establece el Código. En el caso del hormigón proyectado, las muestras se obtendrán a partir de paneles previamente proyectados en la misma obra siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 14488-1 o en muestras extraídas del mismo hormigón colocado en obra, con lo que se obtienen resultados más representativos. La localización del punto a caracterizar en la estructura deberá ser propuesta por el contratista y aprobada por la dirección facultativa, siendo la dosificación de acelerante usada en la proyección de ese punto representativa del lote.

La extracción de muestras de los paneles proyectados o de la propia estructura se realizará cuando el hormigón proyectado haya alcanzado una resistencia a compresión media de al menos 15 N/mm<sup>2</sup>, estimada en probetas cilíndricas. Todas las muestras extraídas serán talladas y preparadas antes de los ensayos, y se referenciarán apropiadamente, marcando la fecha y la hora de la proyección. El curado y la conservación de las muestras se realizará de manera análoga a la aplicada en obra. Para garantizar

la trazabilidad, se aconseja realizar los controles del hormigón de partida y del hormigón proyectado sobre los mismos lotes de suministro.

### 7.2.3 Realización de los ensayos

Los principales ensayos realizados se presentan en la tabla A9.7.2.3, pudiendo ser de tipo informativo o característico. Los primeros aportan información básica sobre el material o sobre la compatibilidad de algunos de sus componentes, mientras que los segundos son de comprobación obligatoria para la aceptación del hormigón de partida o del proyectado. La dirección facultativa podrá incorporar otros ensayos a los ya indicados, así como establecer la obligatoriedad de ensayos informativos para la aceptación del material.

Tabla A9.7.2.3 Clasificación de los ensayos

Tipo	Ensayos
Informativos	Vicat modificado (7.2.3.7)
	Módulo de deformación (7.2.3.4)
	Contenido de fibras (7.2.3.5)
Característicos	Docilidad (7.2.3.1)
	Resistencia a compresión (7.2.3.2)
	Resistencia residual a flexotracción <sup>(1)</sup> (7.2.3.3)
	Comprobación de espesor proyectado (7.2.3.6)

<sup>(1)</sup> Este ensayo se considerará obligatorio solo en hormigones reforzados con fibras con responsabilidad estructural.

NOTA: Entre paréntesis se recogen los apartados de este anejo donde se detallan los correspondientes ensayos.

Otro aspecto relevante en elementos estructurales de hormigón proyectado, es la definición del momento en el que se lleva a cabo la caracterización. Dada la importancia de la evolución de la resistencia a corta edad en la estabilidad del elemento proyectado, se recomienda la realización de ensayos para estimar de manera directa o indirecta la evolución de propiedades durante las primeras 24 horas. Asimismo, para obtener resultados más fiables y representativos, se recomienda que la edad de caracterización de las propiedades mecánicas se acerque al momento en el que deberían producirse las sollicitaciones en la estructura o exista riesgo de inestabilidad. Por lo general, si no hubiera especificación diferente en el pliego de condiciones o por limitaciones del procedimiento de ensayo, se define como edad de referencia para el cálculo de valores característicos la de 28 días.

En caso de que los componentes del hormigón de partida varíen o exista un cambio en el proceso de la puesta en obra, será necesario comprobar experimentalmente su idoneidad antes de seguir con la ejecución de la obra.

#### 7.2.3.1 Ensayos de docilidad del hormigón

La docilidad del hormigón de partida se comprobará mediante la determinación de la consistencia del hormigón fresco por el asentamiento en el cono de Abrams de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-2 o por la extensión de flujo en la mesa de sacudidas de acuerdo con la norma UNE-EN 12350-5. Se dará preferencia a la realización de este último ensayo por su mayor capacidad de discriminar variaciones que pueden afectar al proceso de bombeo y proyección, especialmente cuando se emplea hormigón con fibras. Salvo que se especifique lo contrario, la comprobación de la docilidad del hormigón se llevará a cabo justo antes del vertido a la tolva del equipo de proyección.

#### 7.2.3.2 Ensayos de resistencia del hormigón

La evaluación de la resistencia hasta las 24 horas se llevará a cabo de acuerdo con la norma UNE-EN 14488-2, bien mediante el ensayo de penetración (que se utiliza hasta que el hormigón adquiere una

resistencia igual a 1,0 N/mm<sup>2</sup>), bien mediante el método de la pistola de clavos (que se utiliza para estimar la resistencia hasta 20,0 N/mm<sup>2</sup>).

En función de la evolución temprana de la resistencia medida con los ensayos hasta las 24 horas, el hormigón proyectado se clasificará como de tipo J1, J2 o J3, de acuerdo con la figura A9.7.2.3.2. Los hormigones de clase J1 tendrán una evolución de resistencias entre las curvas A y B, mientras que los de clase J2 tendrán una evolución entre las curvas B y C. Los hormigones J3 deberán tener una resistencia superior a la indicada en la curva C.

La resistencia a compresión del hormigón proyectado cuando el material ya tenga una resistencia mínima de 15 N/mm<sup>2</sup> se estima de acuerdo con la norma UNE-EN 123090-3, a través del ensayo de testigos. Las muestras pueden ser cúbicas o cilíndricas, y la relación altura/diámetro (h/d) debe ser igual a 1,0 para muestras cúbicas y 2,0 para muestras cilíndricas. La utilización de distintas formas de muestra y distintas relaciones h/d, exige utilizar factores de conversión para comparar los resultados experimentales de resistencia a compresión. Se recomienda establecer una única forma de las muestras y adecuar la preparación de las mismas para que se mantenga la relación h/d deseada.

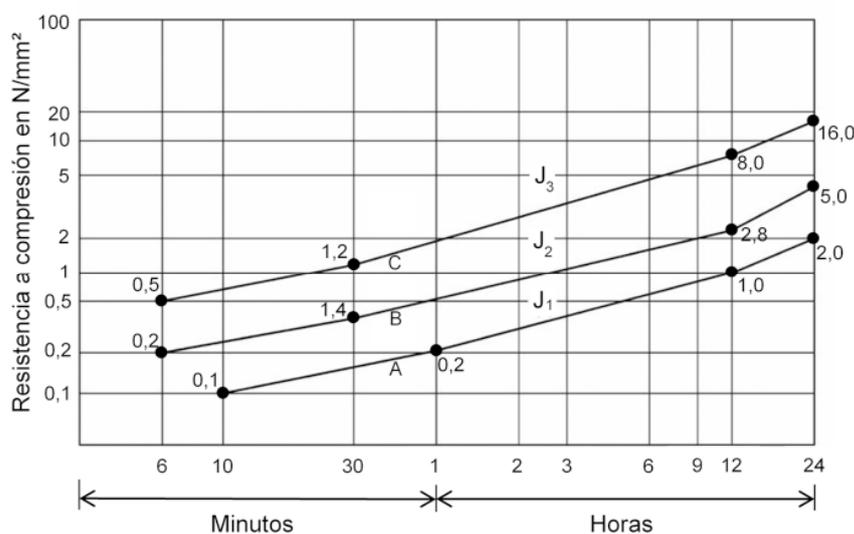


Figura A9.7.2.3.2 Requisitos de evolución de resistencia a muy corta edad

### 7.2.3.3 Resistencia a flexión y resistencia residual

A menudo, el hormigón proyectado está sometido a esfuerzos de flexión en servicio. La resistencia a flexión es una medida indirecta de la resistencia a tracción del hormigón y se realiza sobre viguetas cortadas o paneles obtenidos tras la proyección. Asimismo, es obligatoria la estimación de la resistencia residual del hormigón proyectado con fibras cuando estas tienen una responsabilidad estructural. Para ello, se debe emplear el ensayo de flexotracción según la norma UNE-EN 14651, el cual permite estimar las resistencias residuales requeridas para el diseño en estado límite de servicio y estado límite último. En este sentido, se tomarán como referencia los resultados obtenidos en el ensayo de tres puntos realizados en prismas de 150 x 150 x 600 mm con entalle.

Por las características del proceso de producción, dicho ensayo no es de fácil aplicación para el control sistemático del hormigón proyectado con fibras. Por esa razón, se pueden emplear ensayos alternativos. La determinación de los valores residuales equivalentes entre el ensayo de flexotracción según la norma UNE-EN 14651 y el ensayo alternativo elegido, se llevará a cabo mediante una comprobación experimental previa a la ejecución, tal y como indica el Anejo 7.

En esta comprobación, se producirán paneles de la misma proyección destinados a la extracción de los testigos para ambos ensayos. Para ello, se usarán paneles que tengan al menos 3,5 veces el volumen de los testigos, evitando la extracción en zonas afectadas por el rebote o por los efectos de borde. El espesor proyectado será suficiente para satisfacer la altura mínima de la muestra requerida

para cada ensayo. Se tallarán los testigos para regularizar las caras de las probetas y eliminar la rugosidad de la superficie proyectada. La edad de extracción de las muestras de los paneles, las edades de ensayo y los procedimientos de conservación y curado serán los mismos empleados posteriormente en la etapa de control de calidad. Los resultados obtenidos para aberturas de fisura análogas para ambos ensayos servirán para estimar las cargas residuales equivalentes, que serán la referencia para el control sistemático de la resistencia residual mediante el ensayo alternativo.

Para simplificar la extracción, la caracterización y el control sistemático, se recomienda que la resistencia residual se estime de manera indirecta mediante el Método Barcelona, descrito en la norma UNE 83515. Las aberturas de fisuras análogas entre dicho ensayo y el de flexotracción serán las definidas en el Anejo 7. El procedimiento de definición de equivalencia de la resistencia residual descrito con anterioridad también se podrá usar para estimar la tenacidad del material.

La estimación de la capacidad de absorción de energía de probetas planas reforzadas con fibras se realizará según la norma UNE-EN 14488-5.

#### **7.2.3.4 Módulo de deformación**

La estimación del módulo de deformación se realizará con testigos conforme a la norma UNE-EN 12390-13.

#### **7.2.3.5 Contenido de fibras**

La rápida evolución de las propiedades mecánicas del hormigón proyectado con acelerantes de fraguado dificulta la cuantificación del contenido de fibras por los métodos tradicionales. La determinación de dicho contenido se llevará a cabo de acuerdo con lo establecido en la norma UNE 83607. En el caso de utilizar fibras metálicas, se recomienda la utilización del método descrito por la norma UNE-EN 14721, que estima el contenido de fibras mediante un método inductivo.

#### **7.2.3.6 Ensayos para la comprobación del espesor proyectado**

La verificación del espesor proyectado tras la ejecución de la estructura es de carácter obligatorio y se realizará con métodos topográficos o equivalentes. Dicha comprobación se realizará en puntos representativos distribuidos uniformemente por toda la superficie.

#### **7.2.3.7 Ensayo de Vicat modificado**

Como forma indirecta de comprobar la dosificación de acelerante de fraguado requerida o la compatibilidad entre los acelerantes de fraguado y los demás aditivos y cemento seleccionados, se empleará el ensayo de Vicat modificado, utilizando el mismo equipo descrito en la norma UNE-EN 196-3 para la determinación del tiempo de fraguado. Para la realización del ensayo, los materiales y los equipos deberán estar a la misma temperatura que la de la obra durante la aplicación del material.

El ensayo consiste en mezclar activamente 300 g de cemento con 84 g de agua durante 30 segundos hasta conseguir una pasta homogénea. Luego, se añaden los aditivos plastificantes/superplastificantes o retardantes, mezclando activamente durante 90 segundos. A continuación, se deja reposar durante 30 segundos y se vuelve a mezclar durante 90 segundos. Una vez terminado ese tiempo, se añade el acelerante de fraguado de manera rápida, continua y distribuida sobre el material mientras se mezcla de manera vigorosa durante 15 segundos. La mezcla se introduce en el molde tronco-cónico estandarizado en la norma UNE-EN 196-3 apoyado sobre una placa base y, en un tiempo inferior a 30 segundos desde la mezcla con el acelerante, se realiza la primera lectura. Todas las mediciones se llevan a cabo con la aguja usada para determinar el inicio de fraguado, que se pone en contacto con la parte superior de la muestra y se deja caer sobre la misma.

El tiempo de inicio de fraguado se considera como aquél, en el que la aguja deja de tocar la placa base. El tiempo de final de fraguado se considera como aquél, en el que la aguja penetra menos de 1 mm en la muestra. Ambos se miden tomando como referencia el inicio de la adición del acelerante de fraguado. El ensayo se repetirá como mínimo tres veces manteniendo la misma composición de mezcla

y se usarán los tiempos promedio obtenidos en las tres mediciones. La tabla A9.7.2.3.7 presenta una clasificación orientativa de los resultados.

Tabla A9.7.2.3.7 Clasificación de los resultados del Ensayo de Vicat modificado

Fraguado	Aceptable	Muy bueno
Inicio	$\leq 5$ min	$\leq 2$ min
Fin	$\leq 10$ min	$\leq 5$ min

En aras de facilitar la comparación de la eficiencia de diferentes acelerantes, se podrán comparar los tiempos obtenidos para una misma dosificación definida previamente de acuerdo con los requisitos del proyecto. Alternativamente, también se podrá determinar la dosificación mínima requerida de cada acelerante para alcanzar un comportamiento considerado aceptable o muy bueno.

Para aplicaciones con alto riesgo de desprendimiento del material proyectado o en las que se requiera resistencia a muy cortas edades, se recomienda buscar la composición o la dosificación que confiera un comportamiento clasificado como muy bueno. En cambio, las aplicaciones en las que no existe un riesgo elevado de desprendimiento se pueden ejecutar con composiciones o dosificaciones que presenten un comportamiento clasificado como aceptable. La realización del ensayo de Vicat modificado no exime al constructor de llevar a cabo pruebas a escala real para confirmar la compatibilidad y los resultados obtenidos.

## ANEJO 10

### Hormigones de limpieza

#### Contenidos del anejo

1. ALCANCE.
2. MATERIALES.
  - 2.1 CEMENTOS UTILIZABLES.
  - 2.2 ÁRIDOS.
  - 2.3 ADITIVOS.
  - 2.4 ADICIONES.
3. CARACTERÍSTICAS DE LOS HORMIGONES DE LIMPIEZA (HL).

## 1 Alcance

En este Código se han definido las especificaciones reglamentarias del hormigón en masa estructural (HM), del hormigón armado estructural (HA) y del hormigón pretensado estructural (HP), y con este anejo se definen también el alcance y las especificaciones que deben tener los hormigones de limpieza.

- Hormigón de limpieza (HL): Es un hormigón que tiene como fin evitar la desecación del hormigón estructural durante su vertido así como una posible contaminación de éste durante las primeras horas de su hormigonado.

Este anejo no contempla el hormigón que tiene como fin conformar volúmenes de hormigón no estructural. Ejemplos de estos son los hormigones para aceras, hormigones para bordillos y los hormigones de relleno.

## 2 Materiales

### 2.1 Cementos utilizables

Los cementos utilizables en los hormigones de limpieza son los cementos comunes conformes con la vigente Instrucción de Recepción de Cementos.

### 2.2 Áridos

Para la fabricación del hormigón de limpieza, podrán emplearse arenas y gravas rodadas o procedentes de rocas machacadas, o escorias siderúrgicas apropiadas.

Para la fabricación del hormigón de limpieza, podrá emplearse hasta un 100% de árido grueso reciclado, siempre que éste cumpla las especificaciones definidas para el mismo en el apartado 30.8 de este Código.

En el caso de que haya evidencia de su buen comportamiento, de acuerdo con el Artículo 30 de este Código, podrán emplearse escorias granuladas procedentes de la combustión en centrales térmicas como áridos, siempre que cumplan las mismas especificaciones que contempla el apartado 30.9 para los áridos siderúrgicos.

### 2.3 Aditivos

Los hormigones de limpieza se caracterizan por poseer bajos contenidos de cemento, por lo que resulta conveniente la utilización de aditivos reductores de agua al objeto de reducir en lo posible la estructura porosa del hormigón en estado endurecido.

### 2.4 Adiciones

Las cenizas volantes deben tener marcado CE (sujetas la norma UNE-EN 450-1) y la declaración de prestaciones (DdP) deberá recoger los requisitos establecidos en el apartado 32.1 de este Código.

En el caso de cenizas volantes de co-combustión, la declaración de prestaciones deberá cumplir, además, los siguientes requisitos:

$(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  (%) según UNE-EN 196-2  $\geq 70$

$\text{Na}_2\text{O}$  eq según UNE-EN 196-2  $\leq 5,0$

MgO (%) según UNE-EN 196-2	≤ 4,0
Contenido en SiO <sub>2</sub> reactivo (%)	≤ 25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) total según ISO 29581-2	≤ 5
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> soluble	≤ 100mg/Kg
Variación del tiempo de fraguado inicial (mezcla 75/25) (min)	≤ 200 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> El tiempo de fraguado inicial de la mezcla 75/25 (cemento/ceniza volante) no debe ser superior a dos veces el tiempo de fraguado inicial de una pasta fabricada con el 100% del cemento de ensayo.

La declaración de prestaciones del fabricante deberá indicar el tiempo de fraguado inicial de la mezcla 75/25 (mezcla formada por un 75% del cemento de ensayo y un 25% de cenizas volantes), expresado en minutos.

La cantidad máxima de adiciones, bien sean cenizas volantes según el Artículo 32 de este Código, o cenizas volantes de co-combustión según la norma UNE-EN 450-1, no excederá del 35% del peso de cemento.

No podrán emplearse en el mismo hormigón simultáneamente cenizas de distintas procedencias.

### 3 Características de los hormigones de limpieza (HL)

El único hormigón utilizable para esta aplicación, se tipifica de la siguiente manera:

HL-150/C/TM

Como se indica en la identificación, la dosificación mínima de cemento será de 150 kg/m<sup>3</sup>.

Se recomienda que el tamaño máximo del árido sea inferior a 30 mm, al objeto de facilitar la trabajabilidad de estos hormigones.

## ANEJO 11

**Procedimiento de preparación por enderezado de muestras de acero procedentes de rollo, para su caracterización mecánica**

### Contenidos del anejo

- 1 INTRODUCCIÓN.
- 2 TOMA DE MUESTRAS.
- 3 EQUIPO PARA LA PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS POR ENDEREZADO.
- 4 PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS POR ENDEREZADO.

## 1 Introducción

Este anejo tiene por objeto establecer las condiciones en las que debe realizarse la preparación y enderezado de muestras extraídas de suministros de acero corrugado en rollo, que deberá realizarse antes de cualquiera de los ensayos de caracterización mecánica establecidos en este Código.

## 2 Toma de muestras

Las muestras se extraerán directamente de rollos terminados, en condiciones de suministro. Se procederá para ello a extraer del rollo espiras completas.

Para cada toma de muestras, se obtendrá un total de tres espiras procedentes de cada rollo que sea objeto de control. De cada espira, se obtendrán dos muestras iguales, consistentes en medias espiras.

De cada espira, una de las muestras (media espira) se empleará para los ensayos en el laboratorio de control y la otra, debidamente identificada mediante los correspondientes precintos, quedará bajo la custodia del responsable de la instalación en la que se efectúe la toma de muestras (instalación siderúrgica, taller de ferralla, obra, etc.) donde se almacenará, sin deformar ni manipular, por si fueran precisas como muestras de contraensayo durante el plazo de un mes desde la fecha de su toma de muestras.

## 3 Equipo para la preparación de las muestras por enderezado

Las muestras extraídas del rollo se someterán a un proceso de enderezado mediante una máquina adecuada, que presente un total de ocho rodillos del mismo diámetro (cuatro tractores para arrastrar el acero y otros cuatro libres), capaces de poder ser desplazados verticalmente para ajustarse al eje de la barra y con una disposición al tresbolillo similar a la de la figura A11.3. El diámetro de los rodillos y la separación entre los mismos, será el indicado en la tabla A11.3.

Tabla A11.3 Características geométricas de los rodillos

Tipo de rodillo	Características geométricas			
	Diámetro rodillo (mm)		Separación horizontal entre rodillos (mm)	
	$\varnothing \leq 12$	$\varnothing > 12$	$\varnothing \leq 12$	$\varnothing > 12$
Tractor o libre	$160 \pm 10\%$	$195 \pm 10\%$	$175 \pm 5\%$	$330 \pm 5\%$

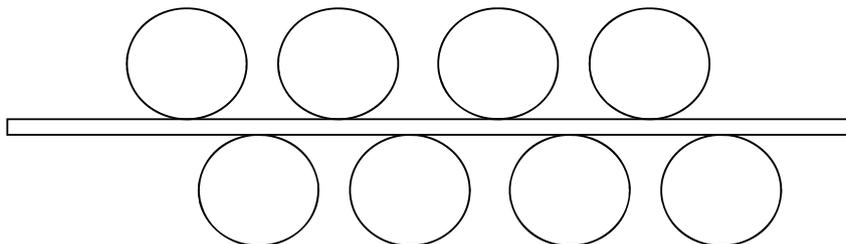


Figura A11.3 Disposición de los rodillos en la máquina de enderezado

La enderezadora deberá tener un registro continuo de las condiciones en las que efectúa el enderezado (posición de rodillos, velocidad de enderezado, etc.).

#### 4 Procedimiento de preparación de las muestras por enderezado

Una vez enderezada la muestra, se eliminarán 35 cm de cada extremo de la misma. A continuación, se comprobará la eficacia del enderezado, procediéndose a rechazar cualquier semiespira enderezada que, una vez eliminados los extremos, presente aplastamientos o deformaciones en la sección transversal, o tenga una desviación respecto a la alineación recta superior a 5 mm/m. A continuación, se podrá proceder al corte de las probetas para su posterior ensayo de caracterización mecánica, de acuerdo con lo indicado en el articulado de este Código.

## ANEJO 12

### Estimación de la vida útil de elementos de hormigón

#### Contenidos del anejo

**1. INTRODUCCIÓN.**

**2. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN.**

**3. MODELOS PARA EL PERÍODO DE INICIACIÓN EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN.**

3.1 CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN.

3.2 INGRESO DE IONES CLORURO EN EL HORMIGÓN.

3.2.1 CONTENIDO LÍMITE DE IONES CLORURO EN EL HORMIGÓN QUE PROVOCA EL INICIO DE LA CORROSIÓN EN LA ARMADURA.

**4. MODELOS PARA EL PERÍODO DE PROPAGACIÓN EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN.**

4.1 TIEMPO DE CORROSIÓN PARA LA FISURACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.

4.2 TIEMPO DE CORROSIÓN PARA UNA PÉRDIDA DE DIÁMETRO INADMISIBLE EN LA *armadura*.

## 1 Introducción

Este anejo, de carácter informativo, sirve como ejemplo de algunos de los modelos que el autor del proyecto puede utilizar, bajo su responsabilidad y buen criterio, para la estimación de la vida útil de las estructuras y/o elementos de hormigón.

El objeto de este anejo es proporcionar una herramienta que facilite la estimación de la vida útil residual de las estructuras existentes, así como ayudar en los siguientes casos:

- Que el autor del proyecto especifique un hormigón con una dosificación más estricta que la indicada en el articulado (por ejemplo con una relación a/c menor o con un mayor contenido de cemento).
- En el caso de estructuras en ambientes muy agresivos donde el articulado no proporciona una estrategia de durabilidad totalmente definida.

En ambos casos este anejo permite estimar la posible reducción de los recubrimientos recogidos en el Artículo 44 del Código cuando se mejoran las prestaciones relativas a la durabilidad del hormigón.

En ningún caso puede utilizarse para reducir los recubrimientos de las tablas 44.2.1.1.a y b en hormigones con las dosificaciones estrictas de la tabla 43.2.1.a.

## 2 Estimación de la vida útil de los elementos de hormigón

En general, la vida útil de los elementos de hormigón se puede obtener de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_{\text{est}} = t_{\text{inic}} + t_{\text{prop}}$$

siendo:

$t_{\text{inic}}$ : período de iniciación, definido como el tiempo transcurrido hasta que se inicia el daño según se indica en el apartado 3, y

$t_{\text{prop}}$ : período de propagación, definido como el de tiempo desde que se inicia el daño hasta que se alcanza el umbral inadmisibles, según se indica en el apartado 4.

## 3 Modelos para el período de iniciación en elementos de hormigón

### 3.1 Carbonatación del hormigón

En el caso de elementos ubicados en clases de exposición XC, se tendrá que:

$$t_{\text{inic}} = t_{\text{inic,desp}}$$

siendo  $t_{\text{inic,desp}}$  el período de tiempo transcurrido hasta que se inicia la corrosión, que vendrá definido por:

$$t_{\text{inic,desp}} = \left( \frac{c}{k_{\text{app,carb}}} \right)^2$$

donde:

$c$  recubrimiento mínimo, en mm

$k_{\text{app,carb}}$  coeficiente de carbonatación aparente, expresado en mm/año<sup>1/2</sup>.

El valor de  $k_{ap,carb}$  se determinará, preferentemente, de forma experimental, según la norma UNE 83993-1. En su caso, a falta de datos experimentales, el autor del proyecto podrá estimar su valor a partir de la siguiente expresión:

$$k_{ap,carb} = c_{env} \cdot c_{air} \cdot a(f_{ck} + 8)^b$$

siendo:

$c_{env}$  y  $c_{air}$  los coeficientes de ambiente y de utilización de aireantes, respectivamente, que se obtendrán de acuerdo con las tablas A12.3.1.a y A12.3.1.b

$f_{ck}$  resistencia característica especificada para el hormigón, en N/mm<sup>2</sup>

$a, b$  parámetros adimensionales, de acuerdo con la tabla A12.3.1.c.

Tabla A12.3.1.a Coeficientes  $c_{env}$  para estimar el coeficiente de carbonatación aparente

Ambiente	$c_{env}$
Protegido de la lluvia	1,0
Expuesto a la lluvia	0,5
Elementos enterrados, por encima del nivel freático	0,3
Elementos enterrados, por debajo del nivel freático	0,2

Tabla A12.3.1.b Coeficientes  $c_{air}$  para estimar el coeficiente de carbonatación aparente

Aire ocluido	$c_{air}$
< 4,5 %	1,0
≥ 4,5 %	0,7

Tabla A12.3.1.c Parámetros  $a$  y  $b$  para estimar el coeficiente de carbonatación aparente

Conglomerante	$a$	$b$
Cemento portland	1800	-1,7
Cemento portland + 28% cenizas volantes	360	-1,2
Cemento portland + 9% humo de sílice	400	-1,2

### 3.2 Ingreso de iones cloruro en el hormigón

En el caso de elementos ubicados en clases de exposición XS o XD, a los efectos de la determinación del avance de los iones cloruro en el interior del hormigón en función del tiempo, el autor del proyecto podrá utilizar la siguiente expresión:

$$C_{th} = C_b + (C_s - C_b) \cdot \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{c}{2\sqrt{D_{app,c}(t) \cdot t}} \right) \right]$$

donde:

$C_{th}$  contenido límite de iones cloruro en el hormigón que provoca el inicio de la corrosión en la armadura, expresado en porcentaje del peso de cemento y definido a una profundidad  $x$ , expresada en mm, y a una edad  $t$ , expresada en años

$C_b$  contenido de cloruros aportados por los materiales utilizados en la fabricación del hormigón, expresados en porcentaje respecto al peso de cemento, de acuerdo con:

$$C_b = \sum_{i=1}^n C_{b,i}$$

siendo  $C_{b,i}$  los contenidos de iones cloruros de cada uno de los materiales componentes (cemento, áridos, adiciones, aditivos, etc.)

$C_s$  contenido de cloruros en la superficie del hormigón, expresada en porcentaje del peso de cemento. A falta de información específica adicional, puede obtenerse de la tabla A12.3.2.a.

Tabla A12.3.2.a Estimación del contenido de cloruros  $C_s$  en la superficie del hormigón

Clases de exposición	Distancia L respecto a la costa (m)	$C_s$ (% sobre peso de hormigón)
XS1	Zona de spray, próxima a la zona de salpicaduras	0,25
	Resto hasta $L \leq 5000$	0,15
XS2	n/a	0,40
XS3	n/a	0,50
XD1, XD2, XD3	n/a	0,40

$c$  recubrimiento, expresado en mm

$t$  el período de tiempo (en años) transcurrido hasta que se inicia la corrosión, siendo  $t = t_{\text{inic}}$

$D_{app,c}(t)$  coeficiente de difusión de cloruros aparente, expresado en  $\text{mm}^2/\text{año}$ , a la edad  $t$ , obtenido experimentalmente del siguiente modo:

- En estructuras existentes, a partir de determinaciones experimentales del contenido de cloruros a distintas profundidades sobre testigos extraídos del elemento estructural.
- En fase de diseño para hormigones en clase de exposición XS3, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_{app,c}(t) = k_e \cdot D_{app,c}(t_0) \left( \frac{t_0}{t} \right)^n$$

siendo  $D_{app,c}(t_0)$  el coeficiente de difusión de cloruros aparente a la edad  $t_0 = 28$  días (0,0767 años), cuya determinación se debe realizar a partir de ensayos específicos de difusión de cloruros, según la norma UNE-EN 12390-11.

A efectos orientativos y de evaluación meramente preliminar, se incluyen en la tabla A12.3.2.b los valores de  $D_{app,c}(t_0)$  obtenidos a partir del ensayo definido en la norma NT BUILD 492.

Tabla A12.3.2.b Valores indicativos del coeficiente de difusión de cloruros aparente obtenidos con la norma NT BUILD 492

Valores de $D_{app,c}(t_0)$ [ $10^{-12}$ (m <sup>2</sup> /s)]				
Tipo de conglomerante	relación $(a/c)_{eq}^{(*)}$			
	0,35	0,40	0,45	0,50
CEM I	-	8,9	10,0	15,8
CEM II/B-V, CEM I con adición de más del 22% de cenizas volantes	-	5,6	6,9	9,0
CEM I con adición de humo de sílice por encima del 5%	4,4	4,8	-	-
CEM III/B	-	1,4	1,9	2,8

(\*) La relación agua/conglomerante efectiva  $(a/c)_{eq}$  se obtendrá considerando tanto el contenido de clínker, como los de las adiciones, ponderados en este caso por sus correspondientes coeficientes de eficacia.

n coeficiente de envejecimiento que, a falta de valores experimentales, puede obtenerse de la tabla A12.3.2.c, para las clases de exposición XS2 y XS3:

Tabla A12.3.2.c Coeficiente de envejecimiento

Relación a/c	Tipo de cemento	Coeficiente de envejecimiento, $a$
Entre 0,40 y 0,50	CEM I	0,30
Otros casos		0,50

$k_e$  coeficiente que depende de la temperatura media ambiental,  $T_{real}$ , expresada en °C, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$k_e = e^{4800 \left( \frac{1}{293} - \frac{1}{273 + T_{real}} \right)}$$

### 3.2.1 Contenido límite de iones cloruro en el hormigón que provoca el inicio de la corrosión en la armadura

El autor del proyecto podrá considerar un contenido límite de ion cloruro  $C_{th}$  para las armaduras pasivas como el indicado, a título orientativo, en la tabla A12.3.2.1.a en función de la clase de exposición y referido al contenido de cemento.

Tabla A12.3.2.1.a Contenido límite de ion cloruro  $C_{th}$ 

Clase de exposición	$C_{th}$ [% sobre peso de cemento]
XS1	0,60
XS2	0,80
XS3	0,60
XD1	0,60
XD2	0,60
XD3	0,40

En el caso de armaduras activas, el valor límite del contenido de cloruros a la altura de la armadura de pretensado será  $C_{th,pret} = 0,30$  en el caso general y 0,20 en el caso de la clase XD3, expresado en porcentaje del peso de cemento.

## 4 Modelos para el período de propagación en elementos de hormigón

### 4.1 Tiempo de corrosión para la fisuración del recubrimiento

El tiempo transcurrido desde el inicio de la corrosión hasta la fisuración del recubrimiento, se puede obtener de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_{fis,corr} = \frac{P_{corr}}{v_{corr}} = \frac{80 \cdot c}{\emptyset \cdot v_{corr}}$$

donde:

$t_{fis,corr}$	tiempo desde el inicio de la corrosión hasta la fisuración de recubrimiento, en años
$P_{corr}$	penetración de corrosión límite, en $\mu\text{m}$
$c$	espesor del recubrimiento de hormigón, expresado en mm
$\emptyset$	diámetro de la armadura, expresado en mm
$v_{corr}$	velocidad de corrosión, expresado en $\mu\text{m/año}$ , de acuerdo con la tabla A12.4.1.

Tabla A12.4.1 Velocidad de corrosión

Clase de exposición			$v_{corr}$ ( $\mu\text{m/año}$ )
Ambiente normal	Seco o permanentemente húmedo	XC1	1
	Humedad alta	XC2	4
	Humedad moderada	XC3	2
	Ciclos humedad – secado	XC4	5
Ambiente marino	Expuesto a aerosoles marinos	XS1	20
	Sumergido permanentemente	XS2	4
	Zona de mareas o salpicaduras	XS3	50
Ambiente con sales fundentes	Humedad moderada	XD1	35
	Humedad alta	XD2	20
	Ciclos humedad - secado	XD3	35

#### 4.2 Tiempo de corrosión para una pérdida de diámetro inadmisibles en la armadura

El tiempo transcurrido desde el inicio de la corrosión hasta la pérdida de sección de armadura definida por un espesor  $\Delta\phi$ , se puede obtener de acuerdo con la siguiente expresión:

$$t_{secc,corr} = \frac{\Delta\phi_{lim}}{v_{corr}}$$

donde:

- $t_{secc,corr}$  tiempo desde el inicio de la corrosión hasta la pérdida de diámetro definido como inadmisibles en la armadura, en años
- $\Delta\phi_{lim}$  variación de diámetro debido a la corrosión de la armadura, que se considera inadmisibles, expresada en  $\mu\text{m}$
- $v_{corr}$  velocidad de corrosión, expresado en  $\mu\text{m/año}$ , de acuerdo con la tabla A12.4.1.

## ANEJO 13

### Ensayos previos y característicos del hormigón

### Contenidos del anejo

1. ENSAYOS PREVIOS.
2. ENSAYOS CARACTERÍSTICOS DE RESISTENCIA.
3. ENSAYOS CARACTERÍSTICOS DE DURABILIDAD.

## 1 Ensayos previos

Este tipo de ensayos no serán necesarios, salvo en aquellos casos en los que no haya experiencia previa que pueda justificarse documentalmente del empleo de hormigones con los materiales, dosificación y proceso de ejecución que estuvieran previstos en la obra concreta.

El objetivo de los ensayos previos es demostrar mediante ensayos, que se efectuarán sobre hormigones fabricados en laboratorio, que con los materiales, dosificación y proceso de ejecución previstos, es posible conseguir un hormigón que posea las condiciones de resistencia y durabilidad que se le exigen en el proyecto.

Para su realización, se fabricarán al menos cuatro series de probetas procedentes de amasadas distintas, de dos probetas cada una para su ensayo a 28 días de edad, por cada dosificación que se desee emplear en la obra, y operando de acuerdo a los métodos para la fabricación de probetas y para la realización de los ensayos de resistencia y de durabilidad recogidos en este Código.

En el caso de la resistencia a compresión, se deducirá a partir de los valores así obtenidos, un valor de la resistencia media en el laboratorio  $f_{cm}$ , que deberá ser lo suficientemente alta como para que sea razonable esperar que, con la dispersión que introducen los procesos de fabricación previstos para su empleo en la obra, la resistencia característica real en obra sea superior, con un margen suficiente, al valor de la resistencia característica especificada en el proyecto.

Los ensayos previos aportan información para estimar el valor medio de la propiedad estudiada, pero son insuficientes para establecer la distribución estadística que sigue el hormigón de la obra. Dado que las especificaciones de este Código, o las adicionales recogidas en el proyecto, no se refieren generalmente a valores medios, como es el caso de la resistencia, es necesario adoptar una serie de hipótesis que permitan tomar decisiones sobre la validez o no de las dosificaciones ensayadas.

Generalmente, se puede admitir una distribución de tipo gaussiano, con una desviación típica poblacional o coeficiente de variación, que debe ser función de los datos conocidos del control de producción de la instalación en la que se vaya a fabricar el hormigón. Obviando la variación que existe entre las poblaciones de hormigón de laboratorio y las fabricadas realmente para la obra, en el caso de la resistencia, puede exigirse al menos que:

$$\bar{x}_n \geq f_{ck} + 2\sigma$$

donde  $\bar{x}_n$  es la resistencia media de la muestra obtenida de los ensayos y  $f_{ck}$  es la resistencia característica especificada en el proyecto.

La desviación típica  $\sigma$  es un dato básico para poder realizar este tipo de estimaciones. Cuando no se conozca su valor correspondiente al tipo de instalación de fabricación que vaya a emplearse, puede suponerse en una primera aproximación que:

$$\sigma = 4 \text{ N/mm}^2$$

La fórmula anterior se corresponde con unas condiciones medias de dosificación en peso, con almacenamiento separado y diferenciado de todos los materiales componentes y corrección de la cantidad de agua por la humedad incorporada a los áridos donde, además, las básculas y los elementos de medida se comprueban periódicamente y existe un control (de recepción o en origen) de las materias primas.

## 2 Ensayos característicos de resistencia

Estos ensayos tienen por objeto comprobar antes del inicio de la obra, que las características resistentes del hormigón que se va a colocar en la obra no son inferiores a las previstas en el proyecto.

En el caso de hormigón preparado no son preceptivos, salvo cuando se fabrique por primera vez o cuando se cambie de suministrador de materias primas.

Los ensayos se llevarán a cabo a los 28 días de edad sobre probetas procedentes de  $n$  amasadas diferentes, como mínimo tres para cada tipo de hormigón que vaya a emplearse en la obra. Se enmoldarán dos probetas por amasada, que se fabricarán, conservarán y ensayarán de acuerdo con los métodos indicados en este Código.

Para la resistencia a compresión, se calculará el valor medio correspondiente a cada amasada a partir de los resultados individuales de rotura, lo que permite obtener una serie de  $n$  resultados medios:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$$

Para que la dirección facultativa acepte la dosificación y el proceso de ejecución correspondiente, a los efectos de resistencia, se deberá cumplir que:

$$\bar{x}_n - 0,97(x_n - x_1) \geq f_{ck}$$

En caso contrario, no se producirá la aceptación, debiendo el responsable de la central introducir las oportunas correcciones. Mientras tanto, se retrasará el comienzo del suministro del hormigón hasta que, como consecuencia de nuevos ensayos característicos, se llegue al establecimiento de una dosificación y un proceso de fabricación aceptable.

### 3 Ensayos característicos de durabilidad

Estos ensayos tienen por objeto comprobar, previamente al inicio de la obra, que las dosificaciones a emplear son conformes a los criterios de durabilidad establecidos en este Código. Quedan limitados a los ambientes XA, XS, XD, XF y XM. En el caso de que se fabrique el hormigón en obra, son preceptivos para estos ambientes y la dirección facultativa velará para que se efectúe su realización. En el caso de hormigón preparado, el fabricante lo hará constar en la declaración responsable conforme a lo indicado en los puntos 9 y 10 de las mismas según el apartado 1.1.6 del Anejo 4.

Se realizarán ensayos para cada una de las dosificaciones mencionadas en el párrafo anterior y cuyo empleo esté previsto en la obra, al objeto de caracterizarlas. Dichos ensayos serán, en su caso, los de determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión y contenido de aire ocluido. Asimismo, el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto o la dirección facultativa, podrán disponer la realización de otros ensayos para la determinación de características adicionales como, por ejemplo, la determinación de la velocidad de carbonatación o del coeficiente de difusión de iones cloruro cuando el proyecto incluya una estimación de la vida útil de la estructura, según el Anejo 12.

Previamente al inicio del suministro, se procederá a la realización de un ensayo en una amasada fabricada en la central con la misma dosificación que se vaya a emplear en la obra. Cada ensayo se realizará sobre tres probetas, en el caso de la determinación de la profundidad de penetración de agua y sobre dos tomas de una muestra, en el caso de la determinación del aire ocluido. La toma de muestras deberá realizarse en la misma instalación en la que va a fabricarse el hormigón durante la obra. La selección del momento para realizar la citada operación, así como la del laboratorio encargado de la fabricación, conservación y ensayo de estas probetas, deberán ser previamente acordadas por el responsable de la recepción del hormigón, el suministrador del mismo y, en su caso, el constructor o el prefabricador.

Los ensayos se realizarán conforme a lo establecido en el apartado 57.3.3 de este Código. Se elaborará un informe con los resultados obtenidos, donde se indicará además, la dosificación real empleada en el hormigón ensayado, así como la identificación de sus materias primas.

## ANEJO 14

### Tolerancias en elementos de hormigón

#### Contenidos del anejo

- 1 **ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE TOLERANCIAS.**
- 2 **TERMINOLOGÍA.**
- 3 **SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TOLERANCIAS.**
- 4 **PRINCIPIOS GENERALES.**
- 5 **DESVIACIONES ADMISIBLES.**
  - 5.1 **ARMADURAS.**
    - 5.1.1 *Armaduras pasivas.*
    - 5.1.2 *Armaduras activas.*
  - 5.2 **CIMENTACIONES.**
  - 5.3 **ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS CONSTRUIDAS *IN SITU*.**
  - 5.4 **ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN.**
    - 5.4.1 *Tolerancias de fabricación de elementos lineales.*
    - 5.4.2 *Tolerancias de fabricación de elementos superficiales.*
    - 5.4.3 *Desviaciones de montaje.*
  - 5.5 **NÚCLEOS, TORRES, CHIMENEAS, PILAS Y OTROS ELEMENTOS HORMIGONADOS CON ENCOFRADO DESLIZANTE.**
  - 5.6 **MUROS DE CONTENCIÓN Y MUROS DE SÓTANO.**
  - 5.7 **OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS.**
    - 5.7.1 *Canales.*
    - 5.7.2 *Alcantarillas, sifones, etc.*
  - 5.8 **PUENTES Y ESTRUCTURAS ANÁLOGAS HORMIGONADAS *IN SITU* (PARA PILAS DESLIZADAS VÉASE EL APARTADO 5.5).**
  - 5.9 **PAVIMENTOS Y ACERAS (NO APLICABLE A CARRETERAS).**
  - 5.10 **OBRAS CIVILES DE ELEMENTOS DE GRAN ESPESOR NO INCLUIDAS EN OTROS APARTADOS.**
- 6 **TOLERANCIAS APLICABLES PARA REDUCIR LOS COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES.**
  - 6.1 **ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS *IN SITU*.**
  - 6.2 **ELEMENTOS PREFABRICADOS.**

## 1 Especificaciones del sistema de tolerancias

El sistema de tolerancias que adopte el autor del proyecto debe quedar claramente establecido en el pliego de prescripciones técnicas particulares, bien por referencia a este anejo, bien completado o modificado según se estime oportuno.

## 2 Terminología

Se indica a continuación la terminología esencial.

- a) Alabeo. La desviación de la posición real de una esquina cualquiera de una cara de un elemento plano, respecto al plano definido por las otras tres esquinas (figura A14.2.a).

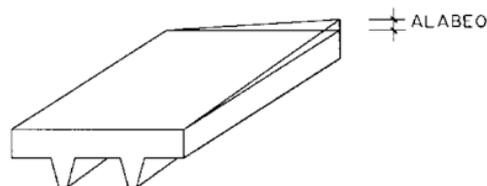


Figura A14.2.a

- b) Arqueo. La desviación de la posición de cualquier punto de la superficie real de un elemento teóricamente plano y la superficie plana básica (figura A14.2.b).

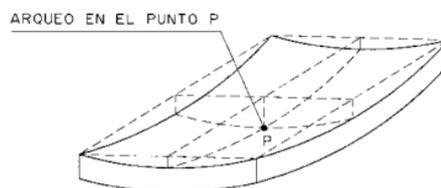
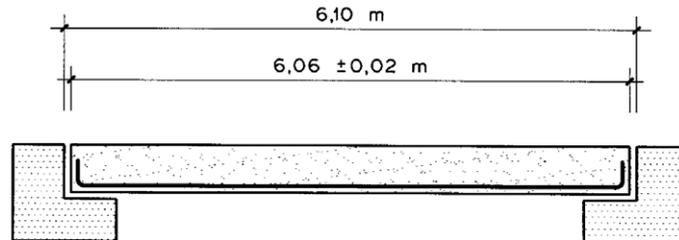


Figura A14.2.b

- c) Ceja. Resalto en la junta entre los bordes de dos piezas contiguas.
- d) Desplome. Ver j).
- e) Desviación. Diferencia entre la dimensión real o posición real y la dimensión básica o posición básica, respectivamente.
- f) Desviación admisible. Límite aceptado para la desviación, con su signo (figura A14.2.c).
- g) Desviación de nivel. La desviación vertical de la posición real de un punto, recta o plano, respecto a la posición básica de un plano horizontal de referencia.
- h) Desviación lateral. La desviación de la posición real de un punto o recta dentro de un plano horizontal, respecto a la posición básica de un punto o recta de referencia, situados en ese plano.
- i) Desviación relativa. La desviación entre las posiciones reales de dos elementos en un plano, o entre elementos adyacentes en una construcción, o la distancia de un punto, recta o plano a un elemento de referencia.

- j) Desviación de la vertical. La desviación entre la posición de un punto, línea o plano y la posición básica de una línea vertical o plano vertical de referencia. Cuando se aplica a muros o pilares se llama desplome.
- k) Dimensión básica o posición básica. Dimensión o posición que sirven de referencia para establecer los límites de desviación (figura A14.2.c).



LONGITUD BÁSICA	6,06 m
DESVIACIÓN ADMISIBLE	± 0,02 m
TOLERANCIA	0,04 m

Figura A14.2.c

- l) Planeidad. El grado en que una superficie se aproxima a un plano (figura A14.2.d).

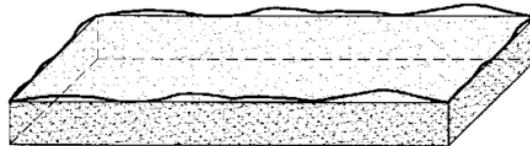


Figura A14.2.d

- m) Rectitud. El grado en que una línea se aproxima a una recta (figura A14.2.e).

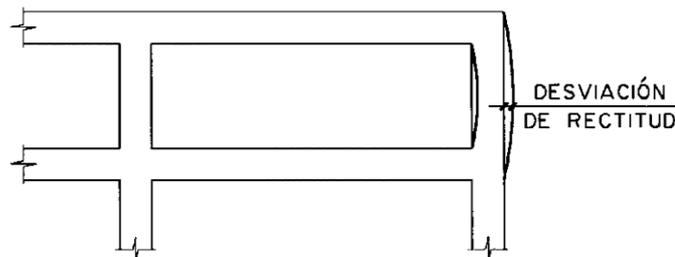


Figura A14.2.e

- n) Superficie no vista. La superficie de un elemento de hormigón destinada a ser revestida con tendidos, enfoscados, aplacados, etc., o que no va a ser observada por el usuario durante la vida útil de la construcción.
- ñ) Superficie vista. La superficie de un elemento de hormigón que no va a ser revestida, salvo con pinturas, y que va a ser observada por el usuario durante la vida útil de la construcción.
- o) Tolerancia. La diferencia entre los límites admisibles para las desviaciones de una dimensión o posición (figura A14.2.c). La tolerancia es un valor absoluto sin signo. Por ejemplo, para desviaciones admisibles de +30 mm y -20 mm, la tolerancia es 50 mm.

### 3 Selección del sistema de tolerancias

Conviene que las tolerancias adoptadas en un proyecto sean las más amplias compatibles con el funcionamiento adecuado de la construcción. No deben establecerse tolerancias cuya verificación no sea necesaria para dicho funcionamiento.

El sistema que se incluye en este anejo es adecuado para obras de hormigón de tipo usual. Para algunas desviaciones específicas se indican distintas desviaciones admisibles según tipos de uso o grados de acabado. De todas formas, su adaptación a cada proyecto concreto puede requerir alguna modificación puntual.

### 4 Principios generales

- a) Las tolerancias se aplican a las cotas indicadas en los planos. Deberá evitarse el doble dimensionamiento, pero en principio si a una dimensión o posición le corresponden varias tolerancias en el sistema descrito en este documento, se entiende que rige la más estricta salvo que se indique otra cosa.
- b) La construcción no debe en ningún caso traspasar los límites de propiedad, con independencia de las desviaciones que en este anejo se indican.
- c) En caso de dimensiones fraccionadas que forman parte de una dimensión total, las tolerancias deben interpretarse individualmente y no son acumulativas.
- d) Las comprobaciones deben realizarse antes de retirar apeos, puntales y cimbras en los elementos en que tal operación pueda producir deformaciones.
- e) El constructor debe mantener las referencias y marcas que permitan la medición de desviaciones durante el tiempo de ejecución de la obra.
- f) Los valores para las desviaciones admisibles deben elegirse dentro de la serie preferente 10, 12, 16, 20, 24 30, 40, 50, 60, 80, 100.
- g) Si se han respetado las tolerancias establecidas, la medición y abono de los elementos se hace a partir de las dimensiones básicas indicadas en los planos, es decir sin considerar las desviaciones ocurridas en la ejecución.
- h) Si las desviaciones indicadas en este documento son excedidas en la construcción y pudieran causar problemas en su uso, podrán aplicarse las penalizaciones económicas establecidas para ello en el pliego de condiciones del proyecto, pero la aceptación o rechazo de la parte de obra correspondiente debe basarse en el estudio de la trascendencia que tales desviaciones puedan tener sobre la seguridad, funcionalidad, durabilidad y aspecto de la construcción.

### 5 Desviaciones admisibles

Se indican siempre en mm.

#### 5.1. Armaduras

##### 5.1.1. Armaduras pasivas

- a) Para las longitudes de corte y barras dobladas:

Para  $L \leq 6.000$  mm

$\Delta = -20$ mm y  $+50$ mm

Para  $L > 6.000$  mm

$$\Delta = -30\text{mm y } +50\text{mm}$$

donde  $L$  indica la longitud recta de las barras de la armadura pasiva.

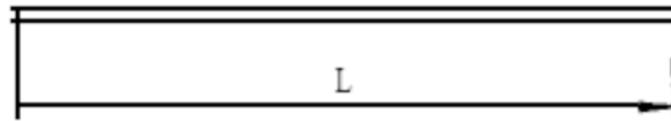


Figura A14.5.1.1.a1

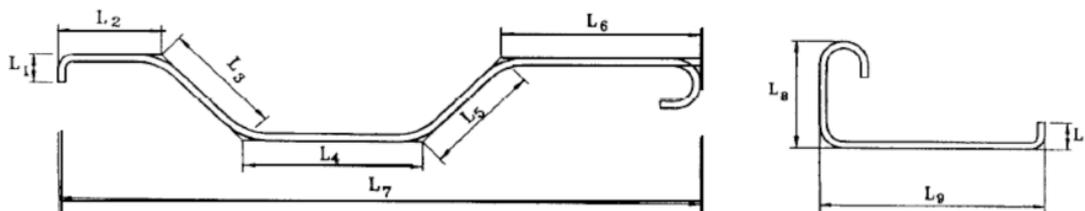


Figura A14.5.1.1.a2

Asimismo, deberán garantizarse siempre el recubrimiento mínimo de hormigón definido en el proyecto y las longitudes de solape de este Código, pudiéndose superar la tolerancia de +50 mm.

b) Para estribos y cercos:

Para  $\varnothing \leq 25\text{ mm}$

$$\Delta L = \pm 16\text{mm}$$

Para  $\varnothing > 25\text{ mm}$

$$\Delta L = -24\text{mm y } +20\text{mm}$$

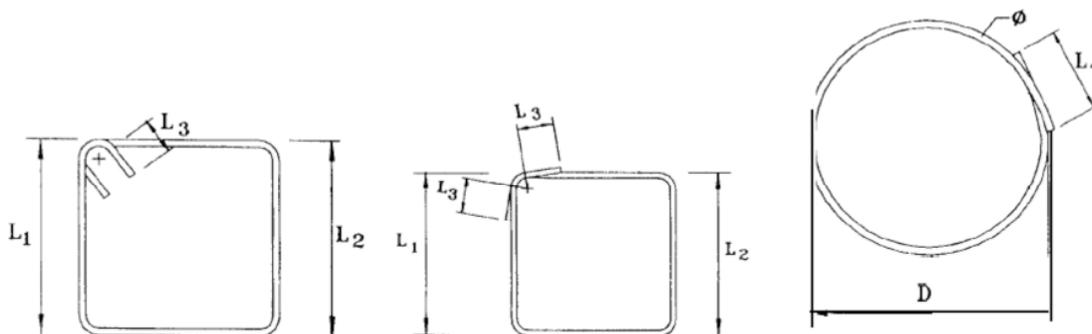


Figura A14.5.1.1.b

donde  $L$  indica la longitud según la figura A14.5.1.1.b.

$$\text{Así mismo, } |L_1 - L_2| \leq 10\text{mm}$$

c) Para la posición básica del eje, en series de barras paralelas, en muros, losas, zapatas, etc.:

$$\Delta = \pm 50\text{mm y el número total de barras nunca debe ser inferior al especificado.}$$

d) Para la posición básica de estribos y cercos:

$$\Delta = \pm b/12\text{ mm}$$

siendo  $b$  el lado menor de la sección rectangular del pilar o el canto o el ancho de la viga.

Así mismo, nunca podrá disminuirse el número total de estribos y cercos por tramo del elemento estructural al que pertenezcan.

- e) Para los ángulos de doblado de ganchos, patillas, ganchos en U y otras barras curvadas:

$$\Delta = \pm 5^\circ \text{ respecto al ángulo indicado en el proyecto}$$

Así mismo, siempre deberá garantizarse el recubrimiento mínimo de hormigón definido en el proyecto y las longitudes de solape de este Código.

### 5.1.2. Armaduras activas

- a) Para la posición de los tendones de pretensado, en comparación con la posición definida en proyecto:

Para  $l \leq 200 \text{ mm}$

Para tendones que sean parte de un cable, tendones simples y cordones:  $\Delta = \pm 0,025l$

Para  $l > 200 \text{ mm}$

Para tendones que sean parte de un cable y para tendones simples:  
 $\Delta = \pm 0,025l$  o  $\Delta = \pm 20 \text{ mm}$  (lo que sea mayor).

Para cordones:  $\Delta = \pm 0,04l$  o  $\Delta = \pm 30 \text{ mm}$  (lo que sea mayor).

donde  $l$  indica el canto o anchura de la sección transversal.

- b) Se pueden utilizar otras tolerancias distintas de las definidas en el párrafo a) si se demuestra que no reducen el nivel requerido de seguridad.
- c) Tolerancias para el recubrimiento del hormigón. La desviación del recubrimiento no excederá los valores:

$\pm 5 \text{ mm}$  en elementos prefabricados

$\pm 10 \text{ mm}$  en elementos hormigonados *in situ*.

### 5.2. Cimentaciones

- a) Variación en planta del centro de gravedad de cimientos aislados (figura A14.5.2.a)

2% de la dimensión del cimiento en la dirección correspondiente, sin exceder de  $\pm 50 \text{ mm}$ .

- b) Niveles:

Cara superior del hormigón de limpieza:

+20 mm

-50 mm

Cara superior del cimiento:

+20 mm

-50 mm

Espesor del hormigón de limpieza:

-30 mm

c) Dimensiones en planta (a<sub>1</sub>-a o b<sub>1</sub>-b) (figura A14.5.2.b)

Cimientos encofrados:

+40 mm

-20 mm

Cimientos hormigonados contra el terreno:

Dimensión no superior a 1 m:

+80 mm

-20 mm

Dimensión superior a 1 m pero no superior a 2,5 m:

+120 mm

-20 mm

Dimensión superior a 2,5 m:

+200 mm

-20 mm

## d) Dimensiones de la sección transversal (como mínimo las establecidas en el apartado 5.3.d)

+5%  $\nlessgtr$  120 mm-5%  $\nlessgtr$  20 mm

## e) Planeidad:

Desviaciones medidas después de endurecido y antes de 72 horas desde el vertido del hormigón, con regla de 2 m colocada en cualquier parte de la cara superior del cimiento y apoyada sobre dos puntos cualesquiera (no es aplicable a elementos de dimensión inferior a 2 m).

Del hormigón de limpieza:

±16 mm

De la cara superior del cimiento:

±16 mm

De caras laterales (solo para cimientos encofrados):

±16 mm

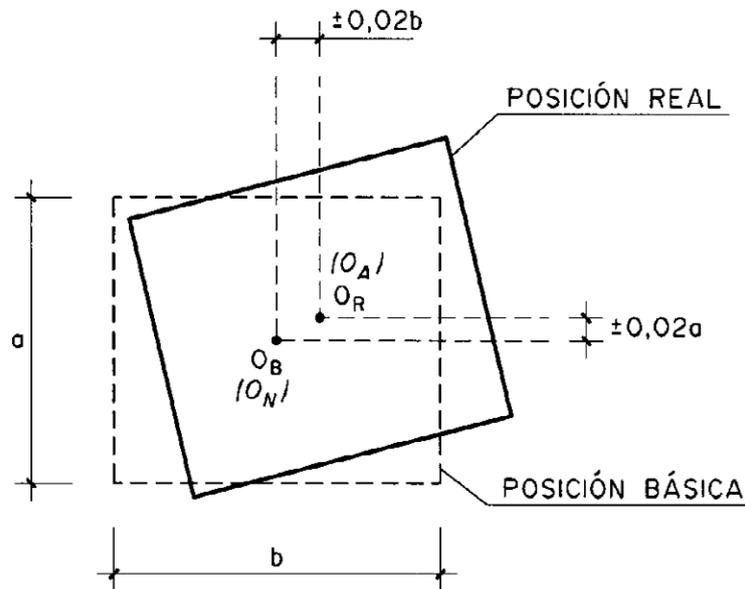


Figura A14.5.2.a

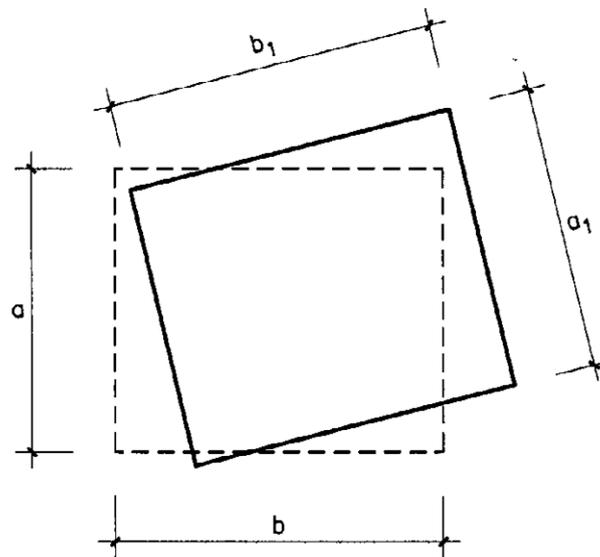


Figura A14.5.2.b

### 5.3. Elementos de estructuras de edificios construidas *in situ*

#### a) Desviación de la vertical:

Siendo  $H$  la altura del punto considerado respecto al plano horizontal que se tome como referencia.

#### a-1) Líneas y superficies en general ( $\Delta$ en mm para $H$ en m):

$H \leq 6$ m	$\Delta = \pm 24$ mm	
$6 \text{ m} < H \leq 30$ m	$\Delta = \pm 4H$	$\nabla \pm 50$ mm

$$H \geq 30 \text{ m} \quad \Delta = \pm 5H/3 \quad \not\leq \pm 150 \text{ mm}$$

a-2) Arista exterior de pilares de esquina vistos, y juntas verticales de dilatación vistas ( $\Delta$  en mm para H en m)

$$H \leq 6 \text{ m} \quad \Delta = \pm 12 \text{ mm}$$

$$6 \text{ m} < H \leq 30 \text{ m} \quad \Delta = \pm 2H \quad \not\leq \pm 24 \text{ mm}$$

$$H \geq 30 \text{ m} \quad \Delta = \pm 4H/5 \quad \not\leq \pm 80 \text{ mm}$$

b) Desviaciones laterales:

Piezas en general:

$$\Delta = \pm 24 \text{ mm}$$

Huecos en losas y forjados. Desviación del centro para huecos de dimensión en la dirección considerada hasta 30 cm:

$$\Delta = \pm 12 \text{ mm}$$

Huecos en losas de forjados. Desviación de los bordes para huecos de dimensiones en la dirección considerada superiores a 30 cm:

$$\Delta = \pm 12 \text{ mm}$$

Juntas en general:

$$\Delta = \pm 16 \text{ mm}$$

c) Desviaciones de nivel:

c-1) Cara superior de losas:

c-1.1) Cara superior de losas de pavimento:

$$\pm 20 \text{ mm}$$

c-1.2) Cara superior de losas y forjados, antes de retirar puntales:

$$\pm 20 \text{ mm}$$

c-1.3) Cara inferior encofrada de piezas, antes de retirar puntales:

$$\pm 20 \text{ mm}$$

c-1.4) Dinteles, parapetos y acanaladuras así como resaltos horizontales vistos:

$$\pm 12 \text{ mm}$$

d) Dimensiones de la sección transversal:

Escuadría de vigas, pilares, pilas, canto de losas y forjados y espesor de muros (dimensión  $D$ ):

$$D \leq 30 \text{ cm}$$

$$+10 \text{ mm}$$

$$-8 \text{ mm}$$

$$30 \text{ cm} < D \leq 100 \text{ cm}$$

$$+12 \text{ mm}$$

$$-10 \text{ mm}$$

$$100 \text{ cm} < D$$

+24 mm

-20 mm

e) Desviación relativa.

e-1) Escaleras (aplicable a escaleras en que el peldañado se realiza con el propio hormigón, sin material de revestimiento).

Diferencia de altura entre contrahuellas consecutivas:

3 mm

Diferencia de ancho entre huellas consecutivas:

6 mm

e-2) Acanaladuras y resaltos.

Ancho básico inferior a 50 mm:

±3 mm

Ancho básico entre 50 y 300 mm:

±6 mm

e-3) Desviaciones de cara encofrada de elementos respecto al plano teórico, en 3 m.

e-3.1) Desviación de la vertical de aristas exteriores de pilares vistos y juntas en hormigón visto:

±6 mm

e-3.2) Restantes elementos:

± 10 mm

e-4) Desviación relativa entre paneles consecutivos de encofrados de elementos superficiales (debe seleccionarse la Clase correspondiente en el proyecto).

Superficie Clase A

±3 mm

Superficie Clase B

±6 mm

Superficie Clase C

±12 mm

Superficie Clase D

±24 mm

e-5) Planeidad de acabado de losas de pavimentos y losas y forjados de piso.

Desviación vertical medida con regla de 3 m colocada en cualquier parte de la losa o forjado y apoyada sobre dos puntos, antes de retirar los puntales, después de endurecido el hormigón y dentro de las primeras 72 h a partir del vertido.

Acabado superficial:

Llaneado mecánico (tipo helicóptero)

±12 mm

Maestreado con regla

±8 mm

Liso

±5 mm

Muy liso

±3 mm

En cuanto a la planeidad de acabado, no deben especificarse tolerancias para losas y forjados de piso no cimbrados ya que la retracción y las flechas pueden afectar de forma importante a la medida de las desviaciones.

El método de la regla es muy imperfecto y hoy va siendo sustituido por la evaluación estadística de medidas de planeidad y de nivelación.

f) Aberturas en elementos.

f-1) Dimensiones de la sección transversal:

+24 mm

-6 mm

f-2) Situación del centro:

±12 mm

#### 5.4. Elementos prefabricados de hormigón

Con carácter general, para los elementos prefabricados que tengan marcado CE, las tolerancias exigibles serán las establecidas en la correspondiente norma europea armonizada de producto. Las tolerancias establecidas en los apartados 5.4.1, 5.4.2 y 5.4.3 de este anejo solo tienen aplicación en el caso de elementos que no dispongan del marcado CE.

##### 5.4.1. Tolerancias de fabricación de elementos lineales

a) Longitud de pieza,  $L$ :

±0,001  $L$

Con un mínimo de 5 mm para longitudes hasta 1 m y 20 mm para longitudes mayores.

b) Dimensiones transversales,  $D$ :

$D \leq 150$  mm

±3 mm

$150 \text{ mm} < D \leq 500$  mm

±5 mm

$500 \text{ mm} < D \leq 1.000$  mm

±6 mm

$D > 1000$  mm

±10 mm

c) Flecha lateral medida respecto al plano vertical que contiene al eje de la pieza no será superior a  $L/750$ . Además, en función de la luz  $L$ , deberán cumplir:

$L \leq 6$  m

±6 mm

6 m <math>L \leq 12\text{ m}</math>

$\pm 10\text{ mm}$

$L > 12\text{ m}$

$\pm 12\text{ mm}$

- d) Desviación de la contraflecha respecto al valor básico de proyecto, medida en el momento del montaje:

Piezas en general:

$\pm \frac{L}{750}$  con un valor límite de 16 mm

Piezas consecutivas en la colocación:

$\pm \frac{L}{1.000}$  con un valor límite de 12 mm

donde  $L$  es la longitud de la pieza. La segunda condición solo rige si la desviación afecta al aspecto estético.

- e) Planeidad de la superficie de la cara superior. Desviación medida con regla de 3 m colocada en dos puntos cualesquiera, en el momento del montaje.

e-1) Si no han de recibir encima losa superior de hormigón *in situ*:

$\pm 6\text{ mm}$

e-2) Si han de recibir encima losa superior de hormigón *in situ*:

$\pm 12\text{ mm}$

#### 5.4.2. Tolerancias de fabricación de elementos superficiales

- a) Longitud, siendo  $L$  la dimensión básica:

$L \leq 6\text{ m}$

$\pm 8\text{ mm}$

6 m <math>L \leq 12\text{ m}</math>

+12 mm

-16 mm

$L > 12\text{ m}$

+16 mm

-20 mm

- b) Desviaciones en las dimensiones de la sección transversal ( $D$ ):

$D \leq 60\text{ cm}$

$\pm 6\text{ mm}$

60 cm <math>D \leq 100\text{ cm}</math>

$\pm 8\text{ mm}$

$D > 100\text{ cm}$

$\pm 10\text{ mm}$

## c) Aberturas en paneles:

Dimensiones en la abertura:

 $\pm 6$  mm

Posición de las líneas centrales de la abertura

 $\pm 6$  mm

## d) Elementos embebidos:

Tornillos:

 $\pm 6$  mm

Placas soldadas:

 $\pm 24$  mm

Anclajes:

 $\pm 12$  mm

## e) Alabeo medido en el momento del montaje:

 $\pm 5$  mm por metro de distancia a la más próxima de las esquinas adyacentes, pero no más de  $\pm 24$  mm.f) Arqueo (siendo  $D$  la longitud de la diagonal de la pieza): $\pm 0,003D$  con un valor límite de 24 mm**5.4.3. Desviaciones de montaje**

a) Desviaciones respecto a la vertical: rige el apartado 5.3.a.

b) Desviaciones laterales: rige el apartado 5.3.b.

c) Desviaciones de nivel: rige el apartado 5.3.c.

d) Desviaciones en muros de paneles:

d-1) Ancho de junta en paneles vistos:

 $\pm 6$  mm

d-2) Variación de ancho a lo largo de la junta entre dos paneles vistos:

 $\pm 2$  mm por metro y como mínimo  $\pm 1,5$  mm entre dos puntos cualesquiera a lo largo de la junta, sin exceder en ningún caso  $\pm 6$  mm

d-3) Cejas entre dos paneles adyacentes:

si  $L \leq 6$  m  $\pm 6$  mmsi  $6 \text{ m} < L \leq 9$  m  $\pm 12$  mmsi  $9 \text{ m} < L \leq 12$  m  $\pm 24$  mm

e) Desviación de nivel entre bordes de caras superiores de piezas adyacentes

e-1) Si llevan losa superior

 $\pm 16$  mm

e-2) Si no llevan losa superior

 $\pm 6$  mm

- e-3) Piezas de cubierta sin losa superior  
±16 mm
- e-4) Elementos con funciones de guías o maestras  
±2 mm
- f) Colocación de viguetas resistentes y semirresistentes en forjados:
- f-1) Desviación del apoyo de bovedilla en vigueta,  $d_1$  (figura A14.5.4.3.a):  
±5 mm con un valor límite de  $d_1/3$

medido respecto a la dimensión básica indicada en la autorización de uso.

En la práctica es más fácil controlar esta desviación admisible mediante el control de la desviación de la distancia entre ejes de viguetas, limitada a:

$$\pm 10 \text{ mm} \not> \pm \frac{2d_1}{3}$$

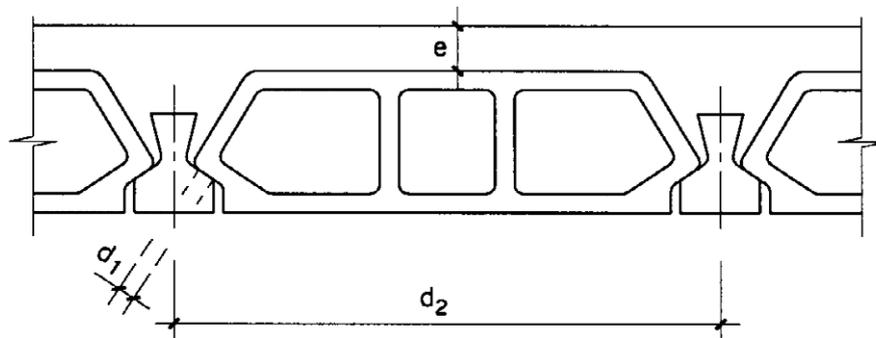


Figura A14.5.4.3.a

- f-2) Entregas de viguetas o armaduras salientes en vigas (figura A14.5.4.3.b):
- Vigas de borde (longitud  $L_1$ ):  
±15 mm
- Vigas interiores (longitud  $L_2$ ):  
±15 mm

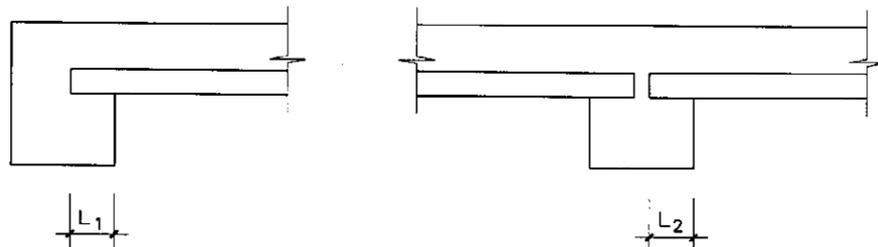


Figura A14.5.4.3.b

- f-3) Espesor de losa superior, medido sumergiendo un clavo en el hormigón fresco, en clave de bovedilla. La posición de la clave se determina tanteando con el clavo:  
-6 mm  
+10 mm

**5.5. Núcleos, torres, chimeneas, pilas y otros elementos hormigonados con encofrado deslizante**

- a) Desviación de la vertical. Corrimiento horizontal respecto a la posición básica de cualquier punto de referencia en la base del elemento, en función de la altura  $H$ :

$$H \leq 30 \text{ m} \quad \Delta = \pm 1,5H \quad \text{con un valor límite de 12 mm}$$

$$H > 30 \text{ m} \quad \Delta = \pm \frac{2}{5} H \quad \text{con un valor límite de 100 mm}$$

Donde  $\Delta$  en mm y  $H$  en m.

- b) Desviación lateral entre elementos adyacentes:

$$\pm 50 \text{ mm}$$

- c) Espesor de muros y paredes:

Espesor no superior a 25 cm:

$$+12 \text{ mm}$$

$$-10 \text{ mm}$$

Espesor superior a 25 cm:

$$+16 \text{ mm}$$

$$-10 \text{ mm}$$

- d) Desviación relativa de superficies planas encofradas:

Pueden desviarse de la posición plana básica sin exceder  $\pm 6$  mm en 3 m.

**5.6. Muros de contención y muros de sótano**

- a) Desviación de la vertical. Corrimiento horizontal de cualquier punto del alzado respecto a la posición básica de cualquier punto de referencia situado en la cara superior del cimiento, en función de la altura  $H$ :

$$H \leq 6 \text{ m}$$

Trasdós:

$$\pm 30 \text{ mm}$$

Intradós:

$$\pm 20 \text{ mm}$$

$$H > 6 \text{ m}$$

Trasdós:

$$\pm 40 \text{ mm}$$

Intradós:

$$\pm 24 \text{ mm}$$

- b) Espesor  $e$ :

$$e \leq 50 \text{ cm}$$

$$+16 \text{ mm}$$

$$-10 \text{ mm}$$

$e > 50$  cm

+20 mm

-16 mm

En muros hormigonados contra el terreno, la desviación máxima en más será de 40 mm.

c) Desviación relativa de las superficies planas de intradós o de trasdós:

Pueden desviarse de la posición plana básica sin exceder  $\pm 6$  mm en 3 m.

d) Desviación de nivel de la arista superior del intradós, en muros vistos:

$\pm 12$  mm

e) Tolerancia de acabado de la cara superior del alzado, en muros vistos:

$\pm 12$  mm con regla de 3 m apoyada en dos puntos cualesquiera, una vez endurecido el hormigón.

## 5.7. Obras hidráulicas y sanitarias

### 5.7.1. Canales

a) Desviación lateral:

Tramos rectos:

$\pm 50$  mm

Tramos curvos:

$\pm 100$  mm

b) Ancho de la sección a cualquier nivel, siendo  $B$  el ancho básico:

$\Delta = \pm(2,5B + 24)$  mm

Con  $\Delta$  en mm para  $B$  en metros.

c) Desviación de nivel:

c-1) Solera:

$\pm 12$  mm

c-2) Coronación de cajeros siendo  $H$  el calado total:

$\Delta = \pm(5H + 24)$  mm

Con  $\Delta$  en mm para  $H$  en metros.

d) Espesor  $e$  de soleras y cajeros:  $\pm e/10$ , siempre que se mantenga el valor básico determinado como media de las medidas en tres puntos cualesquiera distantes entre sí 10 m, a lo largo del canal.

### 5.7.2. Alcantarillas, sifones, etc.

a) Desviación lateral:

a-1) Línea del eje:

$\pm 24$  mm

a-2) Posición de puntos de la superficie interior, siendo  $D$  la dimensión interior máxima:

$\Delta = \pm 5D$  mm con un valor límite de 12 mm

con  $\Delta$  en mm para  $D$  en m.

b) Desviación de nivel:

b-1) Soleras o fondos:

$\pm 12$  mm

b-2) Superficies de cajeros:

$\pm 12$  mm

c) Dimensión e del espesor:

$e \leq 30$  cm

$+0,05e \leq 12$  mm

-8 mm

$e > 30$  cm

$+0,05e \leq 16$  mm

$-0,025e \leq -10$  mm

**5.8. Puentes y estructuras análogas hormigonadas in situ (para pilas deslizadas véase el apartado 5.5)**

a) Desviación de la vertical:

Superficies vistas:

$\pm 20$  mm

Superficies ocultas:

$\pm 40$  mm

b) Desviación lateral:

Eje:

$\pm 24$  mm

c) Desviación de nivel:

Cara superior de superficies de hormigón y molduras y acanaladuras horizontales:

Vistas:

$\pm 20$  mm

Ocultas:

$\pm 40$  mm

d) Planeidad del pavimento:

Dirección longitudinal:

3 mm con regla de 3 m apoyada sobre dos puntos cualesquiera, una vez endurecido el hormigón y antes de 72 horas de vertido.

Dirección transversal:

6 mm con regla de 3 m apoyada sobre dos puntos cualesquiera, una vez endurecido el hormigón y antes de 72 horas de vertido.

## e) Aceras y rampas:

En cualquier dirección:

6 mm con regla de 3 m apoyada sobre dos puntos cualesquiera, una vez endurecido el hormigón y antes de 72 horas de vertido.

## f) Dimensiones de la sección transversal:

f-1) Espesor  $e$  de la losa superior: $e \leq 25$  cm

+10 mm

-8 mm

 $e > 25$  cm

+12 mm

-10 mm

f-2) Dimensiones transversales,  $D$ , de pilas, vigas, muros, estribos, etc.: $D \leq 30$  cm

+10 mm

-8 mm

 $30\text{cm} < D \leq 100$  cm

+12 mm

-10 mm

 $D > 100$  cm

+16 mm

-12 mm

## f-3) Dimensiones de huecos en elementos de hormigón

 $\pm 12$  mm

## g) Desviación relativa:

## g-1) Posición de huecos en elementos de hormigón:

 $\pm 12$  mm

## g-2) Superficies planas encofradas respecto a la posición básica del plano. Desviaciones en 3 m:

Superficies vistas:

 $\pm 12$  mm

Superficies ocultas:

 $\pm 24$  mm

## g-3) Superficies no encofradas, aparte pavimentos y aceras, respecto a la posición básica del plano de referencia. Desviaciones:

En 3 m

 $\pm 6$  mm

En 6 m

±10 mm

### 5.9. Pavimentos y aceras (no aplicable a carreteras)

a) Desviaciones laterales:

a-1) Posición de pasadores. Desviación del eje:

±24 mm

a-2) Desviación de pasadores respecto al eje del pavimento (corrimiento del extremo del pasador en dirección de la junta):

±6 mm

b) Desviaciones de planeidad:

b-1) En dirección longitudinal:

3 mm con regla de 3 m apoyada sobre dos puntos cualesquiera, una vez endurecido el hormigón y antes de 72 horas de vertido.

b-2) En dirección transversal:

6 mm con regla de 3 m apoyada sobre dos puntos cualesquiera, una vez endurecido el hormigón y antes de 72 horas de vertido.

b-3) Aceras y rampas. En cualquier dirección:

6 mm con regla de 3 m apoyada sobre dos puntos cualesquiera, una vez endurecido el hormigón y antes de 72 horas de vertido.

### 5.10. Obras civiles de elementos de gran espesor no incluidas en otros apartados

a) Desviación de la vertical:

Superficies vistas:

±30 mm

Superficies ocultas:

±50 mm

b) Desviación lateral:

Superficies vistas:

±30 mm

Superficies ocultas:

±50 mm

c) Desviación de nivel:

Superficies vistas, fratasadas o encofradas:

±12 mm

Superficies ocultas, fratasadas o encofradas:

±24 mm

d) Desviación relativa:

d-1) Superficies planas encofradas respecto a la posición básica del plano. Desviaciones en 3 m:

Superficies vistas:

±12 mm

Superficies ocultas:

±24 mm

d-2) Superficies no encofradas, aparte pavimentos y aceras, respecto a la posición básica del plano de referencia. Desviaciones:

En 3 m:

±6 mm

En 6 m:

±10 mm

## 6 Tolerancias aplicables para reducir los coeficientes parciales de seguridad de los materiales

### 6.1. Estructuras construidas in situ

De acuerdo con los criterios definidos en el Anejo 19 podrá reducirse el coeficiente parcial de seguridad del acero al valor que figura en dicho apartado, siempre que se asegure que la desviación geométrica de la posición de la armadura ( $\Delta c$ ) está dentro de los límites de la tabla A14.6.1.a.

Tabla A14.6.1.a Límite de la desviación en la posición de las armaduras

Dimensión $h$ o $b$ (mm)	Posición de la armadura $\pm\Delta c$ (mm)
$\leq 150$	5
400	10
$\geq 2.500$	20

Nota 1: Los valores intermedios se podrán obtener por interpolación lineal.

Nota 2:  $\Delta c$  se refiere al valor medio obtenido para las armaduras pasivas o para los tendones de pretensado en la sección transversal o en una anchura de 1,0 m para el caso de losas o muros.

Asimismo, de acuerdo con los criterios definidos en el Anejo 19, podrá reducirse el coeficiente parcial de seguridad del hormigón, siempre que se asegure que las desviaciones geométricas de la sección transversal ( $\Delta h$ ,  $\Delta b$ ) respecto de las dimensiones nominales están dentro de los límites de la tabla A14.6.1.b.

Tabla A14.6.1.b Límite de las desviaciones geométricas de la sección resistente

Dimensión $h$ o $b$ (mm)	Sección transversal $\pm\Delta h$ , $\Delta b$ (mm)
$\leq 150$	5
400	10

$\geq 2.500$	30
--------------	----

Nota 1: Los valores intermedios se podrán obtener por interpolación lineal.

## 6.2. Elementos prefabricados

Las reglas establecidas en el apartado 6.1 de este anejo para estructuras construidas in situ son también aplicables para elementos prefabricados según se ha definido con anterioridad.

En el caso particular de elementos prefabricados, puede reducirse el coeficiente parcial de seguridad del hormigón tal y como se establece en el Anejo 19, si el cálculo de la capacidad resistente de la sección se realiza utilizando, o bien los valores reales medidos en la estructura ya terminada, o una sección resistente reducida con unas dimensiones geométricas críticas obtenidas a partir de los valores nominales reducidos por las desviaciones recogidas en el apartado 6.1 de este anejo.

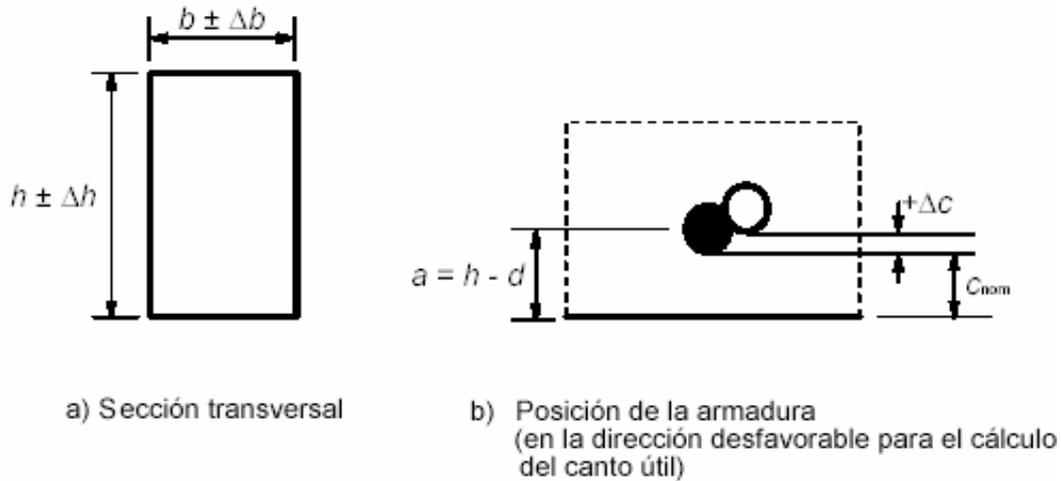


Figura A14.6.2 Sección resistente reducida

## ANEJO 15

### Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección en la ejecución de estructuras de hormigón

#### Contenidos del anejo

- 1 INTRODUCCIÓN.
- 2 FRECUENCIAS DE COMPROBACIÓN DE LAS UNIDADES DE INSPECCIÓN.
  - 2.1 FRECUENCIAS DE COMPROBACIÓN EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE EJECUCIÓN.
  - 2.2 FRECUENCIAS DE COMPROBACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ELEMENTO.

## 1 Introducción

La dirección facultativa llevará a cabo el control de la ejecución de las estructuras de hormigón, mediante una de las dos opciones admitidas en el Artículo 17 de este Código.

En la opción A, el control de la ejecución lo realizará la propia dirección facultativa, asistida en su caso por un agente de control independiente que desarrolle su actividad para la dirección facultativa.

En la opción B, el control de la ejecución de cada lote y unidad de inspección lo realizará el constructor, y la dirección facultativa, asistida o no por un agente de control independiente, realizará un control de contraste del control del constructor.

En este anejo se incluye, de forma orientativa, las frecuencias de comprobación para las diferentes unidades de inspección definidas en el apartado 63.2 de este Código. Estas frecuencias deberán 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 anejo.

## 2 Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección

En el caso que el control de la ejecución se organice según la opción B definida en el Artículo 17 de este Código, para cada proceso o actividad de ejecución incluido en un lote, el control del constructor (definido en las tablas siguientes simplemente como control) desarrollará el control de la ejecución con unas frecuencias mínimas de comprobación obtenidas en función del número de unidades de inspección, del nivel control de la ejecución (normal o intenso) y la clase de ejecución, de acuerdo con lo indicado en las tablas A15.2.1, A15.2.2.a y A15.2.2.b Por su parte, la dirección facultativa podrá desarrollar adicionalmente un control de contraste, mediante la realización de comprobaciones cuyo número será también función del número de unidades de inspección, del nivel de control y la clase de ejecución, de acuerdo con los criterios de las citadas tablas.

En el caso que el control de la ejecución se organice mediante la opción A definida en el Artículo 17 de este Código, el control lo realizará la dirección facultativa en los términos descritos en dicho artículo, y por lo tanto no será necesario que la propia dirección facultativa realice controles de contraste adicionales.

### 2.1 Frecuencias de comprobación en función del proceso de ejecución

Tabla A15.2.1 Frecuencias de comprobación para los procesos de ejecución incluidos en la tabla 63.2.a de este Código.

Proceso de ejecución	Número mínimo de unidades de inspección a controlar para la aceptación de cada lote de ejecución			
	Nivel de control normal (acorde con el apartado 22.4)		Nivel de control intenso (acorde con el apartado 22.4)	
	Control <sup>(1)</sup>	Control de contraste <sup>(2)</sup>	Control <sup>(1)</sup>	Control de contraste <sup>(2)</sup>
Control de la gestión de acopios	100%	3	100%	20%, con un mínimo de 3
Replanteos	2	1	100%	20%
Cimbras	1	1	100%	50%

Proceso de ejecución	Número mínimo de unidades de inspección a controlar para la aceptación de cada lote de ejecución			
	Nivel de control normal (acorde con el apartado 22.4)		Nivel de control intenso (acorde con el apartado 22.4)	
	Control <sup>(1)</sup>	Control de contraste <sup>(2)</sup>	Control <sup>(1)</sup>	Control de contraste <sup>(2)</sup>
Despiece de planos de armaduras diseñadas según proyecto	1	1	1	1
Elaboración de las armaduras, mediante atado o soldadura no resistente (incluyendo procesos de enderezado, corte, doblado y armado, en su caso)	2	1	5	1
Descimbrado	1	1	3	2
Uniones de los prefabricados	3	1	5	1

- (1) Control = Control del constructor en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código ó Control de la dirección facultativa en la opción A de control definida en el Artículo 17 de este Código.
- (2) Control de contraste de la dirección facultativa, solo en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código.

## 2.2 Frecuencias de comprobación en función del tipo de elemento

Tabla A15.2.2.a Frecuencias de comprobación para un nivel de control intenso de las unidades de inspección en función del tipo de elemento definidas en la tabla 63.2.b de este Código

Nivel de control intenso												
Tipo de elemento	Procesos de ejecución											
	Montaje de armaduras pasivas		Operaciones de pretensado		Vertido y compactación		Encofrado y desencofrado		Curado		Acabado	
	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>
Elementos de cimentación con volúmenes inferiores a los 350 m <sup>3</sup>	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%
Elementos de cimentación con volúmenes superiores a los 350 m <sup>3</sup>	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%
Alzados de pilares y muros en edificación	25	5	100%	100%	5	2	3	1	5	2	5	2
Alzados de pilas, estribos y muros en el caso de puentes	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%
Pila hormigonada con encofrados trepantes	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%

Nivel de control intenso												
Tipo de elemento	Procesos de ejecución											
	Montaje de armaduras pasivas		Operaciones de pretensado		Vertido y compactación		Encofrado y desencofrado		Curado		Acabado	
	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)
Pila hormigonada con encofrados deslizantes	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%
Vigas, forjados y otros elementos trabajando a flexión en edificación Losa superior e inferior de marcos	100%	20%	100%	100%	10%	100%	50%	10%	20%	50%	100%	20%
Tableros en general	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%
Tableros ejecutados por fases	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%
Tableros ejecutados por dovelas	100%	20%	100%	100%	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	20%

- (1) C.: Control= Control del constructor en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código ó Control de la dirección facultativa en la opción A de control definida en el artículo 17 de este Código.
- (2) C.C: Control de contraste de la dirección facultativa, solo en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código.

Tabla A15.2.2.b Frecuencias de comprobación para un nivel de control normal de las unidades de inspección en función del tipo de elemento definidas en la tabla 63.2.b de este Código

Nivel de control normal											
Tipo de elemento	Procesos de ejecución										
	Montaje de armaduras pasivas		Vertido y compactación		Encofrado y desencofrado		Curado		Acabado		
	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	C.(1)	C.C.(2)	
Elementos de cimentación con volúmenes inferiores a los 350 m <sup>3</sup>	50%	10%	50%	10%	50%	10%	50%	10%	50%	10%	

Nivel de control normal										
Tipo de elemento	Procesos de ejecución									
	Montaje de armaduras pasivas		Vertido y compactación		Encofrado y desencofrado		Curado		Acabado	
	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>	C. <sup>(1)</sup>	C.C. <sup>(2)</sup>
Elementos de cimentación con volúmenes superiores a los 350 m <sup>3</sup>	50%	10%	50%	10%	50%	10%	50%	10%	50%	10%
Alzados de pilares y muros en edificación	15	3	3	1	1	1	3	1	3	1
Vigas, forjados y otros elementos trabajando a flexión en edificación  Losa superior e inferior de marcos	50%	10%	50%	10%	50%	10%	50%	10%	50%	10%

- (1) C.: Control= Control del constructor en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código ó Control de la dirección facultativa en la opción A de control definida en el Artículo 17 de este Código.
- (2) C.C: Control de contraste de la dirección facultativa, solo en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código.

En cualquier caso, en función de las características de la obra, la dirección facultativa podrá adaptar las frecuencias de comprobación que se indican en este apartado. Así, por ejemplo, en el caso de obras de ingeniería de pequeña envergadura, así como en obras de edificación sin especial complejidad estructural (formadas por vigas, pilares y forjados convencionales no pretensados, con luces de hasta 6,00 metros y un número de niveles de forjado no superior a diez), en las que se realice un nivel de control normal, la dirección facultativa podrá optar por modificar las frecuencias de comprobación aplicando la tabla A15.2.2.c en el que se indican las verificaciones mínimas a realizar en cada proceso de ejecución para la aceptación de cada lote.

Tabla A15.2.2.c Frecuencias de comprobación para un nivel de control normal: Opción simplificada.

Nivel de control normal		
Proceso de ejecución	Control <sup>(1)</sup>	Control de Contraste <sup>(2)</sup>
Control de la gestión de acopios	50 % del acopio correspondiente a cada material, forma de suministro, fabricante y partida	Acopio correspondiente a 2 materiales, forma de suministro, fabricante y partida
Replanteos	replanteos correspondientes a un 20% de cada planta o nivel a ejecutar	replanteos correspondientes a un 10% de cada planta o nivel a ejecutar
Cimbras	3000 m <sup>3</sup> de cimbra	3000 m <sup>3</sup> de cimbra
Despiece de planos de armaduras diseñadas según proyecto	Planillas correspondientes a una remesa de armaduras	Planillas correspondientes a una remesa de armaduras

Nivel de control normal		
Proceso de ejecución	Control <sup>(1)</sup>	Control de Contraste <sup>(2)</sup>
Elaboración de las armaduras, mediante atado o soldadura no resistente (incluyendo procesos de enderezado, corte, doblado y armado, en su caso)	2	1
Descimbrado	3000 m <sup>3</sup> de cimbra	3000 m <sup>3</sup> de cimbra
Uniones de los prefabricados	3	1
Encofrado y desencofrado	50% de los elementos (en muro se considerará un elemento cada 5 m de muro; en forjados 50 m <sup>2</sup> )	10% de los elementos (en muro se considerará un elemento cada 5 m de muro; en forjados 50 m <sup>2</sup> )
Montaje de armaduras pasivas	Montaje de las armaduras del 50% de los elementos. En el caso de pilares y muros, mínimo 15 elementos (en muro armadura correspondiente a 5 m de muro)	Montaje de las armaduras del 10% de los elementos. En el caso de pilares y muros, mínimo 3 elementos (en muro armadura correspondiente a 5 m de muro)
Vertido y compactación del hormigón	Hormigón correspondiente al 50% de los elementos (en muro vertido correspondiente a 5 m; en forjados, 50 m <sup>2</sup> )	Hormigón correspondiente al 10% de los elementos (en muro vertido correspondiente a 5 m; en forjados, 50 m <sup>2</sup> )
Curado	Superficie del 50% de los elementos (en muro se considerará un elemento cada 5 m de muro; en forjados, 50 m <sup>2</sup> )	Superficie del 10% de los elementos (en muro se considerará un elemento cada 5 m de muro; en forjados, 50 m <sup>2</sup> ).
Acabado	Superficie del 50% de los elementos (en muro se considerará un elemento cada 5 m; en forjados, 50 m <sup>2</sup> )	Superficie del 10% de los elementos (en muro se considerará un elemento cada 5 m; en forjados, 50 m <sup>2</sup> )

- (1) Control= Control del constructor en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código ó Control de la dirección facultativa en la opción A de control definida en el Artículo 17 de este Código.
- (2) Control de contraste de la dirección facultativa, solo en la opción B de control definida en el Artículo 17 de este Código.

## ANEJO 16

### Tolerancias en elementos de acero

## Contenidos del anejo

### 1. TOLERANCIAS.

- 1.1 TOLERANCIAS NORMALES. GENERALIDADES.
- 1.2 TOLERANCIAS NORMALES. FABRICACIÓN.
- 1.3 TOLERANCIAS NORMALES. MONTAJE.
  - 1.3.1 *Apoyos de contacto total.*
- 1.4 TOLERANCIAS NORMALES PARA PUENTES.
- 1.5 TOLERANCIAS ESPECIALES.

## 1. Tolerancias

Los elementos de acero fabricados en taller deberán tener marcado CE, y por lo tanto, sus tolerancias dimensionales deberán cumplir lo establecido en la norma armonizada UNE-EN 1090-1.

Para el resto de elementos, se deberá cumplir lo recogido en este anejo.

Las tolerancias se clasifican en:

- Tolerancias normales.
- Tolerancias especiales.

Las tolerancias normales son las que se especifican en este Anejo. Las desviaciones admitidas indicadas no deben ser superadas en ningún caso ya que comprometerían la resistencia y estabilidad de la estructura; tienen la consideración de tolerancias esenciales.

En las tablas que se incluyen más adelante se detallan, dentro del recuadro de las máximas desviaciones permitidas, otras más estrictas cuya observancia permite pasar de 1,05 a 1,00 los coeficientes parciales de resistencia  $\gamma_{M0}$  y  $\gamma_{M1}$  en el apartado 6.1(1) del Anejo 22.

Las tolerancias especiales son más severas y se aplican a aquellos casos en que hay que cumplir requisitos de ajuste, acabado, aspecto estético o condiciones de operación. En casos especiales de montaje o para aumentar la seguridad o la aptitud al servicio de servicio de los componentes estructurales, pueden ser necesarias tolerancias especiales.

En el pliego de prescripciones técnicas particulares se deberán indicar las tolerancias de proyecto. En el caso de tolerancias especiales es necesario explicitar a qué elementos se aplican.

### 1.1 Tolerancias normales. Generalidades

Las tolerancias normales quedan recogidas en las tablas de este anejo. Debe entenderse que se trata de requisitos para la aceptación final de la estructura; por lo tanto, los componentes prefabricados que se montan en obra tienen sus tolerancias de fabricación subordinadas a la comprobación final de la estructura ejecutada.

Si se superan los límites de desviación permitida (el valor de la tolerancia), se dará lugar a una no-conformidad a tratar según los Capítulos 5, 22, 23 y 24 de este Código.

Se admite la justificación de una desviación no corregida de tolerancias esenciales mediante recálculo de la estructura incluyendo explícitamente el valor de la desviación.

Las tolerancias sobre medidas o dimensiones y sobre la forma de productos planos de acero obtenidos por conformación en frío se indican en la norma UNE-EN 10131.

Las desviaciones permitidas para las secciones rectas de los componentes estructurales acabados en caliente serán las que se especifican en las normas siguientes UNE-EN 10024, UNE-EN 10034, UNE-EN 10051, UNE-EN 10056-2, UNE-EN 10079, UNE-EN 10279, UNE-EN 10029, UNE-EN 10210-2.

Las desviaciones permitidas para las secciones rectas de los componentes estructurales conformados en frío serán las que se especifican en la norma UNE-EN 10219-2.

### 1.2 Tolerancias normales. Fabricación

Cuando se añaden productos estándar a un componente se aplican las tolerancias más estrictas al conjunto. Cada producto individualmente debe cumplir con su propia norma aplicable:

- a) En el caso de secciones armadas soldando perfiles laminados, las propias del perfil.
- b) En perfiles conformados en frío es la norma UNE-EN 10162. Para fabricación en prensa aplica lo recogido en la tabla A16.1.2a.
- c) Componentes fabricados, en las tablas A16.1.2b y A16.1.2c.

- d) Las láminas de revolución de acuerdo con las clases de ejecución específicas para este tipo de estructuras (no contempladas en este Código), tienen tolerancias que se indican en el Anexo B de la norma UNE-EN 1090-2.
- e) Para la posición de agujeros para tornillos, tanto individualmente como en grupo, la desviación admisible es de 2 mm.
- f) Para chapas nervadas conformadas en frío, en la tabla A16.1.2d.

Tabla A.16.1.2a. Tolerancias de fabricación para perfiles conformados en frío

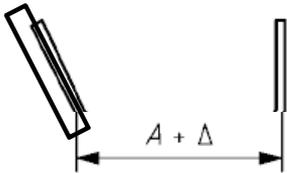
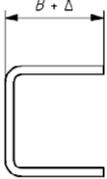
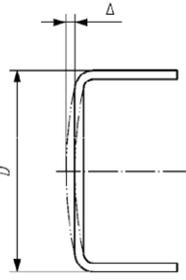
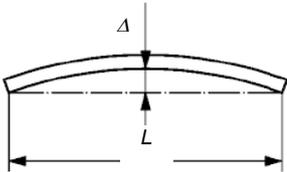
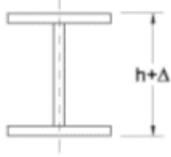
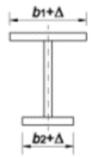
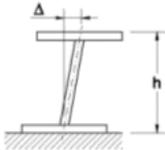
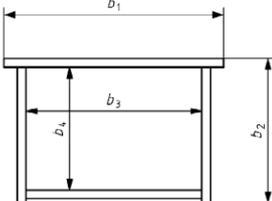
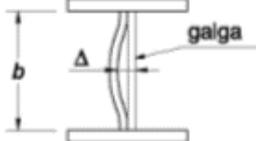
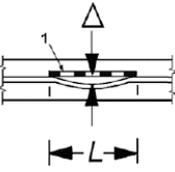
No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
1	<p>Anchura de elemento interior</p> 	Ancho A entre curvas	$-\Delta = A/50$ (obsérvese el signo negativo)  Desviación más estricta: $ \Delta  = A/80$
2	<p>Anchura de elemento exterior</p> 	Ancho B entre curva y un borde libre	$-\Delta = B/80$ (obsérvese el signo negativo)  Desviación más estricta: $ \Delta  = B/100$
3	<p>Planeidad</p> 	Desviación cóncava o convexa	$\Delta = D/50$  Desviación más estricta: $ \Delta  = D/80$
4	<p>Rectitud de componentes que se van a utilizar sin empotrar</p> 	Desviación $\Delta$ de la rectitud	$ \Delta  = L/750$  Desviación más estricta: $ \Delta  = L/1000$

Tabla A16.1.2b. Tolerancias de fabricación para perfiles armados

No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
1	Canto 	Canto total h:	$\Delta = -h/50$ (obsérvese el signo negativo)  Desviación más estricta : $\Delta = -h/100$
2	Anchura del ala 	Anchura $b = b_1$ o $b_2$	$\Delta = -b/100$ (obsérvese el signo negativo)  Desviación más estricta : $\Delta = -b/150$
3	Perpendicularidad en apoyos 	Verticalidad del alma en los pilares, para componentes sin rigidizadores de apoyo	$\Delta = \pm h/200$  pero $ \Delta  \geq t_w$ ( $t_w$ = espesor del alma)  Desviación más estricta:  $ \Delta  = h/300$
4	Dimensiones de la sección 	Dimensiones interiores o exteriores  donde $b = b_1, b_2, b_3$ o $b_4$	$-\Delta = b/100$ (obsérvese el signo negativo)  Desviación más estricta: $-\Delta = b/150$
5	Curvatura de la chapa 	Desviación $\Delta$ sobre la altura de la chapa b	$\Delta = \pm b/200$ si $b/t \leq 80$ $\Delta = \pm b^2/(1600 t)$ si $80 < b/t \leq 80$ $\Delta = \pm b/80$ si $b/t > 200$ pero $ \Delta  \geq t$  Desviación más estricta : $ \Delta  = b/150$
6	Deformación del alma 	Desviación $\Delta$ sobre la longitud de referencia L igual a la altura del alma b	$\Delta = \pm b/100$ pero $ \Delta  \geq t$ (t = espesor de la chapa)  Desviación más estricta : $ \Delta  = b/100$

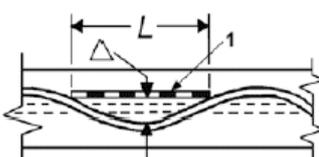
7	<p>Ondulación del alma</p> 	<p>Desviación <math>\Delta</math> sobre la longitud de referencia L igual a la altura del alma b</p>	<p><math>\Delta = \pm b/100</math></p> <p>pero <math> \Delta  \geq t</math> (t = espesor de la chapa)</p> <p>Desviación más estricta:</p> <p><math> \Delta  = b/150</math></p>
<p>NOTA: Las notaciones del tipo <math>\Delta = \pm b/100</math> pero <math> \Delta  \geq t</math> significan que debe adoptarse el mayor de los dos valores</p>			

Tabla A16.1.2.b (continuación). Tolerancias de fabricación para perfiles armados

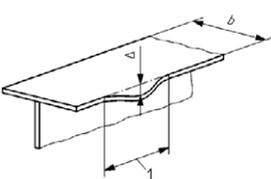
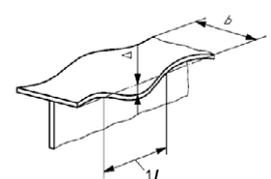
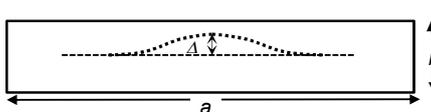
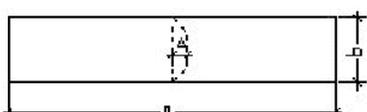
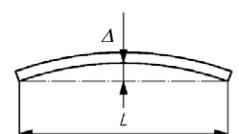
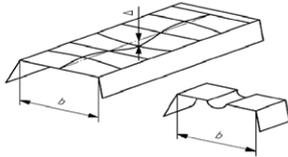
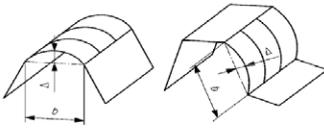
No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
8	<p>Deformación de ala de perfil en I</p> 	<p>Deformación <math>\Delta</math> sobre la longitud de referencia L, donde L = anchura de ala b</p>	<p><math>\Delta = \pm b/150</math> si <math>b/t \leq 20</math></p> <p><math>\Delta = \pm b^2/(3000t)</math> si <math>b/t &gt; 20</math> (t = espesor del ala)</p> <p>No se requiere desviación más estricta</p>
9	<p>Ondulación del ala en perfil en I</p> 	<p>Deformación <math>\Delta</math> sobre la longitud de referencia L, donde L = anchura de ala b</p>	<p><math>\Delta = \pm b/150</math> si <math>b/t \leq 20</math></p> <p><math>\Delta = \pm b^2/(3000t)</math> si <math>b/t &gt; 20</math> (t = espesor del ala)</p> <p>No se requiere desviación más estricta</p>
10	<p>Imperfecciones fuera de plano de paneles de chapa entre almas o rigidizadores, caso general</p> 	<p>Deformación <math>\Delta</math> perpendicular al plano de la chapa</p> <p>si <math>a \leq 2b</math></p> <p>si <math>a &gt; 2b</math></p>	<p><math>\Delta = \pm a/250</math></p> <p><math>\Delta = \pm b/125</math></p> <p>No se requiere desviación más estricta</p>
11	<p>Imperfecciones fuera de plano de paneles de chapa entre almas o rigidizadores (caso especial con compresión en la dirección transversal, se aplica el caso general salvo que se especifique este caso especial)</p> 	<p>Deformación <math>\Delta</math> perpendicular al plano de la chapa</p> <p>si <math>b \leq 2a</math></p> <p>si <math>b &gt; 2a</math></p>	<p><math>\Delta = \pm b/250</math></p> <p><math>\Delta = \pm a/125</math></p> <p>No se requiere desviación más estricta</p>
12	<p>Rectitud de componentes que se van a usar sin empotrar</p> 	<p>Desviación <math>\Delta</math> de la rectitud</p>	<p><math>\Delta = \pm L/750</math></p> <p>Desviación más estricta:</p> <p><math> \Delta  = L/1000</math></p>

Tabla A16.1.2.c Tolerancias de fabricación para paneles rigidizados

No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
		<p>Rigidizadores longitudinales</p>	
		<p>Rigidizadores transversales</p>	
1	Planeidad de rigidizadores longitudinales	Desviación $\Delta$ perpendicular a la chapa 	$ \Delta  = a/400$ Desviación más estricta: $a/500$
2		Desviación $\Delta$ paralela a la chapa 	$ \Delta  = a/400$ Desviación más estricta: $a/500$
3	Planeidad de rigidizadores transversales en paneles doblemente rigidizados	Desviación $\Delta$ a la chapa 	$ \Delta  = a/400$ $ \Delta  = b/400$ Desviación más estricta: $a/500$
4		Desviación $\Delta$ paralela a la chapa 	$ \Delta  = b/400$ Desviación más estricta: $a/500$
5	Alineación de vigas o rigidizadores transversales	Nivel con respecto a pórticos transversales adyacentes 	$ \Delta  = a/400$ Desviación más estricta: $a/500$

Tabla A16.1.2d Tolerancias de fabricación para chapas nervadas conformadas en frío

No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
1	Planicidad de ala o alma rigidizada o sin rigidizar 	Desviación $\Delta$ de la planicidad de un elemento nominalmente plano	$ \Delta  \leq b/50$ Desviación más estricta: $ \Delta  = b/80$
2	Curvatura de alma o ala 	Desviación $\Delta$ de la forma prevista de alma o de ala sobre la anchura de la curva b	$ \Delta  \leq b/50$ Desviación más estricta: $ \Delta  = b/80$

### 1.3 Tolerancias normales. Montaje

Las desviaciones de elementos montados deben medirse con relación a una red de puntos fijos previamente establecidos.

Para el centro de un grupo de pernos de anclaje u otro tipo de base de soporte no se permite una desviación superior a  $\pm 6$  mm.

El centro de un pilar o columna no puede desviarse más de  $\pm 5$  mm de su posición teórica en planta.

Es aconsejable disponer los agujeros para pernos en la placa base con suficiente holgura (rasgados o de mayor diámetro) para facilitar el cumplimiento de ese requisito. En ese caso, se deben usar arandelas mayores.

El nivel de las placas base no puede desviarse más de  $\pm 5$  mm.

Las tolerancias de montaje de pilares se dan en las tablas A16.1.3.a y A16.1.3.b.

La media aritmética de 6 pilares contiguos en un edificio de varias plantas debe cumplir lo recogido en la tabla A16.1.3.b en ambas direcciones (pórticos ortogonales).

En un grupo de 6 pilares que cumplan esa tolerancia se puede admitir una desviación individual de  $h/100$ .

La desviación entre líneas de pilares adyacentes estará dentro de la tolerancia de  $\pm 5$  mm de dimensión teórica.

Ese emparrillado teórico se replanteará antes de que se inicie el montaje.

Cuando esté previsto que los grupos de pernos vayan desplazados o desalineados de las líneas teóricas, la desviación de  $\pm 6$  mm se aplica a los desplazamientos con respecto a la cuadrícula de pilares establecida.

La longitud que sobresale de un perno de anclaje (en su posición de ajuste óptimo si es regulable) estará vertical hasta dentro de 1 mm en 20 mm. Un requisito similar se aplicará a un conjunto de pernos horizontales y a otros ángulos.

Los agujeros de las placas de asiento y de las placas de fijación se dimensionarán considerando holguras coherentes con las desviaciones admitidas para los pernos.

Los pilares adyacentes a los fosos de ascensores pueden requerir tolerancias especiales.

Tabla A16.1.3a Tolerancias de montaje de pilares en pórticos de una altura

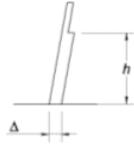
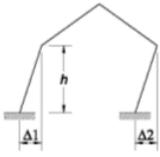
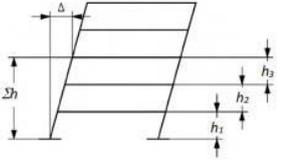
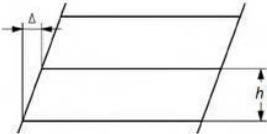
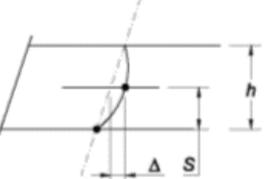
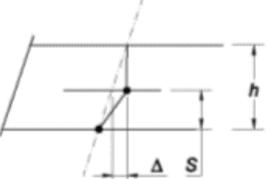
No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
1	<p>Inclinación de cualquier pilar que soporte un puente grúa</p> 	<p>Inclinación desde un nivel del suelo hasta el apoyo de la pluma de la grúa</p>	<p><math> \Delta  = h/1000</math></p> <p>No se requiere desviación más estricta</p>
2	<p>Inclinación de pilares de una sola planta en edificios porticados</p> 	<p>Inclinación media de todos los pilares en el mismo pórtico</p> <p>Para dos pilares: <math>\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2)/2</math></p>	<p><math> \Delta  = h/500</math></p> <p>No se requiere desviación más estricta</p>
3	<p>Inclinación de pilares de edificios de una sola planta</p> 	<p>Inclinación general en la altura de la planta h</p>	<p><math> \Delta  = h/300</math></p> <p>Desviación más estricta: <math> \Delta  = h/500</math></p>
4	<p>Rectitud de un pilar de una sola planta</p> 	<p>Localización del pilar en planta, con respecto a una línea recta entre puntos de posición en la parte superior y en la parte inferior:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- generalmente</li> <li>- secciones huecas estructurales</li> </ul>	<p><math> \Delta  = h/750</math></p> <p>Desviación más estricta: <math> \Delta  = h/1000</math></p>

Tabla A16.1.3b Tolerancias de montaje en pilares de pórticos de varias plantas

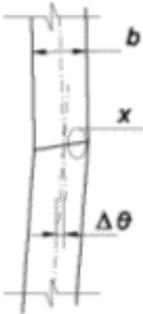
No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
1	Localización en cada nivel de planta, con relación al nivel de base 	Localización del pilar en planta a cualquier nivel de forjado con respecto a una línea vertical a través de su centro a nivel de base	$ \Delta  = \sum h / (300\sqrt{n})$  No se requiere desviación más estricta.
2	Inclinación de un pilar entre niveles de forjados adyacentes 	Localización del pilar en planta, con respecto a una línea vertical a través de su centro al nivel siguiente más bajo	$ \Delta  = h/500$  No se requiere desviación más estricta.
3	Rectitud de un pilar entre niveles de forjados adyacentes 	Localización del pilar en planta, con respecto a una línea recta entre puntos de posición a niveles de forjados adyacentes	$ \Delta  = h/750$  Desviación más estricta: $ \Delta  = h/1000$
4	Rectitud de un pilar empalmado entre niveles de forjados adyacentes 	Localización del pilar en planta en el empalme, con respecto a una línea recta entre puntos de posición a niveles de forjados adyacentes	$ \Delta  = s/750$ con $s \leq h/2$  Desviación más estricta: $ \Delta  = h/1000$

### 1.3.1 Apoyos de contacto total

Cuando se especifique un apoyo de contacto total, las superficies se dispondrán de tal modo que cuando el apoyo y las barras de contacto estén alineadas localmente dentro de una desviación angular de 1 sobre 1000, la holgura máxima entre las superficies de contacto no excederá de 1 mm localmente y tampoco excederá de 0,5 mm sobre los dos tercios, como mínimo, del área de contacto según se muestra en la tabla A16.1.3c.

Cuando la magnitud de la holgura supere los límites especificados, pero sea menor que 6 mm, podrán utilizarse cuñas o calzos para reducir dicha holgura a los límites de desviación admitida. Las cuñas estarán fabricadas a partir de llantas o pletinas de acero suave (de bajo contenido de carbono).

Tabla A16.1.3c Tolerancias de montaje para apoyos de contacto total

No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
1		Desalineación angular local $\Delta\theta$ que se produce al mismo tiempo que la distancia de separación $\Delta$ en el punto "X"	$\Delta\theta = \pm 1/500$  No se requiere desviación más estricta
2		Holgura en x	$\Delta = 0,5 \text{ mm}$  sobre los dos tercios del área de contacto con un máximo local de 1 mm  No se requiere desviación más estricta

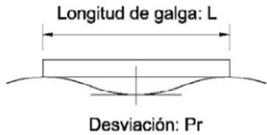
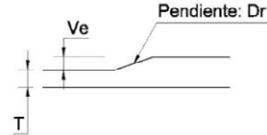
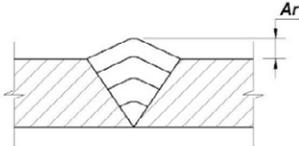
#### 1.4 Tolerancias normales para puentes

Los soportes / pilas de puentes deben cumplir con una tolerancia  $\pm 5 \text{ mm}$  en vertical y en planta.

Las almas de vigas principales deben cumplir una tolerancia en verticalidad de canto/300.

Otras tolerancias específicas de puentes se recogen en la tabla A16.1.4.

Tabla A16.1.4 Tolerancias de montaje para puentes

No	Descripción	Parámetro	Desviación admisible
1	Longitud del tramo	Desviación $\Delta$ de la distancia L entre dos soportes consecutivos medida sobre la parte superior del ala de arriba	$\Delta = \pm (30+L/10000)$
2	Elevación del puente o perfil de plano	Desviación $\Delta$ del perfil nominal teniendo en cuenta niveles construidos de los pilares  L $\leq$ 20 m :  L > 20 m :	$\Delta = \pm (L/1000)$  $ \Delta  = \pm (L/2000+10 \text{ mm}) \leq 35 \text{ mm}$
3	Ajuste de tableros ortótopos de espesores de chapa T después del montaje   Desviación: Pr   Ve Pendiente: Dr T	Diferencia de nivel en la unión  T $\leq$ 10 mm : 10 mm < T < 70 mm : T > 70 mm :  Pendiente:  T $\leq$ 10 mm : 10 mm < T < 70 mm : T > 70 mm :  Planeidad en cualquier dirección:  T $\leq$ 10 mm :  T > 70 mm :  Caso general:  Longitudinalmente:  NOTA: los valores para Pr pueden ser interpolados entre  10 mm < T $\leq$ 70 mm :	Ve = 2 mm Ve = 5 mm Ve = 8 mm  Dr = 8% Dr = 9% Dr = 10%  Pr = 3 mm en 1 m Pr = 4 mm en 3 m Pr = 5 mm en 5 m  Pr = 5 mm en 3 m Pr = 18 mm en 3 m
4	Soldeo de tablero ortótropo   Ar	El saliente Ar de la soldadura por encima de la superficie circundante	Ar = +1 / -0 mm

## 1.5 Tolerancias especiales

Para las tolerancias especiales se recomienda seguir las denominadas tolerancias suplementarias del Anexo B de la norma UNE-EN 1090-2, donde se establecen dos niveles o clases para fabricación y montaje.

Debe indicarse a que componentes aplica, ya que se puede utilizar para un elemento único o bien a un conjunto.

En aquellos casos en los que se cita dicho Anexo B sin especificar la clase de tolerancia, se entenderá que es clase de tolerancia 1, menos severa que clase 2.

Un ejemplo de aplicación de clase 2 de tolerancia es el montaje de una fachada acristalada, con objeto de reducir las holguras y mejorar el ajuste.

Hay que tener en cuenta al especificar la clase de tolerancia suplementaria (sobre todo la 2) que las vigas y dinteles de pórticos traslacionales pueden tener flechas y corrimientos relativamente grandes.

Excepto en el caso de barras sometidas a esfuerzos dinámicos una tolerancia aplicable puede ser el quinientosavo de su longitud.

## ANEJO 17

### Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección en la ejecución de estructuras de acero

#### Contenidos del anejo

- 1 INTRODUCCIÓN.
- 2 FRECUENCIAS DE COMPROBACIÓN DE LAS UNIDADES DE INSPECCIÓN.
  - 2.1 FRECUENCIAS DE COMPROBACIÓN EN FUNCIÓN DEL PROCESO DE EJECUCIÓN .
  - 2.2 FRECUENCIAS DE COMPROBACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SOLDADURA.

## 1 Introducción

La dirección facultativa llevará a cabo el control de la ejecución de las estructuras de acero, mediante una de las dos opciones admitidas en el Artículo 17.

En la opción A, el control de la ejecución lo realizará la propia dirección facultativa, asistida en su caso por un agente de control independiente que desarrolle su actividad para la dirección facultativa.

En la opción B, el control de la ejecución de cada lote y unidad de inspección lo realizará el constructor, y la dirección facultativa, asistida o no por un agente de control independiente, realizará un control de contraste del control del constructor.

En este anejo se incluye, de forma orientativa, las frecuencias de comprobación para las diferentes unidades de inspección, definidas en el apartado 101.2. Estas frecuencias deberán 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 anejo.

## 2 Frecuencias de comprobación de las unidades de inspección

En el caso que el control de la ejecución se organice según la opción B definida en el Artículo 17, para cada proceso o actividad de ejecución incluido en un lote, el Control del constructor (definido en las tablas siguientes simplemente como Control) desarrollará el control de la ejecución con unas frecuencias mínimas de comprobación obtenidas en función del número de unidades de inspección, del nivel control de la ejecución (normal o intenso) y la clase de ejecución, de acuerdo con lo indicado en las tablas A17.2.1, A17.2.2.a y A17.2.2.b Por su parte, la dirección facultativa podrá desarrollar adicionalmente un control de contraste, mediante la realización de comprobaciones cuyo número será también función del número de unidades de inspección, del nivel de control y la clase de ejecución, de acuerdo con los criterios de las citadas tablas.

En el caso que el control de la ejecución se organice mediante la opción A definida en el Artículo 17 de este Código, el Control lo realizará la dirección facultativa en los términos descritos en dicho artículo, y por lo tanto no será necesario que la propia dirección facultativa realice controles de contraste adicionales.

### 2.1 Frecuencias de comprobación en función del proceso de ejecución

Tabla A17.2.1 Frecuencias de comprobación para los procesos de ejecución incluidos en la tabla 101.2

Procesos y actividades de ejecución	Número mínimo de unidades de inspección controladas por lote de ejecución			
	Control normal		Control intenso	
	Control del constructor	Control externo de la dirección facultativa	Autocontrol del constructor	Control externo de la dirección facultativa
Gestión de acopios	100%	3	100%	20%, con un mínimo de 3
Revisión de planos de taller	25%	3	100%	20%

Procesos y actividades de ejecución	Número mínimo de unidades de inspección controladas por lote de ejecución			
	Control normal		Control intenso	
	Control del constructor	Control externo de la dirección facultativa	Autocontrol del constructor	Control externo de la dirección facultativa
Manipulación de los productos de acero en taller	50% <sup>(3)</sup>	10%	100% <sup>(3)</sup>	25% <sup>(1)</sup>
Ensamblado y armado de elementos en taller, incluido el control dimensional, así como la comprobación de fijaciones mecánicas y soldaduras	50% <sup>(3)</sup>	10%	100% <sup>(3)</sup>	25% <sup>(2)</sup>
Ajustes, correcciones y acabados finales	50%	10%	100% <sup>(3)</sup>	25% <sup>(2)</sup>
Control visual de elementos que llegan a la obra	100%	10%	100%	25% <sup>(2)</sup>
Cualificación de soldadores y procedimientos de soldeo	100%	100%	100%	100%
Ejecución de soldaduras	De acuerdo con tabla A17.2.2.a	De acuerdo con tabla A17.2.2.a	De acuerdo con tabla A17.2.2.a	De acuerdo con tabla A17.2.2.a
Replanteos	5	3	100%	20%
Cualificación de procedimientos de fijación con elementos mecánicos	100%	100%	100%	100%
Ejecución de fijaciones con elementos mecánicos para montaje	50%	10%	100%	25% <sup>(2)</sup>
Aplicación de tratamientos de protección	25%	10%	100%	25%

- (1) Este control podrá disminuirse progresivamente hasta el 15%, en el caso de que el programa de control se vaya desarrollando correctamente y se vayan obteniendo resultados satisfactorios en las inspecciones realizadas.
- (2) Este control podrá disminuirse progresivamente hasta el 10%, en el caso de que el programa de control se vaya desarrollando correctamente y se vayan obteniendo resultados satisfactorios en las inspecciones realizadas.
- (3) En elementos secundarios, de acuerdo con la definición expresada en la tabla 101.2, el número mínimo de unidades de inspección a controlar en cada lote de ejecución podrá disminuirse hasta un 25%. En dichos casos, el control de contraste de la dirección facultativa podrá disminuirse también hasta el 12%

## 2.2 Frecuencias de comprobación en función del tipo de soldadura

Tabla A17.2.2.a Tipo y número de ensayos en el caso de soldaduras

Tipo de soldadura	Tipo de ensayo <sup>(1)</sup> e intensidad de control							
	Soldaduras en taller perteneciente a las instalaciones de obra (sin Marcado CE)				Soldaduras en obra			
	Control normal		Control intenso		Control normal		Control intenso	
	Control constructor	Control externo	Control constructor <sup>(2)</sup>	Control externo	Control constructor	Control externo	Control constructor <sup>(2)</sup>	Control externo
Cordones a tope, en platabandas, almas o elementos de responsabilidad, traccionados o susceptibles de fatiga	RT/UT 100%	RT/UT 10%	RT/UT 100%	RT/UT 20%	RT/UT 100%	RT/UT 10%	RT/UT 100%	RT/UT 20%
Cordones a tope, en platabandas, almas o elementos de responsabilidad, comprimidos y no susceptibles de fatiga	UT 40%	UT 5%	UT 40%	UT 10%	UT 50%	UT 5%	UT 50%	UT 10%
Cordones en ángulo o con penetración parcial, en elementos de responsabilidad (riostras, traviesas, mamparos, costillas, etc.), traccionados o susceptibles de fatiga	PM/LP 100%	PM/LP 10%	PM/LP 100%	PM/LP 20%	PM/LP 100%	PM/LP 10%	PM/LP 100%	PM/LP 20%
Cordones en ángulo o con penetración parcial, en elementos de responsabilidad (riostras, traviesas, mamparos, costillas, etc.), comprimidos y no susceptibles de fatiga	PM/LP 20%	PM/LP 3%	PM/LP 20%	PM/LP 5%	PM/LP 30%	PM/LP 4%	PM/LP 30%	PM/LP 7%
Cordones a tope o en ángulo en elementos de responsabilidad, trabajando fundamentalmente a rasante (unión alas-alma, rigidizadores, mamparos de apoyo, etc.)	UT/PM/LP 20%	UT/PM/LP 3%	UT/PM/LP 20%	UT/PM/LP 5%	UT/PM/LP 30%	UT/PM/LP 4%	UT/PM/LP 30%	UT/PM/LP 7%
Cordones en ángulo o con penetración parcial, en elementos secundarios (cartelas, rigidizadores intermedios, células, arriostramientos, riostras, marcos de rigidez, uniones de atado, etc.)	PM/LP 10%	PM/LP 3%	PM/LP 10%	PM/LP 5%	PM/LP 10%	PM/LP 3%	PM/LP 10%	PM/LP 5%
Cordones en ángulo de pernos conectadores	Ensayos de doblado 3%	Ensayos de doblado 1%	Ensayos de doblado 3%	Ensayos de doblado 1%	Ensayos de doblado 5%	Ensayos de doblado 1%	Ensayos de doblado 5%	Ensayos de doblado 1%

- (1) La nomenclatura utilizada en la tabla para los ensayos es conforme con la norma UNE-EN ISO 17635:
- LP: ensayo de líquidos penetrantes, efectuado de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 3452-1;
  - PM, ensayo de partículas magnéticas, efectuado de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 17638;
  - UT: ensayo de ultrasonidos, efectuado de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 17640;
  - RT: ensayo radiográfico, de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 17636.
- (2) Autocontrol del productor conforme al apartado 22.1 del Código Estructural.

Tabla A17.2.2.b Frecuencias de ensayos no destructivos para las comprobaciones adicionales de las soldaduras, conforme se indica en el apartado 103.2.2.6

Tipo de soldadura		Ensayo			
		Soldaduras en Taller perteneciente a las instalaciones de obra (sin Marcado CE)		Soldaduras en obra	
		C.E. 4 y 3	C.E. 2	C.E. 4 y 3	C.E. 2
Cordones de fuerza	Cordones a tope sometidos a tensiones de tracción ( $k \geq 0,8$ )	100 %	50 %	100 %	100 %
	$0,3 < k < 0,8$	50 %	20 %	100 %	50 %
	$k \leq 0,3$	10 %	5 %	20 %	10 %
	Cordones a tope sometidos a tensiones de compresión	10 %	5 %	20 %	10 %
	Cordones de ángulo.	20 %	10 %	20 %	10 %
	Cordones Longitudinales	10 %	5 %	20 %	10 %
Uniones de atado	Rigidizadores, correas, etc.	5 %			

k: Coeficiente de utilización definido en proyecto.

C.E. Clase de ejecución.

## ANEJO 18

### Bases de cálculo

## Contenido

### 1 GENERALIDADES.

- 1.1 ALCANCE.
- 1.2 NORMATIVA DE REFERENCIA.
- 1.3 HIPÓTESIS DE TRABAJO.
- 1.4 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.
  - 1.4.1 *Términos de uso común en los anejos del Código Estructural.*
  - 1.4.2 *Términos específicos relativos al proyecto en general.*
  - 1.4.3 *Términos relativos a acciones.*
  - 1.4.4 *Términos relativos a las propiedades de materiales y productos.*
  - 1.4.5 *Términos relativos a datos geométricos.*
  - 1.4.6 *Términos relativos al análisis estructural.*
- 1.5 NOTACIÓN.

### 2 REQUISITOS.

- 2.1 REQUISITOS BÁSICOS.
- 2.2 GESTIÓN DE LA FIABILIDAD.
- 2.3 VIDA ÚTIL.
- 2.4 DURABILIDAD.
- 2.5 GESTIÓN DE LA CALIDAD.

### 3 PRINCIPIOS DE CÁLCULO DE LOS ESTADOS LÍMITE.

- 3.1 GENERALIDADES.
- 3.2 SITUACIONES DE PROYECTO.
- 3.3 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.
- 3.4 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.
- 3.5 CÁLCULO DE LOS ESTADOS LÍMITE.

### 4 VARIABLES BÁSICAS.

- 4.1 ACCIONES Y CONDICIONES AMBIENTALES.
  - 4.1.1 *Clasificación de las acciones.*
  - 4.1.2 *Valores característicos de las acciones.*
  - 4.1.3 *Otros valores representativos de las acciones variables.*
  - 4.1.4 *Representación de las acciones de fatiga.*
  - 4.1.5 *Representación de las acciones dinámicas.*
  - 4.1.6 *Acciones geotécnicas.*
  - 4.1.7 *Condiciones ambientales.*
- 4.2 PROPIEDADES DE MATERIALES Y PRODUCTOS.
- 4.3 DATOS GEOMÉTRICOS.

### 5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CÁLCULO ASISTIDO CON ENSAYOS.

- 5.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.
  - 5.1.1 *Modelización estructural.*
  - 5.1.2 *Acciones estáticas.*
  - 5.1.3 *Acciones dinámicas.*
  - 5.1.4 *Análisis estructural en caso de fuego.*
- 5.2 CÁLCULO ASISTIDO CON ENSAYOS.

### 6 COMPROBACIÓN POR EL MÉTODO DE LOS COEFICIENTES PARCIALES.

- 6.1 GENERALIDADES.
- 6.2 LIMITACIONES.
- 6.3 VALORES DE CÁLCULO.

- 6.3.1 *Valores de cálculo de las acciones.*
- 6.3.2 *Valores de cálculo de los efectos de las acciones.*
- 6.3.3 *Valores de cálculo de las propiedades de materiales o productos.*
- 6.3.4 *Valores de cálculo de los datos geométricos.*
- 6.3.5 *Resistencia de cálculo.*

#### 6.4 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.

- 6.4.1 *Generalidades.*
- 6.4.2 *Comprobación del equilibrio estático y de la resistencia.*
- 6.4.3 *Combinación de acciones (excepto para comprobaciones a fatiga).*
  - 6.4.3.1 *General.*
  - 6.4.3.2 *Combinación de acciones para situaciones de proyecto permanentes o transitorias (combinaciones fundamentales).*
  - 6.4.3.3 *Combinación de acciones para situaciones de proyecto accidentales.*
  - 6.4.3.4 *Combinación de acciones para situaciones de proyecto frente al sismo.*
- 6.4.4 *Coefficientes parciales de seguridad para acciones y combinaciones de acciones.*
- 6.4.5 *Coefficientes parciales para materiales y productos.*

#### 6.5 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO.

- 6.5.1 *Comprobaciones.*
- 6.5.2 *Criterios de servicio.*
- 6.5.3 *Combinación de acciones.*
- 6.5.4 *Coefficientes parciales para los materiales.*

### APÉNDICE A.1 APLICACIÓN A EDIFICACIÓN.

### APÉNDICE A.2 APLICACIÓN EN PUENTES.

### APÉNDICE B RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN DE LA FIABILIDAD ESTRUCTURAL EN TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN.

- B.1 ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN.
- B.2 NOTACIÓN.
- B.3 NIVEL DE FIABILIDAD.
  - B.3.1 *Clases de consecuencias.*
  - B.3.2 *Diferenciación mediante valores de  $\beta$ .*
  - B.3.3 *Diferenciación mediante medidas relativas a los coeficientes parciales.*
- B.4 NIVELES DE SUPERVISIÓN DEL PROYECTO.
- B.5 INSPECCIÓN DURANTE LA EJECUCIÓN.
- B.6 COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD PARA LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA.

### APÉNDICE C RECOMENDACIONES PARA EL CÁLCULO CON COEFICIENTES PARCIALES Y ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD.

- C.1 ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN .
- C.2 NOTACIÓN.
- C.3 INTRODUCCIÓN.
- C.4 RESUMEN DE LOS MÉTODOS DE FIABILIDAD.
- C.5 ÍNDICE DE FIABILIDAD B.
- C.6 VALORES OBJETIVO DEL ÍNDICE DE FIABILIDAD B.
- C.7 ENFOQUE PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS VALORES DE CÁLCULO.
- C.8 FORMATOS DE COMPROBACIÓN DE LA FIABILIDAD.
- C.9 COEFICIENTES PARCIALES.
- C.10 COEFICIENTES  $\Psi_0$ .

### APÉNDICE D RECOMENDACIONES PARA EL CÁLCULO ASISTIDO POR ENSAYOS.

- D.1 ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN.
- D.2 NOTACIÓN.
- D.3 TIPOS DE ENSAYOS.
- D.4 PLANIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS.
- D.5 OBTENCIÓN DE LOS VALORES DE CÁLCULO.
- D.6 PRINCIPIOS GENERALES PARA LAS EVALUACIONES ESTADÍSTICAS.
- D.7 DETERMINACIÓN ESTADÍSTICA DE UNA PROPIEDAD.

*D.7.1 Generalidades.*

*D.7.2 Evaluación mediante el valor característico.*

*D.7.3 Evaluación directa del valor de cálculo para las comprobaciones en Estado Límite Último.*

D.8 DETERMINACIÓN ESTADÍSTICA DE MODELOS DE RESISTENCIA.

*D.8.1 Generalidades.*

*D.8.2 Procedimiento de evaluación estándar (Método (a)).*

D.8.2.1 Generalidades.

D.8.2.2 Procedimiento estándar.

D.8.2.2.1 Paso 1: Desarrollar un modelo de cálculo.

D.8.2.2.2 Paso 2: Comparar los valores experimentales y teóricos.

D.8.2.2.3 Paso 3: Estimar el valor medio del factor de corrección  $b$ .

D.8.2.2.4 Paso 4: Estimar el coeficiente de variación de los errores.

D.8.2.2.5 Paso 5: Analizar la compatibilidad.

D.8.2.2.6 Paso 6: Determinar los coeficientes de variación  $VX_i$  de las variables básicas.

D.8.2.2.7 Paso 7: Determinar el valor característico  $r_k$  de la resistencia.

*D.8.3 Procedimiento de evaluación estándar (Método (b)).*

*D.8.4 Uso de información previa adicional.*

## 1 Generalidades

### 1.1 Alcance

(1) Este anejo establece los principios y requisitos de seguridad, aptitud al servicio y durabilidad de las estructuras, describe las bases para su cálculo y comprobación y da directrices sobre aspectos relacionados con la fiabilidad estructural.

(2) Este anejo está concebido para ser utilizado junto con el resto del Código Estructural (articulado y anejos) para el diseño estructural de edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo la resistencia al fuego, la ejecución y las estructuras provisionales.

NOTA: Para el cálculo de obras especiales (por ejemplo, instalaciones nucleares, presas, etc.) pueden ser necesarias disposiciones distintas a las recogidas en los anejos de este Código.

(4) Este anejo es de aplicación a la evaluación estructural de construcciones existentes, con vistas a proyectar reparaciones, modificaciones o a estudiar su cambio de uso.

### 1.2 Normativa de referencia

Las normas citadas en este anejo deben utilizarse en la versión indicada en el Anejo 1 del Código Estructural.

### 1.3 Hipótesis de trabajo

(1) Se considerará que un proyecto cumple con los requisitos, siempre y cuando se satisfagan los supuestos dados en este Código Estructural (véase el apartado 2).

(2) Las hipótesis generales de este anejo son:

- que la elección del sistema estructural y del procedimiento de cálculo de la estructura se ha realizado por personal debidamente cualificado y con experiencia;
- que la ejecución se lleva a cabo por personal con las capacidades y experiencia adecuadas;
- se asegura una supervisión y un control de calidad adecuados durante el proyecto y la ejecución de la obra, es decir, en las oficinas de proyecto, en fábrica, en las plantas y en la obra;
- que los materiales y productos de construcción se utilizan según se especifica en este Código Estructural.
- que la estructura se mantendrá de forma adecuada;
- que la estructura se utilizará de acuerdo con las hipótesis de proyecto.

### 1.4 Términos y definiciones

#### 1.4.1 Términos de uso común en los anejos del Código Estructural

**1.4.1.1 Obras de construcción.** Todo aquello que sea construido o que sea resultado de operaciones de construcción.

NOTA: El término engloba tanto obras de edificación como de ingeniería civil. Se refiere a la obra completa, incluyendo los elementos estructurales, no estructurales y geotécnicos.

**1.4.1.2 Tipo de obra de edificación o de ingeniería civil.** Tipo de obra de construcción en la que se designa su finalidad, por ejemplo vivienda, muro de contención, edificio industrial, puente de carretera.

**1.4.1.3 Tipo de construcción.** Indicación del material estructural principal, por ejemplo, construcción de hormigón armado, de acero, de madera, de fábrica de albañilería, construcción mixta de acero y hormigón.

**1.4.1.4 Método de ejecución.** Modo en el que se va a llevar a cabo la ejecución de las obras, por ejemplo, ejecutado *in situ*, prefabricada, en voladizo.

**1.4.1.5 Material de construcción.** Material utilizado en la obra de construcción, por ejemplo hormigón, acero, madera, fábrica de albañilería.

**1.4.1.6 Estructura.** Combinación organizada de elementos conectados proyectados para soportar cargas y proporcionar la rigidez adecuada.

**1.4.1.7 Elemento estructural.** Parte de la estructura, físicamente identificable, por ejemplo un pilar, una viga, una losa, un pilote de cimentación.

**1.4.1.8 Tipo de estructura.** Disposición de elementos estructurales.

NOTA: Tipos de estructuras son, por ejemplo, pórticos, puentes colgantes.

**1.4.1.9 Sistema estructural.** Elementos portantes de un edificio o una obra de ingeniería civil y la forma en la que estos elementos funcionan juntos.

**1.4.1.10 Modelo estructural.** Esquematización sistema estructural utilizado para el análisis, el dimensionamiento y la comprobación.

**1.4.1.11 Ejecución.** Conjunto de actividades realizadas para completar físicamente la obra incluida la recepción, la inspección y la documentación correspondiente.

NOTA: El término incluye el trabajo en la obra; también puede referirse a la fabricación componentes fuera de la obra y su posterior colocación en la obra.

#### **1.4.2 Términos específicos relativos al proyecto en general**

**1.4.2.1 Criterios de cálculo.** Fórmulas cuantitativas que describen las condiciones que se deben cumplir para cada estado límite.

**1.4.2.2 Situaciones de proyecto.** Conjunto de condiciones físicas que representan las condiciones reales que se producen durante un determinado intervalo de tiempo para las que se debe demostrar, mediante el cálculo, que no se superan los estados límite correspondientes.

**1.4.2.3 Situaciones transitorias de proyecto.** Situación de proyecto que se da durante un periodo de tiempo mucho más corto que la vida útil de la estructura y que tiene una alta probabilidad de que ocurra.

NOTA: Una situación transitoria de proyecto se refiere a situaciones temporales de la estructura, de uso o exposición, por ejemplo durante la construcción o reparación.

**1.4.2.4 Situación persistente de proyecto.** Situación de proyecto que se da durante un periodo de tiempo del mismo orden que el de la vida útil de la estructura.

NOTA: En general se refiere a las condiciones normales de uso.

**1.4.2.5 Situación accidental de proyecto.** Situación de proyecto que implica condiciones excepcionales de la estructura o de su exposición, incluyendo incendio, explosión, impacto o fallo local.

**1.4.2.6 Cálculo en caso de incendio.** Cálculo de una estructura para satisfacer los requisitos de comportamiento en caso de incendio.

**1.4.2.7 Situación sísmica de proyecto.** Situación de proyecto que implica condiciones excepcionales de la estructura al estar sometida a efectos sísmicos.

**1.4.2.8 Vida útil.** Periodo de tiempo durante el cual se supone que una estructura o parte de ella va a ser utilizada para el fin previsto durante el que puedan realizarse operaciones de mantenimiento, sin ser necesarias grandes reparaciones.

**1.4.2.9 Peligro potencial.** Acontecimiento grave e inusual, por ejemplo una acción o fuerza natural anormal, una resistencia insuficiente, o una desviación excesiva de las dimensiones previstas.

**1.4.2.10 Distribución de cargas.** Identificación de la posición, magnitud y dirección de una acción libre.

**1.4.2.11 Caso de carga.** Distribuciones compatibles de cargas, conjuntos de deformaciones e imperfecciones que se considera que actúan simultáneamente con acciones fijas permanentes y variables para una determinada comprobación.

**1.4.2.12 Estados límite.** Estados más allá de los cuales la estructura deja de satisfacer los criterios de proyecto correspondientes.

**1.4.2.13 Estados Límite Últimos.** Estados asociados con el colapso o con otras formas similares de fallo estructural.

NOTA: Se corresponden normalmente con la resistencia máxima de la estructura o elemento estructural.

**1.4.2.14 Estados Límite de Servicio.** Estados que corresponden a condiciones por encima de las cuales no se cumplen los requisitos de aptitud al servicio especificados para una estructura o un elemento estructural.

**1.4.2.14.1 Estados Límite de Servicio irreversibles.** Estados Límite de Servicio en los que algunas de las consecuencias derivadas de las acciones que exceden los requisitos de aptitud al servicio permanecen tras desaparecer las acciones.

**1.4.2.14.2 Estados Límite de Servicio reversibles.** Estados Límite de Servicio en los que ninguna de las consecuencias derivadas de las acciones que exceden los requisitos de aptitud al servicio permanece tras desaparecer las acciones.

**1.4.2.14.3 Criterios de aptitud al servicio.** Criterios de cálculo para un Estado Límite de Servicio.

**1.4.2.15 Capacidad portante.** Capacidad de un elemento o componente, o de una sección transversal de un elemento o componente de una estructura para soportar acciones sin que se produzca el fallo, por ejemplo, resistencia a flexión, resistencia a pandeo, resistencia a tracción.

**1.4.2.16 Resistencia.** Propiedad mecánica de un material que indica su capacidad para resistir acciones, expresada normalmente en unidades de tensión.

**1.4.2.17 Fiabilidad.** Capacidad de una estructura o elemento estructural para cumplir con los requisitos específicos (incluida la vida útil) para los que ha sido proyectada. La fiabilidad se suele expresar en términos de probabilidad.

NOTA: La fiabilidad engloba la seguridad, la aptitud al servicio y la durabilidad de una estructura.

**1.4.2.18 Nivel de fiabilidad.** Medidas implantadas para la optimización socio-económica de los recursos empleados en las obras de construcción, teniendo en cuenta las consecuencias previstas en caso de fallo y el coste de las obras de construcción.

**1.4.2.19 Variable básica.** Parte de un conjunto específico de variables que representan las magnitudes físicas que caracterizan a las acciones y a las influencias ambientales, las magnitudes geométricas y las propiedades de los materiales incluyendo las propiedades del suelo.

**1.4.2.20 Mantenimiento.** Conjunto de actividades llevadas a cabo durante la vida útil de la estructura con el fin de que pueda cumplir con los requisitos de fiabilidad.

NOTA: Las actividades de reparación de la estructura tras un suceso accidental o un sismo quedan normalmente fuera del ámbito del mantenimiento.

**1.4.2.21 Reparación.** Actividades realizadas para conservar o restablecer la funcionalidad de una estructura que quedan fuera de la definición de mantenimiento.

**1.4.2.22 Valor nominal.** Valor establecido sin una base estadística, por ejemplo, sobre la experiencia adquirida o sobre consideraciones físicas.

### 1.4.3 Términos relativos a acciones

#### 1.4.3.1 Acción ( $F$ )

- a) Conjunto de fuerzas (cargas) aplicadas a la estructura (acción directa).
- b) Conjunto de deformaciones o aceleraciones impuestas causadas, por ejemplo, por cambios de temperatura, cambios de humedad, asentamientos diferenciales o sismo (acción indirecta).

**1.4.3.2 Efecto de una acción ( $E$ ).** Efecto de acciones (o efecto de una acción) sobre elementos estructurales (por ejemplo, esfuerzo, momento, tensión, deformación) o sobre la estructura completa (por ejemplo, deformación, rotación).

**1.4.3.3 Acción permanente ( $G$ ).** Acción que previsiblemente va a actuar durante un periodo de referencia dado cuya variación (de magnitud) en el tiempo es despreciable o se produce siempre en el mismo sentido (monótona) hasta alcanzar un determinado valor límite.

**1.4.3.4 Acción variable ( $Q$ ).** Acción cuya variación (de magnitud) en el tiempo no es despreciable ni monótona.

**1.4.3.5 Acción accidental ( $A$ ).** Acción, normalmente de corta duración, pero de magnitud considerable, que es poco probable que actúe en una estructura determinada durante su vida útil.

NOTA 1: En muchos casos una acción accidental puede tener graves consecuencias si no se adoptan las medidas adecuadas.

NOTA 2: El impacto, la nieve, el viento y las acciones sísmicas pueden ser acciones variables o accidentales dependiendo de la información disponible sobre sus distribuciones estadísticas.

**1.4.3.6 Acción sísmica ( $A_E$ ).** Acción que surge como consecuencia de movimientos sísmicos del terreno.

**1.4.3.7 Acción geotécnica.** Acción transmitida a la estructura por el terreno, los rellenos o las aguas subterráneas.

**1.4.3.8 Acción fija.** Acción que tiene una distribución y posición fijas sobre la estructura o el elemento estructural; su magnitud y dirección están determinadas inequívocamente para toda la estructura o elemento estructural si ambas, magnitud y dirección, lo están para un punto determinado de la mencionada estructura o elemento estructural.

**1.4.3.9 Acción libre.** Acción que puede tener varias distribuciones espaciales sobre la estructura.

**1.4.3.10 Acción aislada.** Acción que puede considerarse como estadísticamente independiente, en el tiempo y en el espacio, con respecto a cualquier otra acción que actúe sobre la estructura.

**1.4.3.11 Acción estática.** Acción que no causa una aceleración significativa de la estructura o de los elementos estructurales.

**1.4.3.12 Acción dinámica.** Acción que causa una aceleración significativa de la estructura o de los elementos estructurales.

**1.4.3.13 Acción cuasi-estática.** Acción dinámica representada por una acción estática equivalente en un modelo estático.

**1.4.3.14 Valor característico de una acción ( $F_k$ ).** Principal valor representativo de una acción.

NOTA: En la medida en la que un valor característico pueda ser establecido mediante bases estadísticas, se le hará corresponder con una probabilidad de no ser excedido por el lado desfavorable durante un "periodo de referencia" que tenga en cuenta la vida útil de la estructura y la duración de la situación de proyecto.

**1.4.3.15 Periodo de referencia.** Periodo de tiempo que se utiliza como base para la evaluación estadística de acciones variables y, eventualmente, para acciones accidentales.

**1.4.3.16 Valor de combinación de una acción variable ( $\Psi_0 Q_k$ ).** Valor escogido —en la medida que pueda determinarse sobre bases estadísticas— de manera que la probabilidad de que se superen los efectos causados por la combinación sea aproximadamente la misma que para el valor característico de una acción individual. Puede expresarse como una parte del valor característico utilizando el factor  $\Psi_0 \leq 1$ .

**1.4.3.17 Valor frecuente de una acción variable ( $\Psi_1 Q_k$ ).** Valor determinado —en la medida que pueda determinarse sobre bases estadísticas— de manera que el tiempo total, dentro del periodo de referencia, durante el que dicho valor es superado es solo una pequeña parte de dicho periodo de referencia; o la frecuencia con la que se exceda está limitada a un valor dado. Puede expresarse como una parte del valor característico utilizando un factor  $\Psi_1 \leq 1$ .

NOTA: En el caso del valor frecuente de las acciones de tráfico con componentes múltiples, véanse los grupos de cargas de la reglamentación específica vigente.

**1.4.3.18 Valor cuasi-permanente de una acción variable ( $\Psi_2 Q_k$ ).** Valor establecido de manera que el tiempo total durante el que va a ser excedido es una parte importante del periodo de referencia. Puede expresarse como una parte del valor característico utilizando un factor  $\Psi_2 \leq 1$ .

**1.4.3.19 Valor de concomitancia de una acción variable ( $\Psi Q_k$ ).** Valor de una acción variable que acompaña a la acción principal en una combinación.

NOTA: El valor de concomitancia de una acción variable puede ser el valor de combinación, el valor frecuente o el valor cuasi-permanente.

**1.4.3.20 Valor representativo de una acción ( $F_{rep}$ ).** Valor utilizado para la verificación de un estado límite. Un valor representativo puede ser un valor característico ( $F_k$ ) o un valor concomitante ( $\Psi F_k$ ).

**1.4.3.21 Valor de cálculo de una acción ( $F_d$ ).** Valor obtenido al multiplicar el valor representativo por el coeficiente parcial ( $\gamma_f$ ).

NOTA: El producto del valor representativo por el coeficiente parcial  $\gamma_f = \gamma_{sd} \gamma_f$  se puede llamar también valor de cálculo de la acción (véase el apartado 6.3.2).

**1.4.3.22 Combinación de acciones.** Conjunto de valores de cálculo empleado para la verificación de la fiabilidad estructural de un estado límite bajo la acción simultánea de varias acciones.

#### 1.4.4 Términos relativos a las propiedades de materiales y productos

**1.4.4.1 Valor característico ( $X_k$  o  $R_k$ ).** Valor de una propiedad de un material o producto que tiene una determinada probabilidad de no ser alcanzado en una hipotética serie ilimitada de ensayos. Este valor corresponde, normalmente, a un cuantil especificado de la distribución estadística supuesta para esa propiedad del material o producto. En algunos casos, se utiliza un valor nominal como valor característico.

**1.4.4.2 Valor de cálculo de una propiedad de un material o producto ( $X_d$  o  $R_d$ ).** Valor obtenido al dividir el valor característico por un coeficiente parcial  $\gamma_m$  o  $\gamma_M$ , o, en circunstancias especiales, por determinación directa.

**1.4.4.3 Valor nominal de una propiedad de un material o producto ( $X_{nom}$  o  $R_{nom}$ ).** Valor utilizado normalmente como valor característico.

#### 1.4.5 Términos relativos a datos geométricos

**1.4.5.1 Valor característico de una propiedad geométrica ( $a_k$ ).** Valor que se corresponde normalmente con las dimensiones especificadas en el proyecto. En algunos casos, este valor puede corresponder a determinados cuantiles de la distribución estadística.

**1.4.5.2 Valor de cálculo de una propiedad geométrica ( $a_d$ ).** Normalmente, un valor nominal. En algunos casos, este valor puede corresponder a determinados cuantiles de la distribución estadística.

NOTA: El valor de cálculo de una propiedad geométrica es, generalmente, igual al valor característico. El tratamiento puede, sin embargo, ser diferente en aquellos casos en los que el estado límite considerado sea muy sensible al valor de dicha propiedad geométrica, por ejemplo, cuando se esté considerando el efecto de las imperfecciones geométricas en el pandeo. En tales casos, el valor de cálculo se establecerá normalmente como un valor determinado directamente, por ejemplo, en una norma. Este valor puede también establecerse sobre una base estadística con un valor que se corresponda a un cuantil más apropiado (por ejemplo, un valor más raro) que el aplicado al valor característico.

#### 1.4.6 Términos relativos al análisis estructural

NOTA: Las definiciones recogidas en este apartado no tienen por qué estar relacionadas necesariamente con términos utilizados en este anejo, pero se incluyen aquí con el fin de armonizar los términos relativos al análisis estructural recogidos en el Código Estructural.

**1.4.6.1 Análisis estructural.** Procedimiento o algoritmo para la determinación de los efectos de las acciones en cada punto de la estructura.

NOTA: El análisis estructural puede tener que hacerse en tres niveles utilizando distintos modelos: análisis global, análisis de elementos y análisis local.

**1.4.6.2 Análisis global.** Determinación, en una estructura, de un conjunto coherente de esfuerzos, momentos, o tensiones, que están en equilibrio con un determinado conjunto de acciones actuantes sobre la estructura, y que dependen de las propiedades geométricas, de las propiedades de la estructura y de las propiedades de los materiales.

**1.4.6.3 Análisis elástico lineal de primer orden sin redistribución.** Análisis elástico estructural basado en leyes lineales de tensión-deformación o momento-curvatura y realizado sobre la geometría inicial.

**1.4.6.4 Análisis elástico lineal de primer orden con redistribución.** Análisis elástico lineal en el que el cálculo estructural modifica los momentos y fuerzas internas de forma consecuente con las acciones exteriores dadas y sin un cálculo más explícito de la capacidad de giro.

**1.4.6.5 Análisis elástico lineal de segundo orden.** Análisis elástico lineal en el que los momentos y fuerzas internas se modifican para el cálculo estructural, en coherencia con las acciones externas dadas y sin cálculo explícito de la capacidad de rotación.

**1.4.6.6 Análisis elástico no lineal de primer orden.** Análisis estructural, realizado sobre la geometría inicial, que tiene en cuenta las propiedades de deformación no lineal de los materiales.

NOTA: El análisis no lineal de primer orden puede ser elástico con las hipótesis adecuadas, elástico-perfectamente plástico (véanse los apartados 1.4.6.8 y 1.4.6.9), elasto-plástico (véase el apartado 1.4.6.10) o rígido-plástico (véase el apartado 1.4.6.11).

**1.4.6.7 Análisis no lineal de segundo orden.** Análisis estructural, realizado sobre la geometría de la estructura deformada, que tiene en cuenta las propiedades de deformación no lineal de los materiales.

NOTA: En análisis no lineal de segundo orden puede ser elástico-perfectamente plástico o elasto-plástico.

**1.4.6.8 Análisis elástico-perfectamente plástico de primer orden.** Análisis estructural, realizado sobre la geometría inicial, basado en la relación momento-curvatura, que consta de una parte elástica lineal seguida de una parte plástica sin endurecimiento.

**1.4.6.9 Análisis elástico-perfectamente plástico de segundo orden.** Análisis estructural, realizado sobre la geometría de la estructura desplazada (o deformada), basado en la relación momento-curvatura, que consta de una parte elástica lineal seguida de una parte plástica sin endurecimiento.

**1.4.6.10 Análisis elasto-plástico.** Análisis estructural que utiliza las relaciones tensión-deformación o momento-curvatura que constan de una parte elástica lineal seguida de una parte plástica con o sin endurecimiento.

NOTA: Normalmente, se realiza sobre la geometría inicial de la estructura, pero se puede realizar también sobre la estructura desplazada (o deformada).

**1.4.6.11 Análisis rígido-plástico.** Análisis, realizado sobre la geometría inicial de la estructura, que utiliza teoremas de análisis límite para evaluar directamente la carga última.

NOTA: La ley de momento-curvatura se supone sin deformación elástica ni endurecimiento.

## 1.5 Notación

A los efectos de este anejo, son de aplicación los siguientes símbolos.

### Letras latinas mayúsculas

$A$	Acción accidental
$A_d$	Valor de cálculo de una acción accidental
$A_{Ed}$	Valor de cálculo de una acción sísmica $A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$
$A_{Ek}$	Valor característico de una acción sísmica
$C_d$	Valor nominal, o función, de ciertas propiedades de cálculo de los materiales
$E$	Efecto de las acciones
$E_d$	Valor de cálculo del efecto de las acciones
$E_{d,dst}$	Valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras
$E_{d,stab}$	Valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras
$F$	Acción
$F_d$	Valor de cálculo de una acción
$F_k$	Valor característico de una acción
$F_{rep}$	Valor representativo de una acción
$F_W$	Fuerza del viento (símbolo general)
$F_{wk}$	Valor característico de la fuerza del viento
$F_W^*$	Fuerza del viento compatible con el tráfico rodado
$F_W^{**}$	Fuerza del viento compatible con el tráfico ferroviario
$G$	Acción permanente
$G_d$	Valor de cálculo de una acción permanente
$G_{d,inf}$	Valor inferior de cálculo de una acción permanente
$G_{d,sup}$	Valor superior de cálculo de una acción permanente
$G_k$	Valor característico de una acción permanente
$G_{k,j}$	Valor característico de una acción permanente $j$
$G_{k,j,sup}$	Valor característico superior de una acción permanente $j$
$G_{k,j,inf}$	Valor característico inferior de una acción permanente $j$
$G_{set}$	Acción permanente debida a los asientos diferenciales
$P$	Valor representativo correspondiente a la fuerza de pretensado (véanse los Anejos 19 a 21 del Código Estructural)

$P_d$	Valor de cálculo de la fuerza de pretensado
$P_k$	Valor característico de la fuerza de pretensado
$P_m$	Valor medio de la fuerza de pretensado
$Q$	Acción variable
$Q_d$	Valor de cálculo de una acción variable
$Q_k$	Valor característico de una sola acción variable
$Q_{k,l}$	Valor característico de la acción variable predominante $l$
$Q_{k,i}$	Valor característico de la acción variable concomitante $i$
$Q_{Sn}$	Valor característico de la acción de nieve
R	Resistencia
$R_d$	Valor de cálculo de la resistencia
$R_k$	Valor característico de la resistencia
X	Propiedad de un material
$X_d$	Valor de cálculo de una propiedad de un material
$X_k$	Valor característico de una propiedad de un material

**Letras latinas minúsculas**

$a_d$	Valores de cálculo de los datos geométricos
$a_k$	Valores característicos de los datos geométricos
$a_{nom}$	Valor nominal de los datos geométricos
$d_{set}$	Diferencia de asientos de una cimentación, o parte de la misma, respecto al nivel de referencia
$u$	Desplazamiento horizontal de una estructura o elemento estructural
$w$	Flecha vertical de un elemento estructural

**Letras griegas mayúsculas**

$\Delta a$	Cambio realizado a los datos geométricos nominales por necesidades concretas de proyecto, por ejemplo, valoración de los efectos debidos a imperfecciones
$\Delta d_{set}$	Incertidumbre vinculada a la evaluación del asiento de una cimentación, o parte de la misma

**Letras griegas minúsculas**

$\gamma$	Coefficiente parcial (de seguridad o servicio)
$\gamma_{bt}$	Valor pico máximo de la aceleración de un tablero de puente para una vía de balasto
$\gamma_{df}$	Valor pico máximo de la aceleración de un tablero para una vía de fijación directa

$\gamma_{Gset}$	Coeficiente parcial para las acciones permanentes debidas a asientos, incluyendo las incertidumbres del modelo
$\gamma_f$	Coeficiente parcial de las acciones, que tiene en cuenta posibles desviaciones desfavorables de los valores de la acción respecto a los valores representativos
$\gamma_F$	Coeficiente parcial de las acciones, que tiene también en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_g$	Coeficiente parcial de las acciones permanentes, que tiene en cuenta posibles desviaciones desfavorables de los valores de la acción respecto a los valores representativos
$\gamma_G$	Coeficiente parcial de las acciones permanentes, que tiene también en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_{G,j}$	Coeficiente parcial para la acción permanente $j$
$\gamma_{Gj,sup}$	Coeficiente parcial para la acción permanente $j$ para la determinación del valor superior de cálculo
$\gamma_{Gj,inf}$	Coeficiente parcial de seguridad para la acción permanente $j$ para la determinación del valor inferior de cálculo
$\gamma_I$	Coeficiente de mayoración
$\gamma_m$	Coeficiente parcial de la propiedad de un material
$\gamma_M$	Coeficiente parcial de la propiedad de un material, que tiene también en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_P$	Coeficiente parcial de las acciones de pretensado (véanse los Anejos 19 a 21 de este Código)
$\gamma_q$	Coeficiente parcial de las acciones variables, que tiene en cuenta posibles desviaciones desfavorables de los valores de la acción respecto a los valores representativos
$\gamma_Q$	Coeficiente parcial de las acciones variables, que tiene también en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\gamma_{Q,i}$	Coeficiente parcial de la acción variable $i$
$\gamma_{Rd}$	Coeficiente parcial asociado a la incertidumbre del modelo de resistencia
$\gamma_{sd}$	Coeficiente parcial asociado a la incertidumbre del modelo de la acción y/o su efecto
$\eta$	Factor de conversión
$\xi$	Coeficiente de reducción
$\Psi_0$	Coeficiente de combinación del valor de una acción variable
$\Psi_1$	Coeficiente para el valor frecuente de una acción variable
$\Psi_2$	Coeficiente para el valor cuasi-permanente de una acción variable

## 2 Requisitos

### 2.1 Requisitos básicos

(1) Una estructura debe ser proyectada y ejecutada de manera que, durante su vida útil, con unos niveles apropiados de fiabilidad y de forma económica,

- soporte todas las acciones e influencias susceptibles de actuar durante su ejecución y su uso, y
- se cumplan los requisitos de aptitud al servicio especificados para la estructura o el elemento estructural.

NOTA: Véanse también los apartados 1.4, 2.1(7) y 2.4(1).

(2) Una estructura debe proyectarse y calcularse para tener:

- una resistencia estructural,
- una aptitud al servicio, y
- una durabilidad

adecuadas.

(3) En caso de incendio, la resistencia estructural debe ser la adecuada para el periodo de tiempo requerido.

NOTA: Véase también la reglamentación específica vigente.

(4) Una estructura debe proyectarse y ejecutarse de manera que frente a sucesos como:

- explosiones,
- impactos, y
- las consecuencias de errores humanos, no sufra daños desproporcionados con respecto a la causa original.

NOTA 1: Los sucesos a tener en cuenta en el proyecto serán aquellos que se hayan acordado con el cliente y la autoridad competente.

(5) Deberán evitarse o limitarse los daños potenciales mediante la elección apropiada de una o varias de las siguientes medidas:

- prevenir, eliminar o reducir los riesgos a los que pueda estar sometida la estructura;
- escoger una forma estructural menos vulnerable a los riesgos considerados;
- elegir una forma y diseño estructural que pueda soportar adecuadamente la eliminación accidental de un elemento de la estructura, de una parte limitada de la misma, o la aparición de un daño localizado de tamaño aceptable;
- evitar, siempre que sea posible, sistemas estructurales que puedan colapsar sin previo aviso;
- haciendo solidarios entre sí los elementos estructurales.

(6) Estos requisitos básicos deberán cumplirse mediante:

- la elección de los materiales apropiados,
- adoptando un diseño y disposiciones constructivas adecuados, y
- especificando los procedimientos de control para el proyecto, la fabricación, la ejecución y el uso correspondientes al proyecto concreto.

(7) Las disposiciones del apartado 2 deben entenderse sobre la base de que el proyecto se ha realizado con las aptitudes y el cuidado apropiados, apoyados en el conocimiento y las buenas prácticas disponibles en el momento en el que se ha realizado el proyecto de la estructura.

## 2.2 Gestión de la fiabilidad

(1) La fiabilidad requerida para las estructuras objeto de este anejo debe alcanzarse:

- a) mediante un proyecto conforme con el Código Estructural, y
- b) mediante
  - una ejecución adecuada y
  - una gestión de la calidad.

NOTA: Véanse el apartado 2.2(5) y Apéndice B.

(2) Pueden adoptarse distintos niveles de fiabilidad:

- para la resistencia estructural,
- para la aptitud al servicio.

(3) La elección de los niveles de fiabilidad de una estructura debe tener en cuenta los factores adecuados, como:

- la posible causa y/o modo de alcanzar un estado límite,
- las posibles consecuencias de un fallo en términos de riesgo de pérdida de vidas humanas, daños personales, potenciales pérdidas económicas,
- la aversión pública al fallo,
- los costes y procedimientos necesarios para reducir el riesgo de fallo.

(4) Los niveles de fiabilidad a aplicar a una determinada estructura podrán especificarse por una de las siguientes formas:

- mediante la clasificación de la estructura en su conjunto,
- mediante la clasificación de sus componentes.

NOTA: Véase también el Apéndice B.

(5) La fiabilidad requerida en materia de resistencia estructural y aptitud al servicio, puede alcanzarse mediante combinaciones adecuadas de las siguientes medidas:

- a) medidas de prevención y protección (por ejemplo, implantación de barreras de seguridad, medidas activas y pasivas de protección contra incendio, protección frente a la corrosión como la pintura o la protección catódica),
- b) medidas relativas a los cálculos de proyecto:
  - valores representativos de las acciones,
  - la elección de coeficientes parciales,
- c) medidas relativas a la gestión de la calidad,
- d) medidas destinadas a la reducción de errores en el proyecto y la ejecución de la estructura, y de errores humanos groseros;
- e) otras medidas relacionadas con el proyecto:
  - los requisitos básicos,
  - el grado de robustez (integridad estructural),

- la durabilidad, incluida la determinación de la vida útil,
  - el alcance y la calidad de los estudios previos de los suelos y las posibles influencias del medio ambiente,
  - la precisión de los modelos mecánicos utilizados,
  - los detalles constructivos,
- f) ejecución eficiente, de acuerdo con lo establecido en el Código Estructural,
- g) inspección y mantenimiento adecuados según los procedimientos especificados en los documentos del proyecto.

(6) En las circunstancias adecuadas, las medidas para prevenir las causas potenciales de fallo y/o para reducir sus consecuencias pueden intercambiarse, hasta cierto punto, siempre que se mantengan los niveles de fiabilidad requeridos.

### 2.3 Vida útil

(1) Deberá especificarse la vida útil.

NOTA: Las categorías recogidas, a título indicativo, en la tabla 2.1 pueden emplearse también para determinar los comportamientos que dependan del tiempo (por ejemplo, cálculos relativos a la fatiga). Véase también el Apéndice A.

Tabla 2.1 Vida útil nominal

Categoría de vida útil	Vida útil nominal (años)	Ejemplos
1	10	Estructuras temporales <sup>(1)</sup>
2	10 a 25	Partes reemplazables de la estructura, por ejemplo vigas carril, aparatos de apoyo
3	15 a 30	Estructuras agrícolas y similares
4	50	Estructuras de edificación y otras estructuras comunes
5	100	Estructuras de edificios monumentales, puentes y otras estructuras de ingeniería civil
(1) Las estructuras o partes de estructuras que pueden desmontarse con vistas a ser reutilizadas no deben considerarse como temporales.		

### 2.4 Durabilidad

Los criterios de durabilidad de las estructuras se recogen en los Capítulos 9 (para las estructuras de hormigón), 19 (para las estructuras de acero) y 29 (para las estructuras mixtas) de este Código Estructural.

(1) La estructura debe diseñarse de forma que su deterioro durante su vida útil no empeore el comportamiento de la estructura más de lo previsto, teniendo en cuenta el ambiente en el que se encuentra y el nivel de mantenimiento previsto.

(2) Con el fin de asegurar una durabilidad adecuada de la estructura, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- el uso previsto y previsible de la estructura,
- los criterios de cálculo requeridos,
- las condiciones ambientales esperadas,
- la composición, propiedades y prestaciones de los materiales y productos,
- las propiedades del suelo,
- la elección del sistema estructural,
- la forma de los elementos y los detalles constructivos de la estructura,
- la calidad de la mano de obra y el nivel de control,
- las medidas de protección específicas,
- el mantenimiento previsto durante la vida útil.

NOTA: Los Anejos 19 a 32 de este Código especifican las medidas apropiadas para reducir el deterioro.

(3) Las condiciones ambientales deben identificarse en la fase de proyecto de forma que se pueda evaluar su importancia desde el punto de vista de la durabilidad y se puedan adoptar las medidas adecuadas para la protección de los materiales utilizados en la estructura.

## 2.5 Gestión de la calidad

(1) Con el fin de obtener una estructura que se corresponda con los requisitos y las hipótesis realizadas en el cálculo, se deberán implantar unas medidas de gestión de la calidad adecuadas. Estas medidas incluyen:

- la definición de los requisitos de fiabilidad,
- medidas de organización y
- controles en las fases de proyecto, ejecución, uso y mantenimiento.

NOTA: La norma UNE-EN ISO 9001:2000 es una base adecuada para las medidas de gestión de calidad, cuando proceda.

## 3 Principios de cálculo de los estados límite

### 3.1 Generalidades

(1) Se debe distinguir entre los Estados Límite Últimos y los Estados Límite de Servicio.

NOTA: En algunos casos, pueden ser necesarias comprobaciones adicionales, por ejemplo, para garantizar la seguridad del tráfico.

(2) La comprobación de una de las dos categorías de estados límite puede omitirse siempre que se disponga de la información suficiente para probar que se cumplen los requisitos correspondientes a la otra.

(3) Los estados límite deben asociarse a situaciones de proyecto, véase el apartado 3.2.

(4) Las situaciones de proyecto deben clasificarse como persistentes, transitorias o accidentales, véase el apartado 3.2.

(5) La comprobación de los estados límite relacionados con efectos que dependen del tiempo (por ejemplo, fatiga) debe asociarse con la vida útil de la construcción.

NOTA: La mayoría de los efectos que dependen del tiempo son acumulativos.

### 3.2 Situaciones de proyecto

(1) Las situaciones de proyecto a considerar deben seleccionarse teniendo en cuenta las circunstancias bajo las cuales la estructura debe cumplir su función.

(2) Las situaciones de proyecto deberán clasificarse de la siguiente manera:

- situaciones de proyecto persistentes, que se refieren a las condiciones de uso normal,
- situaciones de proyecto transitorias, que se refieren a condiciones temporales aplicables a la estructura, por ejemplo, durante su ejecución o reparación,
- situaciones de proyecto accidentales, que se refieren a condiciones excepcionales aplicables a la estructura o a su exposición, por ejemplo, al fuego, impacto o a las consecuencias de un fallo localizado,
- situaciones de proyecto sísmicas, que se refieren a las condiciones aplicables a la estructura cuando esté sometida a efectos sísmicos.

NOTA: La información sobre situaciones específicas de proyecto dentro de cada una de estas clases se recoge en los Anejos 19 a 32 de este Código o en la reglamentación específica vigente.

(3) Las situaciones de proyecto seleccionadas deben ser lo suficientemente severas y variadas como para englobar todas las condiciones que se puedan prever razonablemente que vayan a presentarse durante la ejecución y uso de la estructura.

### 3.3 Estados Límite Últimos

(1) Deben clasificarse como Estados Límites Últimos aquellos que se refieran a:

- la seguridad de las personas y/o
- la seguridad de la estructura.

(2) En algunos casos, deben clasificarse como Estados Límite Últimos los estados límite concernientes a la protección de los contenidos de la estructura.

(3) Los estados previos al colapso estructural que, por simplicidad, se consideran en lugar del propio colapso, deben tratarse como Estados Límite Últimos.

(4) Deben comprobarse los Estados Límite Últimos cada vez que se produzca:

- la pérdida del equilibrio de la totalidad o parte de la estructura considerada como un sólido rígido,
- un fallo por deformación excesiva, por la transformación en mecanismo de la totalidad o parte de la estructura, por una rotura, por una pérdida de estabilidad de la totalidad o parte de la estructura, incluidos soportes y cimientos,
- un fallo por fatiga o por otros efectos que dependan del tiempo.

NOTA: Los distintos conjuntos de coeficientes parciales se asocian con los diferentes Estados Límite Últimos, véase el apartado 6.4.1.

### 3.4 Estados Límite de Servicio

(1) Deben clasificarse como Estados Límites de Servicio aquellos que se refieran a:

- el funcionamiento de la estructura o de los elementos estructurales sometidos a un uso normal,
- el confort de las personas,
- la apariencia de las construcciones.

NOTA 1: En el contexto de aptitud al servicio, el término “apariencia” se refiere a criterios como una deformación elevada o una fisuración generalizada, más que a aspectos estéticos.

(2) Debe distinguirse entre Estados Límite de Servicio reversibles e irreversibles.

(3) La comprobación de los Estados Límite de Servicio debe basarse en criterios relativos a los siguientes aspectos:

a) deformaciones que afecten a

- la apariencia,
- el confort de los usuarios, o
- el funcionamiento de la estructura (incluyendo el de máquinas o servicios),

o que causen daños en los acabados o en elementos no estructurales,

b) vibraciones

- que causen molestias a las personas, o
- que limiten la efectividad funcional de la estructura,

c) daño susceptible de afectar negativamente a:

- la apariencia,
- la durabilidad, o
- la funcionalidad de la estructura.

NOTA: En los Anejos 19 a 32 de este Código, o en la reglamentación específica vigente, se dan disposiciones adicionales relativas a los criterios de servicio.

### 3.5 Cálculo de los estados límite

(1) El cálculo de los estados límite debe basarse en la utilización de modelos estructurales y de cargas para los estados límite correspondientes.

(2) Debe comprobarse que no se supera ningún estado límite cuando en estos modelos se utilizan los correspondientes valores de cálculo para:

- las acciones,
- las propiedades de los materiales, o
- las propiedades de los productos, y
- los datos geométricos.

(3) Las comprobaciones deben realizarse para todas las situaciones de proyecto y todas las hipótesis de carga correspondientes.

(4) Deben satisfacerse los requisitos del apartado 3.5(1) mediante el método de los coeficientes parciales descrito en el apartado 6.

(5) Como alternativa, puede utilizarse un cálculo basado directamente en métodos probabilísticos.

NOTA 2: Como base de los métodos probabilísticos, véase el Apéndice C.

(6) Deben tenerse en cuenta las situaciones de proyecto seleccionadas e identificarse las situaciones críticas de carga.

(7) Para una comprobación concreta, deben seleccionarse hipótesis de carga identificándose combinaciones de cargas compatibles, conjuntos de deformaciones e imperfecciones que deben considerarse simultáneamente con acciones variables fijas y acciones permanentes.

(8) Deben tenerse en cuenta las posibles desviaciones con respecto a las direcciones o posiciones previstas de las acciones.

(9) Los modelos estructurales y de cargas pueden ser o modelos físicos, o modelos matemáticos.

## 4 Variables básicas

### 4.1 Acciones y condiciones ambientales

#### 4.1.1 Clasificación de las acciones

(1) Las acciones deben clasificarse según su variación en el tiempo como sigue:

- acciones permanentes ( $G$ ), por ejemplo peso propio de las estructuras, equipamientos y capas de rodadura, y acciones indirectas provocadas por retracción y asentamientos diferenciales,
- acciones variables ( $Q$ ), por ejemplo cargas impuestas en las plantas de los edificios, vigas y cubiertas, acción del viento o carga de nieve,
- acciones accidentales ( $A$ ), por ejemplo explosiones o impacto de vehículos.

NOTA: Las acciones indirectas causadas por deformaciones impuestas pueden ser permanentes o variables.

(2) Ciertas acciones, como las acciones sísmicas o las cargas de nieve, pueden considerarse acciones accidentales y/o variables, dependiendo de su lugar de aplicación, véanse los Anejos 19 a 32 de este Código o la reglamentación específica vigente.

(3) Las acciones producidas por el agua pueden considerarse como acciones permanentes y/o variables en función de la variación de su magnitud en el tiempo.

(4) Las acciones también deben clasificarse:

- por su origen, como directas o indirectas,
- por su variación en el espacio, como fijas o libres, o
- por su naturaleza y/o respuesta estructural, como estáticas o dinámicas.

(5) Se debe describir la acción mediante un modelo, en el que su magnitud se represente, en la mayoría de los casos, mediante un escalon que puede tener múltiples valores representativos.

NOTA: Para algunas acciones y comprobaciones, puede ser necesaria una representación más compleja de las magnitudes de ciertas acciones.

#### 4.1.2 Valores característicos de las acciones

(1) El valor característico  $F_k$  de una acción es su principal valor representativo y debe especificarse:

- como un valor medio, un valor superior o inferior, o un valor nominal (que no se refiere a una distribución estadística conocida),
- en los documentos del proyecto, siempre que sean compatibles y consistentes con los métodos dados en la reglamentación específica vigente.

(2) El valor característico de una acción permanente debe evaluarse de la siguiente forma:

- si la variabilidad de  $G$  puede considerarse pequeña, se puede emplear un único valor  $G_k$ ,
- si la variabilidad de  $G$  no puede considerarse pequeña, deberán utilizarse dos valores: un valor superior  $G_{k,sup}$  y un valor inferior  $G_{k,inf}$ .

(3) La variabilidad de  $G$  puede despreciarse si  $G$  no varía significativamente durante la vida útil de la estructura y su coeficiente de variación es pequeño. En estos casos,  $G_k$  debería tomarse igual al valor medio.

NOTA: Este coeficiente de variación puede estar en el intervalo de 0,05 a 0,10 dependiendo del tipo de estructura.

(4) En los casos en los que la estructura sea muy sensible a las variaciones de  $G$  (por ejemplo ciertos tipos de estructuras de hormigón pretensado), se deberán usar dos valores, incluso si el coeficiente de variación es muy pequeño. En estos casos  $G_{k,inf}$  es el cuantil asociado a una probabilidad del 5% y  $G_{k,sup}$  es el cuantil asociado a una probabilidad del 95% de una distribución estadística de  $G$ , que puede suponerse Gaussiana.

(5) El peso propio de la estructura puede representarse mediante un único valor característico y calcularse en base a las dimensiones nominales y los pesos unitarios medios.

NOTA: Para los asientos de las cimentaciones, véase la reglamentación específica vigente.

(6) El pretensado ( $P$ ) debe clasificarse como una acción permanente producida por fuerzas controladas y/o deformaciones controladas impuestas a la estructura. Los tipos de pretensado deben distinguirse entre sí como corresponda (por ejemplo pretensado mediante tendones, pretensado por deformaciones impuestas en los apoyos).

NOTA: Los valores característicos del pretensado, en un momento determinado  $t$ , pueden ser un valor superior  $P_{k,sup}(t)$  y un valor inferior  $P_{k,inf}(t)$ . Para Estados Límite Últimos, se puede usar un valor medio  $P_m(t)$ . En los Anejos 19 a 32 del Código Estructural, o la reglamentación específica vigente, se da información detallada al respecto.

(7) Para acciones variables, el valor característico ( $Q_k$ ) debe corresponderse con:

- un valor superior con una determinada probabilidad de no ser superado o un valor inferior con una determinada probabilidad de ser alcanzado, durante un periodo específico de referencia, o,
- un valor nominal, que puede especificarse en aquellos casos en los que no exista una distribución estadística conocida.

NOTA 1: Se dan valores en la reglamentación específica vigente.

NOTA 2: El valor característico de las acciones climáticas se basa en una probabilidad de 0,02 de superar su parte variable con el tiempo durante un periodo de referencia de un año. Esto equivale a un periodo de retorno medio de 50 años para la parte variable con el tiempo. Sin embargo, en algunos casos el carácter de la acción y/o la situación de proyecto seleccionada pueden hacer que sea más adecuado otro cuantil y/o periodo de retorno.

(8) Para acciones accidentales el valor de cálculo  $A_d$  debe especificarse para cada proyecto.

NOTA: Véase también la reglamentación específica vigente.

(9) Para acciones sísmicas el valor de cálculo  $A_{Ed}$  debe evaluarse a partir del valor característico  $A_{Ek}$  o especificarse para cada proyecto.

NOTA: Véase también la reglamentación específica vigente.

(10) Para acciones con componentes múltiples la acción característica debe representarse mediante grupos de valores cada uno de los cuales se considerará por separado en los cálculos.

#### 4.1.3 Otros valores representativos de las acciones variables

(1) Otros valores representativos de las acciones variables pueden ser los siguientes:

- (a) el valor de combinación, representado como un producto  $\Psi_0 Q_k$ , utilizado en la comprobación de los Estados Límite Últimos y de los Estados Límite de Servicio irreversibles (véanse el apartado 6 y Apéndice C),

- (b) el valor frecuente, representado como un producto  $\Psi_1 Q_k$ , empleado en la comprobación de los Estados Límite Últimos que incluyan acciones accidentales o para la comprobación de Estados Límite de Servicio reversibles.

NOTA 1: Para edificios, por ejemplo, se toma el valor frecuente como aquel que es excedido durante un tiempo que es el 0,01 del periodo de referencia; para cargas de tráfico rodado en puentes, el valor frecuente se evalúa en base a un periodo de retorno de una semana.

NOTA 2: El valor infrecuente, representado por el producto  $\psi_{1,infq} Q_k$ , se puede emplear solo para la comprobación de algunos Estados Límite de Servicio, específicamente para puentes de hormigón. El valor infrecuente, que se define solo para cargas de tráfico rodado (véase la reglamentación específica vigente) se basa en un periodo de retorno de un año.

NOTA 3: Véase la reglamentación específica vigente para el valor frecuente de las acciones de tráfico de componentes múltiples (multicomponentes).

- (c) el valor cuasi-permanente, representado como un producto  $\Psi_2 Q_k$ , empleado en la comprobación de Estados Límite Últimos que incluyan acciones accidentales y para la comprobación de Estados Límite de Servicio reversibles. Los valores cuasi-permanentes se utilizan también para el cálculo de efectos a largo plazo.

NOTA: Para cargas en plantas de edificios, se suele tomar el valor cuasi-permanente, de forma que la proporción en la que es superado es la mitad del periodo de referencia. El valor cuasi-permanente puede determinarse también como el valor medio de un determinado periodo de tiempo. En el caso de la acción del viento o de cargas de tráfico rodado este valor se toma, normalmente, como cero.

#### 4.1.4 Representación de las acciones de fatiga

(1) Los modelos para acciones de fatiga serán aquellos que hayan sido establecidos en la reglamentación específica vigente a partir de la evaluación de la respuesta estructural frente a variaciones de carga actuantes sobre estructuras comunes (por ejemplo para puentes de uno o varios vanos, para viento en estructuras altas y esbeltas).

(2) Para estructuras que estén fuera del campo de aplicación de los modelos establecidos en la reglamentación específica vigente, las acciones de fatiga deben definirse a partir de la evaluación de mediciones o estudios equivalentes del espectro de acciones previstas.

NOTA: Para considerar los efectos propios de los materiales (por ejemplo, considerar la influencia de la tensión media o de efectos no lineales), véase los Anejos 19 a 32 del Código Estructural.

#### 4.1.5 Representación de las acciones dinámicas

(1) Los modelos de carga definidos por valores característicos y los modelos de carga de fatiga definidos en la reglamentación específica vigente, pueden incluir los efectos de las aceleraciones producidas por las acciones bien implícitamente o bien explícitamente, aplicando coeficientes de mayoración dinámicos.

NOTA: Las limitaciones para el uso de estos modelos se describen en la reglamentación específica vigente.

(2) Cuando las acciones dinámicas ocasionen una aceleración significativa de la estructura, debe realizarse un análisis dinámico del sistema. Véase el apartado 5.1.3(6).

#### 4.1.6 Acciones geotécnicas

(1) Las acciones geotécnicas deben evaluarse de acuerdo con la reglamentación específica vigente, o en su defecto con los documentos técnicos específicos que el autor del proyecto considere más adecuados.

## 4.1.7 Condiciones ambientales

(1) Las condiciones ambientales que puedan afectar a la durabilidad de la estructura deben tenerse en cuenta en la elección de los materiales estructurales, sus especificaciones, la concepción estructural del conjunto y en los detalles.

NOTA: Los Anejos 19 a 32 o la reglamentación específica vigente especifican las medidas apropiadas.

(2) Deben tenerse en cuenta los efectos de las condiciones ambientales y, cuando sea posible, describirlos cuantitativamente.

## 4.2 Propiedades de materiales y productos

(1) Las propiedades de los materiales (incluso suelo y roca) o los productos deben representarse mediante valores característicos (véase el apartado 1.4.4.1).

(2) Deben tenerse en cuenta valores característicos superiores e inferiores de la propiedad de un material cuando su variabilidad influya en la comprobación de un estado límite.

(3) A menos que se indique lo contrario en los Anejos 19 a 32 o la reglamentación específica vigente:

- cuando el valor inferior de una propiedad de un material o de un producto sea desfavorable, el valor característico debe definirse como el del cuantil del 5%,
- cuando el valor superior de una propiedad de un material o de un producto sea desfavorable, el valor característico debe definirse como el del cuantil del 95%.

(4) Los valores de las propiedades de los materiales deben determinarse mediante ensayos normalizados realizados en condiciones específicas. Se aplicará un factor de conversión cuando sea necesario convertir los resultados de los ensayos a valores que pueda considerarse que representan el comportamiento del material o producto en la estructura o en el terreno.

NOTA: Véanse el Apéndice D y los Anejos 19 a 32 de este Código o la reglamentación específica vigente.

(5) Cuando no se disponga de suficientes datos estadísticos para establecer los valores característicos de una propiedad de un material o de un producto, se podrán tomar como tales los valores nominales, o se podrá establecer directamente los valores de cálculo de la propiedad. Cuando se establezcan directamente los valores de cálculo superior e inferior de una propiedad de un material o de un producto (por ejemplo, factores de fricción, coeficiente de amortiguamiento), deberán elegirse de manera que los valores más desfavorables influyan sobre la probabilidad de ocurrencia del estado límite considerado en una medida similar a otros valores de cálculo.

(6) Cuando sea necesaria la estimación del valor superior de la resistencia del material (por ejemplo, para medidas de cálculo de capacidad o para la resistencia a tracción del hormigón con el fin de calcular los efectos de acciones indirectas) deberá tenerse en cuenta un valor característico superior de la resistencia.

(7) Las reducciones de la resistencia del material o producto a considerar, como resultado de los efectos de acciones repetidas, se dan en los Anejos 19 a 32 de este Código o la reglamentación específica vigente y pueden llevar a una reducción de la resistencia estructural con el tiempo debido a la fatiga.

(8) Los parámetros de rigidez estructural (por ejemplo, módulo de elasticidad, coeficiente de fluencia) y los coeficientes de dilatación térmica deben representarse por un valor medio. Deben utilizarse valores diferentes para tener en cuenta la duración de la carga.

NOTA: En algunos casos (por ejemplo, en caso de inestabilidad), puede ser necesario tener en cuenta un valor inferior o superior al medio para el módulo de elasticidad.

(9) 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, de este Código.

(10) Si se necesitase un coeficiente parcial para los materiales o los productos, debe utilizarse un valor del lado de la seguridad, salvo que exista una información estadística adecuada para evaluar la fiabilidad del valor seleccionado.

NOTA: Cuando sea necesario, deberá tenerse en cuenta el carácter no corriente en la utilización de los materiales o productos empleados.

### 4.3 Datos geométricos

(1) Los datos geométricos deben representarse por sus valores característicos o (por ejemplo, en caso de imperfecciones) directamente por sus valores de cálculo.

(2) Las dimensiones especificadas en el cálculo pueden tomarse como valores característicos.

(3) Cuando su distribución estadística sea suficientemente conocida, se podrán utilizar los valores de los parámetros geométricos que correspondan al cuantil prescrito de la distribución estadística.

(4) Las imperfecciones que deben tenerse en cuenta en el cálculo de los elementos estructurales se indican en los Anejos 19 a 32 de este Código o en la reglamentación específica vigente.

(5) Las tolerancias de las partes ensambladas de materiales diferentes deben ser compatibles entre sí.

## 5 Análisis estructural y cálculo asistido con ensayos

### 5.1 Análisis estructural

#### 5.1.1 Modelización estructural

(1) El cálculo debe realizarse utilizando los modelos estructurales adecuados que incluyan las variables correspondientes.

(2) Los modelos estructurales elegidos deben ser los adecuados para predecir el comportamiento estructural con un nivel aceptable de precisión, y adecuados también para los estados límite considerados.

(3) Los modelos estructurales empleados deben basarse en teorías y prácticas consolidadas y, si fuera necesario, verificados experimentalmente.

#### 5.1.2 Acciones estáticas

(1) La modelización de acciones estáticas debe basarse en una correcta elección de las relaciones fuerza-deformación de los elementos y sus conexiones, y entre los elementos y el terreno.

(2) Las condiciones de contorno aplicadas al modelo deben representar las supuestas para la estructura.

(3) Los efectos de los desplazamientos y las deformaciones deben tenerse en cuenta en el contexto de la comprobación del Estado Límite Último si se traducen en un incremento considerable del efecto de las acciones.

NOTA: En los Anejos 19 a 32 de este Código, o en la reglamentación específica vigente, se dan métodos particulares para tener en cuenta los efectos de las deformaciones.

(4) Las acciones indirectas deben introducirse en el análisis de la siguiente manera:

- en análisis elástico lineal, directamente o como fuerzas equivalentes (utilizando las relaciones adecuadas entre módulos de elasticidad, según corresponda),
- en análisis no lineal, directamente como deformaciones impuestas.

### 5.1.3 Acciones dinámicas

(1) El modelo estructural a utilizar para la determinación de los efectos de las acciones debe establecerse considerando todos los elementos estructurales implicados, sus pesos, resistencias, rigideces y características de amortiguamiento, y todos los elementos no estructurales que correspondan con sus propiedades.

(2) Las condiciones de contorno aplicadas al modelo deben representar las supuestas para la estructura.

(3) Cuando sea posible considerar las acciones dinámicas como cuasi-estáticas, las partes dinámicas podrán considerarse incluyéndolas dentro de los valores estáticos, o mediante la aplicación de coeficientes de amplificación dinámica equivalentes a las acciones estáticas.

NOTA: Para algunos coeficientes de amplificación dinámica equivalentes, las frecuencias naturales están determinadas.

(4) En el caso de la interacción suelo-estructura, la contribución del suelo puede modelizarse mediante muelles y amortiguadores equivalentes.

(5) En algunos casos (por ejemplo, para las vibraciones inducidas por el viento o para las acciones sísmicas) se pueden definir las acciones mediante un análisis modal basado en un comportamiento del material y un comportamiento geométrico lineales. Para estructuras con una geometría, rigidez y distribución de masas regulares, en las que solo sea aplicable el modo fundamental, el análisis modal explícito podrá sustituirse por un análisis con acciones estáticas equivalentes.

(6) Dependiendo del caso, las acciones dinámicas podrán también expresarse en función del tiempo o en el dominio de frecuencias, determinándose la respuesta estructural mediante los métodos apropiados.

(7) Cuando las acciones dinámicas produzcan vibraciones de una magnitud o frecuencia que puedan exceder los requisitos en servicio, se debe realizar la comprobación del Estado Límite de Servicio.

NOTA: En el Apéndice A y en los Anejos 19 a 32 de este Código se dan directrices para la evaluación de estos límites.

### 5.1.4 Análisis estructural en caso de fuego

(1) El análisis estructural frente a incendio deberá basarse en escenarios de cálculo frente a incendio (véase la reglamentación específica vigente) y debe considerar los modelos de evolución de la temperatura en la estructura, así como los modelos de comportamiento mecánico de la estructura a temperaturas elevadas.

(2) Debe verificarse el comportamiento de la estructura expuesta al fuego mediante un análisis global, un análisis de subconjuntos o un análisis de elementos, o bien mediante el uso de datos tabulados o resultados de ensayos.

(3) El comportamiento de la estructura expuesta al fuego debe evaluarse teniendo en cuenta la exposición:

- a un fuego nominal, o
- a un fuego modelizado,

así como las acciones concomitantes.

NOTA: Véase también la reglamentación específica vigente.

(4) Debe evaluarse el comportamiento de la estructura a temperaturas elevadas de acuerdo con los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente, que proporcionan modelos térmicos y estructurales para el análisis.

(5) En función del material específico y del método de evaluación:

- los modelos térmicos pueden basarse en la hipótesis de una temperatura uniforme o no uniforme en las secciones transversales y a lo largo de los elementos,
- los modelos estructurales pueden limitarse a un análisis de elementos individuales o tener en cuenta la interacción entre elementos expuestos al fuego.

(6) Los modelos de comportamiento mecánico de los elementos estructurales a temperaturas elevadas deberían ser no lineales.

NOTA: Véanse también los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente.

## 5.2 Cálculo asistido con ensayos

(1) El proyecto puede basarse en una combinación de ensayos y cálculos.

NOTA: Los ensayos pueden realizarse, por ejemplo, en las siguientes circunstancias:

- si no se dispone de modelos de cálculo adecuados,
- si se van a utilizar un gran número de componentes similares,
- para confirmar, mediante ensayos de control, las hipótesis formuladas en el dimensionamiento.

Véase el Apéndice D.

(2) El proyecto asistido mediante resultados de ensayos debe alcanzar el nivel de fiabilidad requerido para la situación de proyecto correspondiente. Debe tenerse en cuenta la incertidumbre estadística debida a un reducido número limitado de resultados de ensayo.

(3) Se utilizarán coeficientes parciales (incluso aquellos que cubran las incertidumbres del modelo) comparables con los empleados en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

## 6 Comprobación por el método de los coeficientes parciales

### 6.1 Generalidades

(1) Cuando se utilice el método de los coeficientes parciales, debe comprobarse que, para todas las situaciones de proyecto que corresponda, no se sobrepasa ningún estado límite cuando en los modelos de cálculo se introducen los valores de cálculo de las acciones o los efectos de las acciones y las resistencias.

(2) Para las situaciones de proyecto seleccionadas y los estados límite correspondientes, las acciones para los estados críticos de carga deben combinarse como se detalla en este apartado. Las acciones que no puedan actuar simultáneamente, por ejemplo, debido a causas físicas, no deberán considerarse conjuntamente en la misma combinación.

(3) Los valores de cálculo deben obtenerse utilizando:

- los valores característicos,  $u$
- otros valores representativos,

en combinación con coeficientes parciales y otros coeficientes, de acuerdo a lo que se indica en este apartado y en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

(4) Los valores de cálculo podrán determinarse directamente cuando sea necesario ponerse del lado de la seguridad.

(5) Los valores de cálculo determinados directamente a partir de bases estadísticas deben corresponderse, al menos, con el mismo nivel de fiabilidad que conlleva la aplicación de los coeficientes parciales definidos en esta norma para los distintos estados límite.

## 6.2 Limitaciones

(1) La utilización de este anejo se limita a la comprobación en Estado Límite Último y de Servicio de estructuras sometidas a cargas estáticas, incluyendo aquellos casos en los que los efectos dinámicos se evalúan usando cargas cuasi-estáticas equivalentes y coeficientes de amplificación dinámica, por ejemplo, por las acciones del viento o de las cargas de tráfico. Para análisis no lineal y para fatiga, se aplicarán las reglas específicas dadas en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

## 6.3 Valores de cálculo

### 6.3.1 Valores de cálculo de las acciones

(1) El valor de cálculo  $F_d$  de una acción  $F$  puede expresarse en términos generales como:

$$F_d = \gamma_f F_{rep} \quad (6.1a)$$

con:

$$F_{rep} = \Psi F_k \quad (6.1b)$$

donde:

$F_k$	es el valor característico de la acción
$F_{rep}$	es el valor representativo de la acción
$\gamma_f$	es el coeficiente parcial de seguridad para la acción, que tiene en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables del valor de la acción respecto al valor representativo
$\Psi$	puede ser 1,00 o $\Psi_0$ , $\Psi_1$ o $\Psi_2$ .

(2) Para acciones sísmicas, el valor de cálculo  $A_{Ed}$ , debe determinarse teniendo en cuenta el comportamiento estructural y otros criterios de acuerdo con la reglamentación técnica específica.

### 6.3.2 Valores de cálculo de los efectos de las acciones

(1) Para una situación de carga específica, los valores de cálculo de los efectos de las acciones ( $E_d$ ) pueden expresarse en términos generales como:

$$E_d = \gamma_{sd} E\{\gamma_{f,i} F_{rep,i}; a_d\} \quad i \geq 1 \quad (6.2)$$

donde:

ad	es el valor de cálculo de los datos geométricos (véase el apartado 6.3.4)
$\gamma_{sd}$	es el coeficiente parcial de seguridad que tiene en cuenta las incertidumbres: <ul style="list-style-type: none"> <li>- en la modelización de los efectos de las acciones,</li> <li>- en algunos casos, en la modelización de acciones.</li> </ul>

NOTA: En el caso más general, los efectos de las acciones dependen de las propiedades de los materiales.

(2) En la mayoría de los casos, se puede hacer la siguiente simplificación:

$$E_d = E\{\gamma_{F,i} F_{rep,i}; a_d\} \quad i \geq 1 \quad (6.2a)$$

con:

$$\gamma_{F,i} = \gamma_{sd} \cdot \gamma_{f,i} \quad (6.2b)$$

NOTA: Cuando proceda, por ejemplo, en el caso de acciones geotécnicas, pueden aplicarse coeficientes parciales  $\gamma_{F,i}$  a los efectos de cada una de las acciones individuales, o bien un único coeficiente parcial adecuado  $\gamma_F$ , al efecto de la combinación de las acciones con sus correspondientes coeficientes parciales.

(3) Cuando se tenga que distinguir entre efectos favorables y desfavorables de las acciones permanentes, se utilizarán dos coeficientes parciales distintos ( $\gamma_{G,inf}$  y  $\gamma_{G,sup}$ ).

(4) Para un análisis no lineal (es decir, cuando la relación entre las acciones y sus efectos sea no lineal), en el que exista una única acción predominante se pueden aplicar las siguientes reglas simplificadas:

- a) Cuando el efecto de la acción aumente más que la acción, el coeficiente parcial  $\gamma_F$  se aplicará al valor representativo de la acción.
- b) Cuando el efecto de la acción aumente menos que la acción, el coeficiente parcial  $\gamma_F$  se aplicará al efecto del valor representativo de la acción.

NOTA: A excepción de las estructuras de cuerdas, de cables y de membranas, la mayoría de las estructuras o elementos estructurales pertenecen a la categoría a).

(5) En aquellos casos en los que se detallan métodos más precisos en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente correspondiente (por ejemplo, para estructuras pretensadas), se utilizarán estos preferentemente, antes que los indicados en el apartado 6.3.2(4).

### 6.3.3 Valores de cálculo de las propiedades de materiales o productos

(1) El valor de cálculo  $X_d$  de la propiedad de un material o producto puede expresarse en términos generales como:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (6.3)$$

donde:

- |            |  |
|------------|--|
| $X_k$      | es el valor característico de la propiedad del material o producto (véase el apartado 4.2(3))  |
| $\eta$     | es el valor medio del factor de conversión teniendo en cuenta, <ul style="list-style-type: none"> <li>- los efectos de volumen y escala,</li> <li>- los efectos de la humedad y la temperatura, y</li> <li>- cualquier otro parámetro que corresponda</li> </ul>   |
| $\gamma_m$ | es el coeficiente parcial para la propiedad del material o producto que tiene en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> <li>- la posibilidad de una desviación desfavorable de la propiedad del material o producto respecto a su valor característico,</li> <li>- la parte aleatoria del factor de conversión <math>\eta</math>.</li> </ul> |

(2) Alternativamente, en los casos adecuados, el factor de conversión  $\eta$  puede tenerse en cuenta:

- implícitamente dentro del propio valor característico, o
- utilizando  $\gamma_M$  en vez de  $\gamma_m$  (véase la expresión (6.6b)).

NOTA: El valor de cálculo puede establecerse mediante:

- relaciones empíricas con propiedades físicas medidas, o
- con la composición química, o
- de la experiencia previa, o
- a partir de valores dados en las normas europeas u otros documentos apropiados.

### 6.3.4 Valores de cálculo de los datos geométricos

(1) Los valores de cálculo de los datos geométricos, como pueden ser las dimensiones de los elementos que se utilizan para la evaluación de los efectos de las acciones y/o resistencias, pueden representarse mediante valores nominales:

$$a_d = a_{nom} \quad (6.4)$$

(2) Cuando los efectos de las desviaciones en los datos geométricos (por ejemplo, imprecisión en la aplicación de la carga o en la posición de los apoyos) sean significativos para la fiabilidad de la estructura (por ejemplo por efectos de segundo orden) los valores de cálculo de los datos geométricos deben definirse por:

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (6.5)$$

donde:

$\Delta a$  tiene en cuenta:

- la posibilidad de desviaciones desfavorables respecto a los valores característicos o nominales,
- el efecto acumulativo de la acción simultánea de varias desviaciones geométricas.

NOTA 1:  $a_d$  también puede representar imperfecciones geométricas cuando  $a_{nom} = 0$  (es decir,  $\Delta a \neq 0$ ).

NOTA 2: Cuando corresponda, los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente establecerán disposiciones adicionales.

(3) Los efectos de otras desviaciones deben quedar cubiertos mediante la aplicación de coeficientes parciales:

- sobre las acciones ( $\gamma_F$ ), y/o
- sobre las resistencias ( $\gamma_M$ ).

NOTA: Las tolerancias se definen en las normas correspondientes en cumplimiento de lo recogido en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

### 6.3.5 Resistencia de cálculo

(1) La resistencia de cálculo  $R_d$  puede expresarse de la siguiente manera:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_{d,i}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d\right\} \quad i \geq 1 \quad (6.6)$$

donde:

$\gamma_{Rd}$  es el coeficiente parcial que contempla la incertidumbre en el modelo de resistencia, además de las desviaciones geométricas si estas no han sido modelizadas explícitamente (véase el apartado 6.3.4(2))

$X_{d,i}$  es el valor de cálculo de la propiedad  $i$  del material.

(2) Se pueden hacer las siguientes simplificaciones de la expresión (6.6):

$$R_d = R \left\{ \eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d \right\} \quad i \geq 1 \quad (6.6a)$$

donde:

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \cdot \gamma_{m,i} \quad (6.6b)$$

NOTA:  $\eta_i$  puede incorporarse en  $\gamma_{M,i}$ , véase el apartado 6.3.3(2).

(3) De forma alternativa a la expresión (6.6a), la resistencia de cálculo puede obtenerse directamente a partir del valor característico de la resistencia del material o producto, sin la determinación explícita de los valores de cálculo para las variables básicas individuales, utilizando:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (6.6c)$$

NOTA: Esto es aplicable a productos o elementos hechos de un único material (por ejemplo acero) y también puede usarse en relación con el Apéndice D "Recomendaciones para el cálculo asistido por ensayos".

(4) De forma alternativa a las expresiones (6.6a) y (6.6c), para estructuras o elementos estructurales que se analicen por métodos no lineales y conlleven el uso de más de un material actuando conjuntamente, o cuando las propiedades del terreno se incluyan en la resistencia de cálculo, se puede utilizar la siguiente expresión para la resistencia de cálculo:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{M,1}} R \left\{ \eta_1 X_{k,1}; \eta_i X_{k,i(i>1)} \frac{\gamma_{m,1}}{\gamma_{m,i}}; a_d \right\} \quad (6.6d)$$

NOTA: En algunos casos, la resistencia de cálculo puede expresarse mediante la aplicación directa de los coeficientes parciales  $\gamma_M$  a las resistencias individuales debidas a las propiedades de los materiales.

## 6.4 Estados Límite Últimos

### 6.4.1 Generalidades

(1) Se comprobarán los siguientes estados límite:

- a) EQU: Pérdida de equilibrio estático de la estructura o de cualquier parte de ella considerada como un sólido rígido, en que:
  - sean significativas las pequeñas variaciones en el valor o en la distribución espacial de las acciones de un mismo origen, y
  - las resistencias de los materiales de construcción o del terreno no sean, en general, determinantes,
- b) SRT: Fallo interno o deformación excesiva de la estructura o elementos estructurales, incluso zapatas, muros de sótano, etc., cuando sea determinante la resistencia de los materiales,
- c) GEO: Fallo o deformación excesiva del terreno cuando la resistencia del suelo o de la roca sea determinante en la aportación de resistencia,
- d) FAT: Fallo por fatiga de la estructura o de los elementos estructurales.

NOTA: Para el cálculo a fatiga, las combinaciones de acciones se dan en los Anejos 19 a 32, de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

- e) UPL: pérdida del equilibrio de la estructura o el terreno debido a la subpresión u otras acciones verticales,
- f) HYD: elevación hidráulica, erosión interna y erosión en túnel (tubidificación) en el terreno, producidas por los gradientes hidráulicos.

NOTA: Véase la normativa técnica específica.

(2) Los valores de cálculo de las acciones deben ser acordes con el Apéndice A.

#### 6.4.2 Comprobación del equilibrio estático y de la resistencia

(1) Cuando se considere un estado límite de equilibrio de la estructura (EQU), se debe verificar que:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \quad (6.7)$$

donde:

$E_{d,dst}$  es el valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras

$E_{d,stab}$  es el valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras.

(2) Cuando corresponda, la expresión del estado límite de equilibrio puede complementarse con términos adicionales, incluyendo, por ejemplo, un coeficiente de rozamiento entre sólidos rígidos.

(3) Cuando se considere un estado límite de rotura o de deformación excesiva de una sección, elemento o conexión (STR y/o GEO), debe verificarse que:

$$E_d \leq R_d \quad (6.8)$$

donde:

$E_d$  es el valor de cálculo de los efectos de acciones, tales como esfuerzos, momentos o vectores que representan varios esfuerzos o momentos

$R_d$  es el valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

NOTA 1: Los detalles de los métodos STR y GEO se dan en el Apéndice A.

NOTA 2: La expresión (6.8) no cubre todos los formatos de comprobación relativos a pandeo, es decir, el fallo que se produce cuando los efectos de segundo orden no pueden limitarse por la respuesta estructural o mediante una respuesta estructural aceptable. Véanse los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente.

#### 6.4.3 Combinación de acciones (excepto para comprobaciones a fatiga)

##### 6.4.3.1 General

(1) Para cada caso de carga crítica, los valores de cálculo de los efectos de las acciones ( $E_d$ ) deben determinarse mediante la combinación de los valores de las acciones que se considere que puedan ocurrir simultáneamente.

(2) Cada combinación de acciones debe incluir:

- una acción variable predominante, o
- una acción accidental.

(3) Las combinaciones de las acciones deben estar de acuerdo con los apartados 6.4.3.2 a 6.4.3.4.

(4) Cuando los resultados de la comprobación sean muy sensibles a las variaciones de magnitud de una acción permanente de un punto a otro de la estructura, la acción deberá dividirse en dos partes: aquella que tiene efectos favorables y la que tiene efectos desfavorables, que deberán considerarse como acciones individuales.

NOTA: Esto es de aplicación, en particular, para la comprobación del equilibrio estático y otros estados límite semejantes, véase el apartado 6.4.2(2).

(5) Cuando varios efectos de una misma acción (por ejemplo, el momento flector y el esfuerzo axil debidos al peso propio) no estén completamente correlacionados, se puede reducir el coeficiente parcial aplicado a cualquiera de las componentes que den efectos favorables.

NOTA: Para una mayor información en este tema véanse las cláusulas relativas a efectos vectoriales en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

(6) Las deformaciones impuestas deberán tenerse en cuenta cuando corresponda.

NOTA: Para mayor información, véanse el apartado 5.1.2.4 y los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

#### 6.4.3.2 Combinación de acciones para situaciones de proyecto permanentes o transitorias (combinaciones fundamentales)

(1) El formato general de los efectos de las acciones será:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9a)$$

(2) La combinación de los efectos de las acciones a considerar debe basarse en:

- el valor de cálculo de la acción variable predominante, y
- los valores de combinación de cálculo de las acciones variables concomitantes:

NOTA: Véase también 6.4.3.2(4).

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9b)$$

(3) La combinación de acciones entre llaves { }, en (6.9b) pueden expresarse o como:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + " \gamma_P P " + " \gamma_{Q,1} Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

o, alternativamente para los estados límite STR y GEO, como la expresión menos favorable de las siguientes:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + " \gamma_P P " + " \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + " \gamma_P P " + " \gamma_{Q,1} Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

donde:

- “+”                    significa “combinarse con”
- $\Sigma$                     significa “el efecto combinado de”
- $\xi$                       es una reducción del factor para acciones permanentes G desfavorables.

NOTA: En el Apéndice A se da una mayor información para esta elección.

(4) Si la relación entre las acciones y sus efectos no es lineal, las expresiones (6.9a) o (6.9b) deben aplicarse directamente, dependiendo del incremento relativo de los efectos de las acciones comparado con el incremento de la magnitud de las acciones (véase también el apartado 6.3.2(4)).

#### 6.4.3.3 Combinación de acciones para situaciones de proyecto accidentales

(1) El formato general de los efectos de las acciones será:

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; A_d; (\Psi_{1,1} \circ \Psi_{2,1}) Q_{k,1}; \Psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.11a)$$

(2) La combinación de acciones entre llaves { } puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + " P " + " A_d " + " (\Psi_{1,1} \circ \Psi_{2,1}) Q_{k,1} " + " \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.11b)$$

(3) La elección entre  $\Psi_{1,1}Q_{k,1}$  o  $\Psi_{2,1}Q_{k,1}$  estará condicionada por la situación accidental de proyecto de la que trate (impacto, fuego o supervivencia tras un hecho o situación accidental).

NOTA: En los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente se dan indicaciones al respecto.

(4) Las combinaciones de acciones para situaciones de proyecto accidentales deben

- incluir una acción accidental explícita A (fuego o impacto), o
- referirse a una situación posterior a un suceso accidental (A=0).

En situaciones de incendio, además del efecto de la temperatura en las propiedades de los materiales,  $A_d$  debe representar el valor de cálculo de los efectos indirectos de la acción térmica debida al fuego.

#### 6.4.3.4 Combinación de acciones para situaciones de proyecto frente al sismo

(1) El formato general de los efectos de las acciones será:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; A_{Ed}; \Psi_{2,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.12a)$$

(2) La combinación de acciones entre llaves { } puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "A_{Ed}" + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (6.12b)$$

#### 6.4.4 Coeficientes parciales de seguridad para acciones y combinaciones de acciones

(1) Los valores de los coeficientes  $\gamma$  y  $\Psi$  para las acciones deben obtenerse de la reglamentación específica vigente y del Apéndice A.

#### 6.4.5 Coeficientes parciales para materiales y productos

(1) Los coeficientes parciales para las propiedades de materiales y productos deben obtenerse de los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o de la reglamentación específica vigente.

### 6.5 Estados Límite de Servicio

#### 6.5.1 Comprobaciones

(1) Debe comprobarse que:

$$E_d \leq C_d \quad (6.13)$$

donde:

- |       |  |
|-------|--|
| $C_d$ | es el valor límite de cálculo para el criterio de servicio correspondiente   |
| $E_d$ | es el valor de cálculo de los efectos de las acciones consideradas para el criterio de servicio, determinado en base a la combinación correspondiente. |

#### 6.5.2 Criterios de servicio

(1) Las deformaciones a considerar en relación con los requisitos de servicio deben ser como las definidas en el Apéndice A, en función del tipo de proceso constructivo.

NOTA: Para otros criterios de servicio específicos como el ancho de fisura, la limitación de tensión o deformación, la resistencia al deslizamiento, véanse los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente.

### 6.5.3 Combinación de acciones

(1) Las combinaciones de acciones a considerar en las situaciones de proyectos deben ser apropiadas para los requisitos de servicio y los criterios de comportamiento objeto de comprobación.

(2) Las combinaciones de acciones para los Estados Límite de Servicio se definen simbólicamente mediante las expresiones siguientes (véase también el apartado 6.5.4):

NOTA: En estas expresiones, se supone que todos los coeficientes parciales son iguales a 1. Véanse los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente.

a) Combinación característica

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \Psi_{0,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.14a)$$

en la que la combinación de acciones entre llaves { } (denominada combinación característica), puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "Q_{k,1}" + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

NOTA: La combinación característica se utiliza normalmente para estados límite irreversibles.

b) Combinación frecuente:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; \Psi_{1,1}Q_{k,1}; \Psi_{2,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.15a)$$

en la que la combinación de acciones entre llaves { } (denominada combinación frecuente), puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + \Psi_{1,1}Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

NOTA: La combinación frecuente se utiliza normalmente para estados límite reversibles.

c) Combinación cuasi-permanente:

$$E_d = E\{G_{k,j}; P; \Psi_{2,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.16a)$$

en la que la combinación de acciones entre llaves { } (llamada la combinación cuasi-permanente), puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

donde la notación es como la dada en los apartados 1.5 y 6.4.3(1).

NOTA: La combinación cuasi-permanente se utiliza normalmente para efectos a largo plazo y para el aspecto de la estructura.

(3) Para el valor representativo de la acción de pretensado (es decir,  $P_k$  o  $P_m$ ), deberá remitirse al anejo correspondiente en función del tipo de pretensado considerado.

(4) Los efectos de las acciones debidos a deformaciones impuestas deben considerarse cuando corresponda.

NOTA: En algunos casos las expresiones (6.14) a (6.16) deben modificarse. Se dan reglas detalladas en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente.

### 6.5.4 Coeficientes parciales para los materiales

(1) Para los Estados Límite de Servicio, los coeficientes parciales  $\gamma_M$  para las propiedades de los materiales deben tomarse como 1,0 salvo especificación en contrario en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural.

## Apéndice A.1 Aplicación a edificación

Se adoptará lo establecido en el Código Técnico de la Edificación.

Adicionalmente, para la combinación de acciones para situaciones de proyecto persistentes o transitorias (combinaciones fundamentales) definidas en el apartado 6.4.3.2 de este anejo, la verificación se realizará de acuerdo a la ecuación 6.10.

## Apéndice A.2 Aplicación en puentes

Se adoptará lo establecido en la Reglamentación específica vigente.

Adicionalmente, para la combinación de acciones para situaciones de proyecto persistentes o transitorias (combinaciones fundamentales) definidas en el apartado 6.4.3.2 de este anejo, la verificación se realizará de acuerdo a la ecuación 6.10.

En el caso de situaciones de proyecto accidentales, la verificación se realizará de acuerdo a la ecuación 6.11b, y en el caso de sísmicas, la ecuación 6.12b.

## Apéndice B Recomendaciones para la gestión de la fiabilidad estructural en trabajos de construcción

### B.1 Alcance y campo de aplicación

(1) Este anejo proporciona indicaciones adicionales al apartado 2.2 (Gestión de la fiabilidad) y a las cláusulas correspondientes de los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o la reglamentación específica vigente.

NOTA: Las reglas sobre niveles de fiabilidad para aspectos particulares se especifican en los Anejos 19 a 29 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

(2) El planteamiento dado en este apéndice recomienda los siguientes procedimientos de gestión de la fiabilidad estructural para obras de construcción (con respecto a los ELU, excepto la fatiga):

- a) En relación al apartado 2.2(5)b, las clases se introducen y se basan en las presuntas consecuencias del fallo y la exposición al riesgo de las obras de construcción al riesgo. En el apartado B.3 se da un procedimiento para permitir pequeñas diferencias en los coeficientes parciales de acciones y resistencias correspondientes a las diferentes clases.

NOTA: La clasificación de la fiabilidad puede representarse mediante índices  $\beta$  (véase el Apéndice C) que tienen en cuenta la variabilidad estadística aceptada o asumida para los efectos de las acciones, las resistencias y las incertidumbres del modelo.

- b) En relación con los apartados 2.2(5)c y 2.2(5)d, se da en los apartados B.4 y B.5 un procedimiento para permitir la distinción entre diferentes tipos de obras de construcción en los requisitos para los niveles de calidad del proyecto y en los procesos de ejecución.

NOTA: Estas medidas de gestión de calidad y control en el proyecto, disposiciones constructivas y ejecución se dan en los apartados B.4 y B.5 con ánimo de eliminar los fallos debidos a errores groseros y asegurar las resistencias supuestas en el proyecto.

(3) El procedimiento ha sido formulado con el fin de crear un marco que permita, si así se desea, el uso de distintos niveles de fiabilidad.

### B.2 Notación

En este anejo son de aplicación los siguientes símbolos.

$K_{FI}$	Coeficiente aplicable a las acciones para el nivel de fiabilidad
$\beta$	Índice de fiabilidad.

### B.3 Nivel de fiabilidad

#### B.3.1 Clases de consecuencias

(1) A partir de las consecuencias del fallo o mal funcionamiento de la estructura se pueden establecer unas clases de consecuencias (CC) como las dadas en la tabla B1 con el propósito de emplearlas posteriormente para identificar el nivel de fiabilidad.

Tabla B1 Definición de las clases de consecuencias

Clase de consecuencia	Descripción	Ejemplos de obras de edificación e ingeniería civil
CC3	Consecuencias Graves de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales muy importantes.	Graderíos, edificios públicos en los que las consecuencias del fallo son graves (por ejemplo, una sala de conciertos).
CC2	Consecuencia media de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales considerables.	Edificios residenciales y administrativos, edificios públicos en los que las consecuencias de fallo son medias (por ejemplo, un edificio de oficinas).
CC1	Consecuencias bajas de pérdida de vidas humanas, o consecuencias económicas, sociales o medioambientales pequeñas o despreciables.	Edificios agrícolas en los que normalmente no entre gente (por ejemplo, almacenes), invernaderos.

(2) El criterio para la clasificación de las consecuencias es la importancia (en términos de consecuencias del fallo) de la estructura o del elemento estructural considerado, véase el apartado B.3.3.

(3) Dependiendo de la forma estructural y de las decisiones tomadas durante el proyecto, los elementos particulares de la estructura pueden proyectarse para una clase de consecuencias, igual, mayor o menor que la del conjunto de la estructura.

NOTA: Actualmente los requisitos de fiabilidad están relacionados con los elementos estructurales de las obras de construcción.

### B.3.2 Diferenciación mediante valores de $\beta$

(1) Las clases de fiabilidad (RC) pueden definirse mediante el concepto de índice de fiabilidad  $\beta$ .

(2) Se pueden asociar tres clases de fiabilidad RC1, RC2 y RC3 con las tres clases de consecuencias CC1, CC2 y CC3.

(3) La tabla B2 da los valores mínimos recomendados para los índices de fiabilidad asociados con las clases de fiabilidad (véase también el Apéndice C).

(4) El Artículo 5.2.1.1 del Código Estructural establece que, 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.

Tabla B2 Valores mínimos recomendados para los índices de fiabilidad  $\beta$  (Estados Límite Últimos)

Clase de fiabilidad	Valores mínimos de $\beta$	
	Periodo de referencia de 1 año	Periodo de referencia de 50 años
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

### B.3.3 Diferenciación mediante medidas relativas a los coeficientes parciales

(1) Una forma de alcanzar el nivel de fiabilidad requerido es mediante el uso de distintas clases de coeficientes  $\gamma_F$  en las combinaciones para situaciones de proyecto persistentes. Por ejemplo, para unos mismos niveles de supervisión de proyecto e inspección de la ejecución, se puede aplicar a los coeficientes parciales un coeficiente multiplicador  $K_{FI}$ , véase la tabla B3.

Tabla B3 Coeficiente  $K_{FI}$  para acciones

Factor $K_{FI}$ para acciones	Clase de fiabilidad		
	RC1	RC2	RC3
$K_{FI}$	0,9	1,0	1,1

NOTA: En particular, para la clase RC3, se tiende normalmente a utilizar otras medidas como las descritas en este apéndice, antes que utilizar los coeficientes  $K_{FI}$ . El coeficiente  $K_{FI}$  solo debe aplicarse a las acciones desfavorables.

(2) El nivel de fiabilidad también puede aplicarse a través de coeficientes parciales de resistencia de los materiales  $\gamma_M$ . Una excepción es la relativa a la comprobación de fatiga (véanse los Anejos 22 a 29 de este Código Estructural). Véase también el apartado B.6.

(3) La aplicación de las clases de  $\gamma_F$  puede asociarse al cumplimiento de medidas adicionales como, por ejemplo, el nivel del control de calidad para el proyecto y para la ejecución de la estructura. En este apéndice, se ha adoptado un sistema de tres niveles de control durante el proyecto y la ejecución. Se proponen los niveles de supervisión de proyecto y de inspección asociados con las clases de fiabilidad.

(4) Puede haber casos (por ejemplo, farolas, mástiles, etc.) donde, por razones de economía, la estructura deba estar en RC1, pero sometida a unos niveles más elevados de supervisión de proyecto y de inspección de la ejecución.

### B.4 Niveles de supervisión del proyecto

(1) Los niveles en la supervisión del proyecto consisten en distintas medidas de organización de control de calidad, que pueden usarse conjuntamente. Por ejemplo, la definición del nivel de supervisión de proyecto (apartado B.4(2)) puede utilizarse junto con otras medidas como la clasificación del contratista y el control por parte de las autoridades (apartado B.4(3)).

(2) En la tabla B4 se muestran tres niveles posibles de supervisión de proyecto (DSL). Los niveles de supervisión de proyecto pueden relacionarse con la clase de fiabilidad seleccionada o ser escogidos de acuerdo con la importancia de la estructura en correspondencia con los requisitos nacionales o las indicaciones del proyecto e implementados a través de las medidas adecuadas de gestión de calidad. Véase el apartado 2.5.

Tabla B4 Niveles de supervisión de proyecto (DSL)

Niveles de supervisión de proyecto	Características	Requisitos mínimos recomendados para la comprobación de los cálculos, planos y pliegos
DSL3 relativo al RC3	Supervisión ampliada	Comprobación por un tercero: comprobación realizada por una organización distinta de la que redactó el proyecto
DSL2 relativo al RC2	Supervisión normal	Comprobación por personas distintas de las responsables de la redacción del proyecto y de acuerdo con el procedimiento de la organización.
DSL1 relativo al RC1	Supervisión normal	Autocontrol: comprobación realizada por la misma persona que ha redactado el proyecto

(3) Los niveles de supervisión de proyecto pueden incluir también una clasificación de los proyectistas y/o de los inspectores de proyecto (controladores, autoridades de control, etc.), dependiendo de su competencia, su experiencia, la organización a la que pertenezcan, y el tipo de obra proyectada.

NOTA: El tipo de obra, los materiales empleados y las formas estructurales pueden afectar a esta clasificación.

(4) Alternativamente, los niveles de supervisión de proyecto pueden consistir en una evaluación más precisa y detallada de la naturaleza y magnitud de las acciones a resistir por la estructura o del sistema de distribución de las cargas de proyecto, al objeto de controlar (restringir), de forma activa o pasiva, estas acciones.

## B.5 Inspección durante la ejecución

(1) Se pueden introducir tres niveles de inspección (IL), como se muestra en la tabla B5. Los niveles de inspección pueden vincularse a las clases de gestión de calidad seleccionadas o implementadas en la obra, mediante las correspondientes medidas de gestión de calidad. Véase el apartado 2.5. Se dan más indicaciones en las correspondientes normas de ejecución referenciadas en los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente.

Tabla B5 Niveles de inspección (IL)

Niveles de inspección	Características	Requisitos
IL3 relativo al RC3	Inspección ampliada	Inspección por un tercero
IL2 relativo al RC2	Inspección normal	Comprobación de acuerdo con los procedimientos de la organización
IL1 relativo al RC1	Inspección normal	Autoinspección

NOTA: Los niveles de inspección definen los aspectos que deben ser cubiertos para la inspección de los productos y de la ejecución de las obras, así como la fiabilidad de dichas inspecciones. De este modo, las reglas variarán de un material estructural a otro y se darán en las correspondientes normas de ejecución.

## **B.6 Coeficientes parciales de seguridad para las propiedades de resistencia**

(1) El coeficiente parcial de una propiedad de un material o producto, o de la resistencia de un elemento puede reducirse siempre que se utilice una clase de control superior a la necesaria de acuerdo con la tabla B5 y/o se especifiquen requisitos más severos.

NOTA: Para comprobar la eficacia a través de ensayos, véanse el apartado 5 y el Apéndice D.

NOTA: En los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente se dan o referencian reglas para distintos materiales.

NOTA: Dicha reducción, que tiene en cuenta, por ejemplo variaciones dimensionales o incertidumbres del modelo, no supone una modificación del nivel de fiabilidad, sino que se trata únicamente de una medida de compensación a la vista de la mayor eficacia de las medidas de control adoptadas.

## Apéndice C Recomendaciones para el cálculo con coeficientes parciales y análisis de la fiabilidad

### C.1 Alcance y campo de aplicación

(1) Este apéndice proporciona información y una base teórica sobre el método de los coeficientes parciales descrito en el apartado 6 y el Apéndice A. Este apéndice también proporciona la base para el Apéndice D y está relacionado con los contenidos del Apéndice B.

(2) Este apéndice también proporciona información sobre

- los métodos de fiabilidad estructural,
- la aplicación del método basado en la fiabilidad para calibrar los valores de cálculo y/o coeficientes parciales en las expresiones de cálculo,
- los formatos de comprobación de cálculo utilizados en los Anejos 19 a 32 de ese Código Estructural.

### C.2 Notación

En este apéndice son de aplicación los siguientes símbolos.

#### Letras latinas mayúsculas

$P_f$	probabilidad de fallo
$Prob(.)$	probabilidad
$P_s$	probabilidad de supervivencia

#### Letras latinas minúsculas

$a$	propiedad geométrica
$g$	función de comportamiento

#### Letras griegas mayúsculas

$\Phi$	función de distribución acumulada de la distribución Normal estándar
--------	--

#### Letras griegas minúsculas

$\alpha_E$	coeficiente de sensibilidad FORM (método de fiabilidad de primer orden) para los efectos de las acciones
$\alpha_R$	coeficiente de sensibilidad FORM (método de fiabilidad de primer orden) para la resistencia
$\beta$	índice de fiabilidad
$\theta$	incertidumbre del modelo
$\mu_X$	valor medio de X
$\sigma_X$	desviación estándar de X
$V_X$	coeficiente de variación de X

### C.3 Introducción

(1) En el método de los coeficientes parciales se dan valores de cálculo de las variables básicas (es decir, acciones, resistencias y propiedades geométricas) a través del uso de coeficientes parciales y coeficientes  $\Psi$ , debiéndose realizar una comprobación para asegurar que no se ha superado el estado límite correspondiente. Véase el apartado C.7.

NOTA: El apartado 6 describe los valores de cálculo de las acciones y efectos de las acciones y los valores de cálculo de las propiedades de materiales y productos, así como de los datos geométricos.

(2) En principio, los valores numéricos de los coeficientes parciales y los coeficientes  $\Psi$  pueden determinarse de cualquiera de estas dos formas:

a) En base a una calibración por la larga experiencia en la tradición constructora.

NOTA: Para la mayoría de los coeficientes parciales y de los coeficientes  $\Psi$  propuestos en este Código Estructural, este es el principio más predominante.

b) En base a una evaluación estadística de datos experimentales y observaciones de campo. (Esto debe desarrollarse dentro del marco de una teoría probabilística de fiabilidad).

(3) Cuando se utilice el método 2b), tanto por sí solo como en combinación con el método 2a), los coeficientes parciales de los Estados Límite Últimos para los distintos materiales y acciones deben calibrarse de forma que los niveles de fiabilidad para las estructuras representativas sean lo más parecidos posible al índice de fiabilidad objetivo. Véase el apartado C.6.

### C.4 Resumen de los métodos de fiabilidad

(1) La figura C1 presenta un resumen esquemático de los distintos métodos disponibles para la calibración de las ecuaciones para la obtención del coeficiente parcial (estados límite) y la relación entre ellas.

(2) Los procedimientos de calibración estadística para los coeficientes parciales puede subdividirse en dos clases principales:

- métodos completamente probabilísticos (Nivel III), y
- métodos de fiabilidad de primer orden (FORM) (Nivel II).

NOTA 1: Los métodos completamente probabilísticos (Nivel III) dan, en principio, una respuesta correcta para el problema de la fiabilidad abordado. Los métodos de Nivel III raramente se usan en la calibración de los Códigos de proyecto dada la frecuente falta de datos estadísticos.

NOTA 2: Los métodos de Nivel II hacen uso de ciertas aproximaciones bien definidas y alcanzan resultados que pueden considerarse suficientemente adecuados para la mayoría de las aplicaciones estructurales.

(3) Tanto en los métodos de Nivel II como en los de Nivel III la medida de la fiabilidad debe identificarse con la probabilidad de supervivencia  $P_s = (1 - P_f)$ , donde  $P_f$  es la probabilidad de fallo para el modo de fallo considerado y con un periodo de referencia apropiado. Si la probabilidad de fallo calculada es superior a un valor objetivo prefijado  $P_0$ , entonces la estructura debe considerarse como no segura.

NOTA: La "probabilidad de fallo" y su correspondiente índice de fiabilidad (véase el apartado C.5) únicamente son valores teóricos que no representen necesariamente las tasas de fallo reales, pero se utilizan como valores operativos para los propósitos de calibración del Código y la comparación de los niveles de fiabilidad de las estructuras.

(4) Los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural se han basado principalmente en el método a (véase la figura C1).

NOTA: Un ejemplo de método equivalente es el proyecto asistido por ensayos (ver Apéndice D).

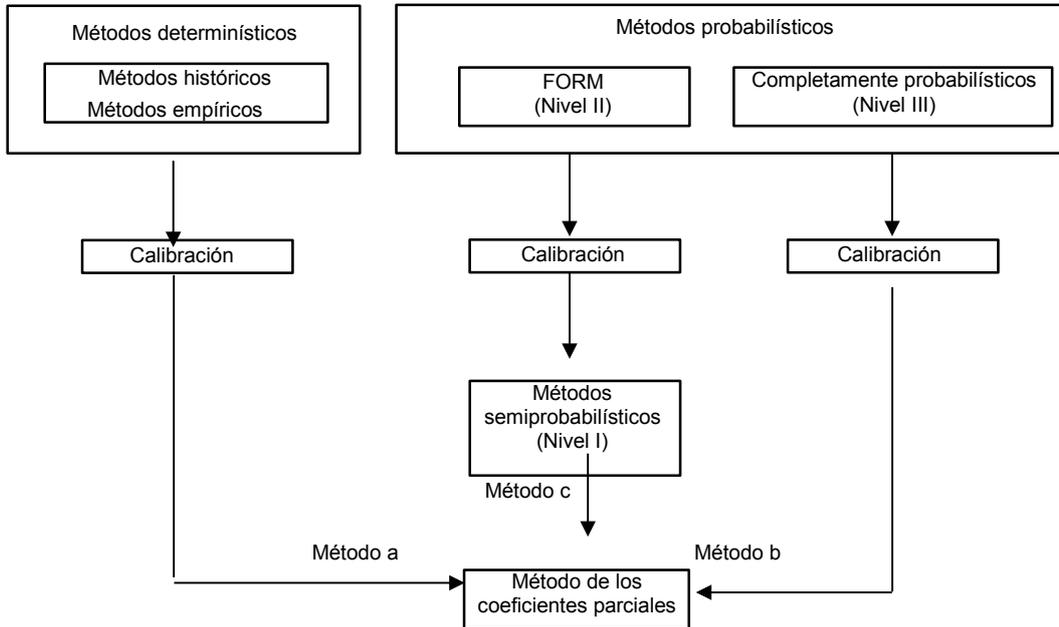


Figura C1 Resumen de los métodos de fiabilidad

## C.5 Índice de fiabilidad $\beta$

(1) En los procedimientos de Nivel II, se suele definir una medida alternativa de la fiabilidad, definida mediante el índice de fiabilidad  $\beta$ , que está relacionado con  $P_f$  por:

$$P_f = \Phi(-\beta) \tag{C.1}$$

donde  $\Phi$  es la función de distribución acumulativa de la distribución Normal estándar.

La relación entre  $\Phi$  y  $\beta$  se da en la tabla C1.

Tabla C1 Relación entre  $\beta$  y  $P_f$

$P_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
$\beta$	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

(2) La probabilidad de fallo  $P_f$  puede expresarse a través de la función de comportamiento  $g$  de forma que se considera que una estructura resiste si  $g > 0$  y falla si  $g \leq 0$ :

$$P_f = \text{Prob}(g \leq 0) \tag{C.2a}$$

Si  $R$  es la resistencia y  $E$  los efectos de las acciones, la función de comportamiento  $g$  es:

$$g = R - E \tag{C.2b}$$

siendo  $R$ ,  $E$  y  $g$  variables aleatorias.

(3) Si  $g$  sigue la distribución Normal,  $\beta$  se toma como:

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g}$$

donde:

$\mu_g$  es el valor medio de  $g$ , y

$\sigma_g$  es la desviación estándar,

de forma que:

$$\mu_g - \beta \sigma_g = 0 \quad (\text{C.2d})$$

y

$$P_f = \text{Prob}(g \leq 0) = \text{Prob}(g \leq \mu_g - \beta \sigma_g) \quad (\text{C.2e})$$

Para otras distribuciones de  $g$ ,  $\beta$  es únicamente una medida convencional de fiabilidad

$$P_s = (1 - P_f)$$

## C.6 Valores objetivo del índice de fiabilidad $\beta$

(1) Los valores objetivo para el índice de fiabilidad  $\beta$  para las distintas situaciones de proyecto y para los periodos de referencia de 1 y 50 años, son los indicados en la tabla C2. Los valores de  $\beta$  en la tabla C2 corresponden a niveles de seguridad para las clases de fiabilidad RC2 de los elementos estructurales (véase Apéndice B).

NOTA 1: Para estas evaluaciones de  $\beta$ :

- Habitualmente se han utilizado las distribuciones log-normal o de Weibull para los parámetros de resistencia del material, resistencia estructural y para las incertidumbres del modelo.
- La distribución Normal se ha utilizado habitualmente para el peso propio.
- En las comprobaciones en las que no intervengan fenómenos de fatiga se ha venido utilizando, como simplificación, la distribución Normal para acciones variables, si bien serían más apropiadas las distribuciones extremales.

NOTA 2: Cuando la incertidumbre principal venga de acciones que tienen un máximo estadísticamente independiente cada año, los valores  $\beta$  para un periodo de referencia distinto se pueden calcular utilizando la siguiente expresión:

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n \quad (\text{C.3})$$

donde:

$\beta_n$  es el índice de fiabilidad para un periodo de referencia de  $n$  años

$\beta_1$  es el índice de fiabilidad para un año.

Tabla C2 Índice de fiabilidad objetivo  $\beta$  para elementos estructurales de Clase RC2<sup>1)</sup>

Estado límite	Índice de fiabilidad objetivo	
	1 año	50 años
Último	4,7	3,8
Fatiga	-	1,5 a 3,8 <sup>2)</sup>
Servicio (irreversible)	2,9	1,5

<sup>1)</sup> Véase Apéndice B.

<sup>2)</sup> Depende del grado de facilidad de inspección, de reparación y de la tolerancia al daño.

(2) La frecuencia real de fallo es significativamente dependiente del error humano, lo que no se considera en el método de los coeficientes parciales (véase el Apéndice B). Por lo tanto,  $\beta$  no proporciona necesariamente una indicación de la frecuencia real del fallo estructural.

### C.7 Enfoque para la calibración de los valores de cálculo

(1) En el método del valor de cálculo para la comprobación de la fiabilidad (véase la figura C1), los valores de cálculo necesitan estar definidos para todas las variables básicas. Se considera que un dimensionamiento es aceptable si no se alcanzan los estados límite cuando se introducen los valores de cálculo en los modelos de análisis. En notación simbólica se expresa como:

$$E_d < R_d \quad (C.4)$$

donde el subíndice “d” se refiere a los valores de cálculo. Este es el modo práctico de asegurar que el índice de fiabilidad  $\beta$  es igual o mayor que el valor objetivo.

$E_d$  y  $R_d$  pueden expresarse de forma parcialmente simbólica como:

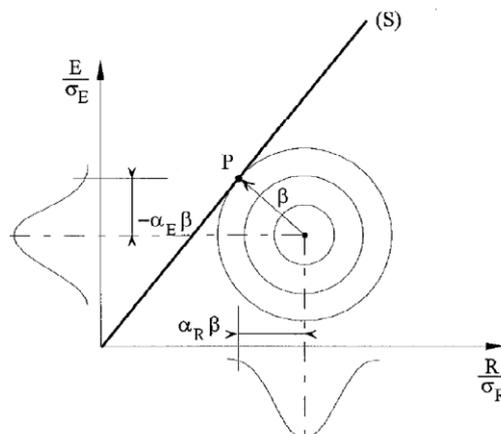
$$E_d = E \{F_{d1}, F_{d2}, \dots, a_{d1}, a_{d2}, \dots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots\} \quad (C.5a)$$

$$R_d = R \{X_{d1}, X_{d2}, \dots, a_{d1}, a_{d2}, \dots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots\} \quad (C.5b)$$

donde:

$E$	es el efecto de la acción
$R$	es la resistencia
$F$	es una acción
$X$	es la propiedad del material
$a$	es una propiedad geométrica
$\theta$	es una incertidumbre del modelo.

Para estados límite particulares (por ejemplo fatiga) puede ser necesaria una formulación más general para expresar un estado límite.



(S): límite de fallo  $g = R - E = 0$

P: punto de cálculo

Figura C2 Punto de cálculo e índice de fiabilidad  $\beta$  acorde con el método de fiabilidad de primer orden (FORM) para variables normalmente distribuidas sin correlación.

(2) Los valores de cálculo deben basarse en los valores de las variables básicas en el punto de cálculo del FORM que puede definirse como el punto en la superficie de fallo ( $g = 0$ ) más próximo al punto

correspondiente a los valores medios, en el espacio de las variables normalizadas (como se indica en el diagrama de la figura C2).

(3) Los valores de cálculo de los efectos de las acciones  $E_d$  y las resistencias  $R_d$  deben definirse de forma que la probabilidad de tener un valor más desfavorable sea como sigue:

$$P(E > E_d) = \Phi(+\alpha_E\beta) \quad (\text{C.6a})$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-\alpha_R\beta) \quad (\text{C.6b})$$

donde:

$\beta$  es el índice de fiabilidad objetivo (véase el apartado C.6).

$\alpha_E$  y  $\alpha_R$ , con  $|\alpha| \leq 1$ , son los valores de los coeficientes de sensibilidad del FORM. El valor de  $\alpha$  es negativo para acciones y efectos de las acciones desfavorables, y positivo para las resistencias.

$\alpha_E$  y  $\alpha_R$  pueden tomarse como  $-0,7$  y  $0,8$  respectivamente, siempre que:

$$0,16 < \sigma_E/\sigma_R < 7,6 \quad (\text{C.7})$$

donde  $\sigma_E$  y  $\sigma_R$  son las desviaciones estándar del efecto de las acciones y de la resistencia, en las expresiones (C.6a) y (C.6b) respectivamente. Esto da:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,7\beta) \quad (\text{C.8a})$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-0,8\beta) \quad (\text{C.8b})$$

(4) Cuando no se satisfaga la condición (C.7), debe utilizarse  $\alpha = \pm 1,0$  para la variable con la mayor desviación estándar y,  $\alpha = \pm 0,4$  para la variable con la menor desviación estándar.

(5) Cuando el modelo de acciones contenga múltiples variables básicas, debe utilizarse la expresión (C.8a) únicamente para la variable predominante. Para las acciones concomitantes pueden definirse los valores de cálculo mediante:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,4x0,7x\beta) = \Phi(-0,28\beta) \quad (\text{C.9})$$

NOTA: Para  $\beta = 3,8$  los valores definidos por la expresión (C.9) corresponden aproximadamente al cuantil de 0,90.

(6) Las expresiones que se proporcionan en la tabla C3 deben utilizarse para obtener los valores de cálculo de las variables para una distribución de probabilidad dada.

Tabla C3 Valores de cálculo para varias funciones de distribución

Distribución	Valores de cálculo
Normal	$\mu - \alpha\beta\sigma$
Log-normal	$\mu \exp(-\alpha\beta V)$ para $V = \sigma/\mu < 0,2$
Gumbel	$u - \frac{1}{a} \ln\{\ln\Phi(-\alpha\beta)\}$ <p>donde <math>u = \mu - \frac{0,577}{a}</math>; <math>a = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}</math></p>

NOTA: En estas expresiones,  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $V$  son, respectivamente, el valor medio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de una variable dada. Para acciones variables, estas pueden basarse en el mismo periodo de referencia que  $\beta$ .

(7) Un método para obtener el coeficiente parcial correspondiente es dividir el valor de cálculo de una acción variables entre su valor característico representativo.

## C.8 Formatos de comprobación de la fiabilidad

(1) En los Anejos 19 a 32 de este Código Estructural o en la reglamentación específica vigente, los valores de cálculo de las variables básicas,  $X_d$  y  $F_d$ , no se introducen, en general, directamente en las ecuaciones de cálculo de los coeficientes parciales. Se introducen en términos de sus valores representativos  $X_{rep}$  y  $F_{rep}$ , que pueden ser:

- valores característicos, es decir, valores con una probabilidad establecida o supuesta de ser superados, por ejemplo para acciones, propiedades de materiales y propiedades geométricas (véanse los apartados 1.4.3.14, 1.4.4.1 y 1.4.5.1, respectivamente),
- los valores nominales, que se tratan como valores característicos para las propiedades de los materiales (véase el apartado 1.4.4.3) y como valores de cálculo para propiedades geométricas (véase el apartado 1.4.5.2).

(2) Los valores representativos  $X_{rep}$  y  $F_{rep}$ , deben dividirse y/o multiplicarse, respectivamente, por los coeficientes parciales apropiados para obtener los valores de cálculo  $X_d$  y  $F_d$ .

NOTA: Véase también la expresión (C.10).

(3) Los valores de cálculo de las acciones  $F$ , propiedades de los materiales  $X$  y propiedades geométricas  $a$ , se dan en las expresiones (6.1), (6.3) y (6.4), respectivamente.

Cuando se utilice un valor superior de la resistencia de cálculo (véase el apartado 6.3.3), la expresión (6.3) toma la forma:

$$X_d = \eta \gamma_{fM} X_{k,Sup} \quad (C.10)$$

donde  $\gamma_{fM}$  es un coeficiente adecuado superior a 1.

NOTA: La expresión (C.10) puede utilizarse para el diseño por capacidad.

(4) Los valores de cálculo de las incertidumbres del modelo pueden incorporarse a las expresiones de cálculo a través de coeficientes parciales  $\gamma_{sd}$  y  $\gamma_{rd}$  aplicados al modelo total, de forma que:

$$E_d = \gamma_{sd} E\{\gamma_{gi} G_{kj}; \gamma_P P; \gamma_{q1} Q_{k1}; \gamma_{qi} \Psi_{0i} Q_{ki}; a_d \dots\} \quad (C.11)$$

$$R_d = R\left\{\frac{\eta X_k}{\gamma_m}; a_d \dots\right\} / \gamma_{rd} \quad (C.12)$$

(5) El coeficiente  $\Psi$ , que tiene en cuenta las reducciones de los valores de cálculo de las acciones variables, se aplica como  $\Psi_0$ ,  $\Psi_1$  o  $\Psi_2$  sobre las acciones variables concomitantes que ocurren simultáneamente.

(6) Cuando se requiera, se pueden hacer las simplificaciones siguientes a las expresiones (C.11) y (C.12).

- a) En el lado de la carga (para una acción simple o donde exista linealidad de los efectos de las acciones):

$$E_d = E\{\gamma_{F,i} F_{rep,i}; a_d\} \quad (C.13)$$

- c) En el lado de la resistencia, el formato general viene dado en las expresiones (6.6) y se dan más simplificaciones en los anejos de este Código Estructural en función del material correspondiente. Solo se podrán hacer simplificaciones si el nivel de fiabilidad no disminuye.

NOTA: En los anejos mencionados se encuentran muy a menudo modelos no lineales y modelos multi-variables de acciones y/o resistencias. En esos casos, las relaciones anteriores se vuelven más complejas

## C.9 Coeficientes parciales

(1) Los coeficientes parciales empleados en este anejo se definen en el apartado 1.5.

(2) Las relaciones entre los coeficientes parciales de los anejos se muestran esquemáticamente en la figura C3.

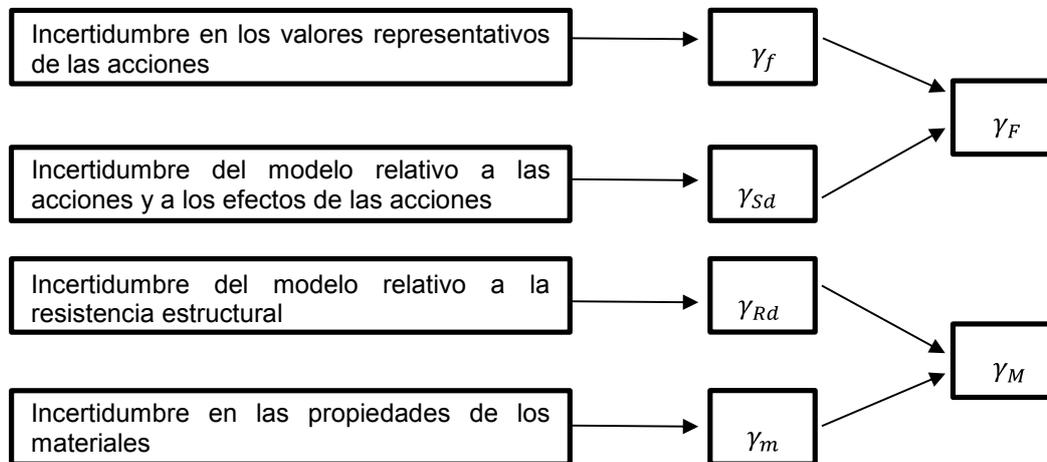


Figura C3 Relación entre los coeficientes parciales.

### C10 Coeficientes $\Psi_0$

(1) La tabla C4 recoge las expresiones para la obtención de los coeficientes  $\Psi_0$  (véase el apartado 6) para el caso en el que haya dos acciones variables.

(2) Las expresiones de la tabla C4 se han calculado utilizando los siguientes supuestos y condiciones:

- las dos acciones a combinar son independientes entre sí,
- el periodo básico ( $T_1$  o  $T_2$ ) para cada acción es constante, siendo  $T_1$  el periodo básico de mayor valor,
- los valores de las acciones son constantes en sus respectivos periodos básicos,
- las intensidades de una acción, en sus respectivos periodos básicos, no están correlacionadas,
- las dos acciones pertenecen a procesos ergódicos.

(3) Las funciones de distribución de la tabla C4 se refieren a los máximos dentro del periodo de referencia. Estas funciones de distribución son funciones totales que consideran la probabilidad de que el valor de una acción sea cero durante ciertos periodos.

Tabla C4 Expresiones para  $\Psi_0$  para el caso en el que haya dos acciones variables

Distribución	$\Psi_0 = F_{\text{concomitante}} / F_{\text{principal}}$
General	$\frac{F_S^{-1}\{\Phi(0,4\beta')N_1\}}{F_S^{-1}\{\Phi(0,7\beta')N_1\}}$ con $\beta' = -\Phi^{-1}\left\{\frac{\Phi(-0,7\beta)}{N_1}\right\}$
Aproximación para $N_1$ muy elevada	$\frac{F_S^{-1}\{\exp[-N_1\Phi(0,4\beta')]\}}{F_S^{-1}\{\Phi(0,7\beta)\}}$ con $\beta' = -\Phi^{-1}\left\{\frac{\Phi(-0,7\beta)}{N_1}\right\}$
Normal (aproximación)	$\frac{1 + (0,28\beta - 0,7\ln N_1)V}{1 + 0,7\beta V}$

Gumbel (aproximación)	$\frac{1 - 0,78V[0,58 + \ln(-\ln\Phi(0,28\beta)) + \ln N_1]}{1 - 0,78V[0,58 + \ln(-\ln\Phi(0,7\beta))]}$
$F_s(.)$	es la función de distribución de la probabilidad del valor extremo de la acción concomitante en el periodo de referencia T
$\Phi(.)$	es la función de distribución Normal estándar
T	es el periodo de referencia
$T_1$	es el mayor de los periodos básicos para las acciones a combinar
$N_1$	es el cociente $T/T_1$ aproximado al entero más próximo
B	es el índice de fiabilidad
V	es el coeficiente de variación de la acción concomitante para el periodo de referencia

## Apéndice D Recomendaciones para el cálculo asistido por ensayos

### D.1 Alcance y campo de aplicación

(1) Este apéndice proporciona indicaciones sobre los apartados 3.4, 4.2 y 5.2.

### D.2 Notación

En este apéndice son de aplicación los siguientes símbolos.

#### Letras latinas mayúsculas

$E(.)$	El valor medio de $(.)$
$V$	Coefficiente de variación [ $V = (\text{desviación estándar})/(\text{valor medio})$ ]
$V_x$	Coefficiente de variación de $X$
$V_\delta$	Estimador del coeficiente de variación del término de error $\delta$
$\underline{X}$	Serie de variables básicas $j X_1 \dots X_j$
$X_{k(n)}$	Valor característico, incluyendo la incertidumbre estadística para una muestra de tamaño $n$ excluyendo cualquier factor de conversión
$\underline{X}_m$	Serie de valores medios de las variables básicas
$\underline{X}_n$	Serie de valores nominales de las variables básicas

#### Letras latinas minúsculas

$b$	Coefficiente de corrección
$b_i$	Coefficiente de corrección para la muestra $i$ del ensayo
$g_{rt}(\underline{X})$	Función de resistencia (de la variable básica $\underline{X}$ ) utilizada como el modelo de proyecto
$k_{d,n}$	Coefficiente del cuantil de proyecto
$k_n$	Coefficiente del cuantil característico
$m_x$	Media de los $n$ resultados de una muestra
$n$	Número de experimentos o resultados numéricos del ensayo
$r$	Valor de la resistencia
$r_d$	Valor de cálculo de la resistencia
$r_e$	Valor de la resistencia experimental
$r_{ee}$	Valor extremo (máximo o mínimo) de la resistencia experimental (es decir, valor de $r_e$ que más se desvía del valor medio $r_{em}$ )
$r_{ei}$	Resistencia experimental para la muestra $i$
$r_{em}$	Valor medio de la resistencia experimental
$r_k$	Valor característico de la resistencia
$r_m$	Valor de la resistencia calculado utilizando los valores medios $\underline{X}_m$ de las variables básicas
$r_n$	Valor nominal de la resistencia
$r_t$	Resistencia teórica determinada a partir de la función de resistencia $g_{rt}(\underline{X})$

$r_{ti}$	Resistencia teórica determinada utilizando los parámetros $\underline{X}$ medidos para la muestra $i$
$s$	Valor estimado de la desviación estándar $\sigma$
$s_{\Delta}$	Valor estimado de $\sigma_{\Delta}$
$s_{\delta}$	Valor estimado de $\sigma_{\delta}$

**Letras griegas mayúsculas**

$\Phi$	Función de distribución acumulada de la distribución Normal estándar
$\Delta$	Logaritmo del término de error $\delta$ [ $\Delta_i = \ln(\delta_i)$ ]
$\bar{\Delta}$	Valor estimado de $E(\Delta)$

**Letras griegas minúsculas**

$\alpha_E$	Coefficiente de sensibilidad FORM (método de fiabilidad de primer orden) para los efectos de las acciones
$\alpha_R$	Coefficiente de sensibilidad FORM (método de fiabilidad de primer orden) para la resistencia
$\beta$	Índice de fiabilidad
$\gamma_M^*$	Coefficiente parcial corregido para resistencias [ $\gamma_M^* = r_n/r_d$ así $\gamma_M^* = k_c \gamma_M$ ]
$\delta$	Término de error
$\delta_i$	Término de error observado para la muestra $i$ , obtenido de la comparación de la resistencia experimental $r_{ei}$ y el valor medio corregido de la resistencia teórica $br_{ei}$
$\eta_d$	Valor de cálculo del posible factor de conversión (siempre que no esté incluido en el coeficiente parcial de la resistencia $\gamma_M$ )
$\eta_k$	Coefficiente de reducción aplicable en caso de disponer de información previa
$\sigma$	Desviación estándar [ $\sigma = \sqrt{\text{varianza}}$ ]
$\sigma_{\Delta}^2$	Varianza del término $\Delta$

**D.3 Tipos de ensayos**

(1) Debe distinguirse entre los siguientes tipos de ensayos:

- Ensayos para establecer directamente la resistencia última o las propiedades de servicio de las estructuras o elementos estructurales para unas condiciones de carga dadas. Estos ensayos pueden realizarse, por ejemplo, para cargas de fatiga o cargas de impacto.
- Ensayos para obtener propiedades específicas de los materiales utilizando procedimientos de ensayo específicos; por ejemplo, los ensayos del terreno *in situ* o en el laboratorio, o en el ensayo de nuevos materiales.
- Ensayos para reducir las incertidumbres en los parámetros de los modelos de carga o del efecto de la carga; por ejemplo, mediante ensayo en túnel de viento o en ensayos para identificar acciones de oleaje o de corrientes.
- Ensayos para reducir las incertidumbres en los parámetros empleados en los modelos de resistencia; por ejemplo, mediante el ensayo de elementos estructurales o conjuntos de elementos estructurales (por ejemplo, cubiertas o forjados).

- e) Ensayos de control para comprobar la identidad o calidad de los productos suministrados o la coherencia de las características de producción; por ejemplo, ensayo de cables de puentes o ensayo de probetas de hormigón.
- f) Ensayos realizados durante la ejecución con el fin de obtener la información necesaria para parte de la ejecución; por ejemplo, ensayo de la resistencia de un pilote, ensayo de las fuerzas del cable durante la ejecución.
- g) Ensayo de control para comprobar el comportamiento de una estructura real o de los elementos estructurales tras la finalización de su ejecución, por ejemplo, para obtener la flecha elástica, frecuencias de vibración o amortiguamiento.

(2) Para los ensayos tipo (a), (b), (c) y (d), los valores de cálculo a utilizar deben obtenerse, cuando sea posible, a partir de resultados de ensayos mediante la aplicación de técnicas estadísticas reconocidas. Véanse los apartados D.5 a D.8.

NOTA: Se pueden necesitar técnicas especiales para evaluar los resultados de ensayo tipo (c).

(3) Los ensayos tipo (e), (f) y (g) pueden considerarse ensayos de aceptación cuando no se disponga de resultados de ensayos en el momento del proyecto. Los valores de proyecto deben ser estimados de forma conservadora, de manera que se puedan cumplir los criterios de aceptación (ensayos (e), (f), (g)) en un nivel posterior.

#### D.4 Planificación de los ensayos

(1) Antes de realizar los ensayos, debe acordarse un plan de ensayos con la organización que los vaya a realizar. Este plan debe contener los objetivos del ensayo y todas las especificaciones necesarias para la selección o producción de las muestras de ensayo, la ejecución de los ensayos y la evaluación de los mismos. El plan de ensayo debe cubrir:

- los objetivos y el alcance,
- la predicción de los resultados de ensayo,
- la especificación de las probetas de ensayo y la toma de muestras,
- las especificaciones de la aplicación de las cargas,
- los dispositivos de ensayo,
- las medidas a realizar, y
- la evaluación e informe de los ensayos.

*Objetivos y alcance:* El objetivo de los ensayos debe establecerse con claridad, por ejemplo, las propiedades requeridas, la influencia de la variación de ciertos parámetros de proyecto durante el ensayo y el rango de validez. Deben especificarse las limitaciones de los ensayos y las conversiones necesarias (por ejemplo, efectos de escala).

*Predicción de los resultados de ensayo:* Deben tenerse en cuenta todas las propiedades y circunstancias que pueden afectar a la predicción de los resultados de los ensayos, incluyendo:

- parámetros geométricos y su variabilidad,
- imperfecciones geométricas,
- propiedades de los materiales,
- parámetros afectados por los procedimientos de fabricación y ejecución,
- efectos de escala de las condiciones ambientales teniendo en cuenta, si afecta, el programa detallado de aplicación de cargas.

Deben describirse los modos de fallo esperados y/o modelos de cálculo, junto con las variables correspondientes. Si hay una duda significativa acerca de qué modo de fallo puede ser crítico, entonces, el plan de ensayo debe desarrollarse en base a ensayos piloto adicionales.

NOTA: Debe prestarse atención al hecho de que un elemento estructural pueda poseer varios modos de fallo diferentes.

*Especificación de las muestras de ensayo y muestreo:* Las muestras de ensayo deben especificarse, u obtenerse mediante muestreo, de forma que representen las condiciones de la estructura real.

Los factores que deben tenerse en cuenta incluyen:

- dimensiones y tolerancias,
- materiales y fabricación de prototipos,
- número de probetas de ensayos,
- procedimientos de muestreo,
- coacciones.

El objetivo del procedimiento de toma de muestras debe ser el de obtener una muestra estadísticamente representativa.

Debe prestarse atención a cualquier diferencia entre las muestras de ensayo y la población del producto que pueda afectar a los resultados del ensayo.

*Especificaciones de la carga:* las condiciones de carga y medioambientales a especificar para el ensayo deben incluir:

- puntos de carga,
- historia de cargas,
- coacciones,
- temperaturas,
- humedad relativa,
- carga por control de la deformación o de la fuerza, etc.

La secuencia de carga debe elegirse de forma que represente el uso previo del elemento estructural, tanto bajo condiciones normales de uso como bajo condiciones severas. Las interacciones entre la respuesta estructural y el equipo empleado para aplicar la carga, deben tenerse en cuenta, en su caso.

Cuando el comportamiento estructural dependa de los efectos de una o más acciones que no vayan a variar sistemáticamente, es conveniente especificar dichos efectos mediante sus valores representativos.

*Dispositivos de ensayo:* el equipo de ensayo debe ser el adecuado para el tipo de ensayos y el rango esperado de las mediciones. Debe prestarse especial atención a las medidas para poder disponer de la resistencia y rigidez suficientes de los equipos de carga y elementos de soporte, así como disponer de espacio suficiente para las deformaciones, etc.

*Mediciones:* Antes del ensayo, deben enumerarse todas las propiedades susceptibles de ser medidas para cada una de las probetas de ensayo. Adicionalmente debe hacerse una lista:

- a) de los puntos de medida,
- b) de los procedimientos para el registro de los resultados, incluyéndose si corresponde:
  - el historial de desplazamientos a lo largo del tiempo,

- las velocidades,
- las aceleraciones,
- las deformaciones unitarias,
- las fuerzas y presiones,
- la frecuencia requerida,
- la precisión de las medidas, y
- los dispositivos de medida adecuados.

*Evaluación e informe de los ensayos:* Para indicaciones específicas, véanse los apartados D.5 a D.8. Deberá indicarse cualquier norma en la que se basen los ensayos.

### D.5 Obtención de los valores de cálculo

(1) La obtención, a partir de ensayos, de los valores de cálculo de una propiedad de un material, un parámetro del modelo o una resistencia, deben realizarse de una de las siguientes formas:

- a) mediante la evaluación de un valor característico, que se dividirá entre un coeficiente parcial y, posiblemente, se tenga que multiplicar por un coeficiente de conversión explícito, si fuera necesario (véanse los apartados D.7.2 y D.8.2),
- b) mediante determinación directa del valor de cálculo, justificando implícita o explícitamente la conversión de los resultados y la fiabilidad total requerida (véanse los apartados D.7.3 y D.8.3).

NOTA: En general, es preferible al método a) siempre que el valor del coeficiente parcial se determine a partir del procedimiento normal de cálculo (véase el punto (3) de este apartado).

(2) En el cálculo del valor característico a partir de ensayos (Método (a) recogido en el apartado D.8.2) debe tenerse en cuenta:

- a) la dispersión de los datos del ensayo,
- b) la incertidumbre estadística asociada al número de ensayos,
- c) información estadística previa.

(3) El coeficiente parcial a aplicar al valor característico, debe tomarse del anejo apropiado de este Código Estructural, siempre que haya una similitud suficiente entre los ensayos y el campo de aplicación usual del coeficiente parcial en las comprobaciones numéricas.

(4) Si la respuesta de la estructura o elemento estructural o la resistencia del material dependen de factores que no están suficientemente cubiertos por los ensayos como:

- los efectos del tiempo y la duración,
- los efectos de escala y tamaño,
- las distintas condiciones ambientales, de carga y de contorno,
- los efectos de la resistencia,

el modelo de cálculo debe tener en cuenta dichos factores de manera apropiada.

(5) En casos especiales en los que se utilice el método indicado en el apartado D.5(1)b), la determinación de los valores de cálculo deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- los estados límite correspondientes,
- el nivel de fiabilidad requerido,

- la compatibilidad con las hipótesis correspondientes a la parte de las acciones en la expresión (C.8a),
- la vida útil requerida, en su caso,
- información previa deducida de casos similares.

NOTA: En los apartados D.6, D.7 y D.8 se puede encontrar más información.

## D.6 Principios generales para las evaluaciones estadísticas

(1) Cuando se evalúen los resultados de los ensayos, deben compararse el comportamiento de las probetas de ensayo y sus modos de fallo con las predicciones teóricas. Cuando se produzcan desviaciones significativas respecto a la predicción, deberá buscarse una explicación, eventualmente con la realización de ensayos adicionales, tal vez bajo condiciones distintas, o la modificación del modelo teórico.

(2) La evaluación de los resultados de los ensayos debe basarse en métodos estadísticos, con el uso de la información (estadística) disponible sobre el tipo de distribución a emplear y sus parámetros asociados. Los métodos contenidos en este apéndice solo podrán utilizarse cuando se satisfagan las siguientes condiciones:

- que los datos estadísticos (incluyendo la información previa) se tomen de poblaciones identificadas como suficientemente homogéneas, y
- que se disponga de un número suficiente de observaciones.

NOTA: Se pueden distinguir tres categorías principales en el nivel de interpretación de los resultados de ensayos:

- cuando se haga un único ensayo (o muy pocos ensayos), no es posible realizar una interpretación estadística clásica. Únicamente, el uso de una amplia información previa asociada con las hipótesis sobre los grados relativos de importancia de esta información y de los resultados de los ensayos, hacen posible presentar una interpretación como estadística (procedimientos bayesianos, véase la norma ISO 12491);
- si se realiza una serie mayor de ensayos para evaluar un parámetro, es posible realizar una interpretación estadística clásica. Los casos más comunes se tratan, como ejemplos, en el apartado D.7. Esta interpretación necesitará todavía el uso de información previa sobre el parámetro que, de todas formas, será menor que en el caso anterior;
- cuando se realice una serie de ensayos para calibrar un modelo (como una función) y uno o más parámetros asociados, es posible realizar una interpretación estadística clásica.

(3) El resultado de una evaluación de ensayos se considerará válido únicamente para las especificaciones y características de carga consideradas en el ensayo. Si los resultados pueden extrapolarse para abarcar otros parámetros de cálculo y situaciones de carga, deberá emplearse la información adicional disponible de ensayos previos o de bases teóricas.

## D.7 Determinación estadística de una propiedad

### D.7.1 Generalidades

(1) Este apartado da las expresiones de trabajo para la obtención de los valores de cálculo a partir de los tipos de ensayo a) y b) del apartado D.3(3) para una propiedad (por ejemplo, resistencia) cuando se utilicen los métodos de evaluación (a) y (b) del apartado D.5(1).

NOTA: Las expresiones que se presentan aquí, que emplean procedimientos bayesianos con distribuciones previas "vagas", llegan prácticamente a los mismos resultados que la estadística clásica con niveles de confianza de 0,75.

- (2) La propiedad aislada X puede representar:
- una resistencia de un producto,
  - una propiedad colaborante con la resistencia de un producto.
- (3) En el caso a) puede aplicarse directamente el procedimiento de los apartados D.7.2 y D.7.3 para determinar los valores característicos, los de cálculo o los de los coeficientes parciales.
- (4) En el caso b) puede considerarse que el valor de proyecto de la resistencia también puede incluir:
- los efectos de otras propiedades,
  - la incertidumbre del modelo,
  - otros efectos (escala, volumen, etc.)
- (5) Las tablas y expresiones en los apartados D.7.2 y D.7.3 se basan en las siguientes hipótesis:
- todas las variables siguen una distribución Normal o una log-normal,
  - no se conoce previamente el valor de la media,
  - para el caso de “V<sub>x</sub> desconocido”, no hay conocimiento previo sobre el coeficiente de variación,
  - para el caso de “V<sub>x</sub> conocido”, se conoce perfectamente el coeficiente de variación.

NOTA: La adopción de una distribución log-normal para ciertas variables tiene la ventaja de que no pueden aparecer valores negativos como, por ejemplo, para variables geométricas o de resistencia.

En la práctica, normalmente es preferible emplear el caso de “V<sub>x</sub> conocido” junto con la sobreestimación conservadora de V<sub>x</sub>, mejor que aplicar las reglas dadas para el caso “V<sub>x</sub> desconocido”. Además, V<sub>x</sub>, cuando sea conocido, debe suponerse no inferior a 0,10.

### D.7.2 Evaluación mediante el valor característico

- (1) El valor de cálculo de una propiedad X debe encontrarse mediante el empleo de:

$$X_d = \eta_d \frac{X_{k(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} m_x \{1 - k_n V_x\} \quad (D.1)$$

donde:

$\eta_d$  es el valor de cálculo del factor de conversión.

NOTA: La evaluación del factor de conversión correspondiente depende enormemente del tipo de ensayo y del tipo de material.

El valor de  $k_n$  puede obtenerse de la tabla D1.

- (2) Cuando se utilice la tabla D1, debe considerarse uno de los dos casos siguientes:
- La fila “V<sub>x</sub> conocido” debe utilizarse si se conoce con anterioridad el coeficiente de variación V<sub>x</sub>, o un límite superior realista del mismo.

NOTA: El conocimiento previo puede provenir de la evaluación de ensayos previos en situaciones comparables. Lo que es “comparable” debe determinarse mediante criterio ingenieril (véase el apartado D.7.1(3)).

- La fila “V<sub>x</sub> desconocido” debe utilizarse si el coeficiente de variación V<sub>x</sub> no se conoce con anterioridad y, por lo tanto, necesita estimarse a partir de la muestra como:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - m_x)^2 \quad (D.2)$$

$$V_x = s_x / m_x \quad (D.3)$$

- (3) El coeficiente parcial  $\gamma_m$  debe elegirse en concordancia con el campo de aplicación de los resultados del ensayo.

Tabla D1 Valores de  $k_n$  para el valor característico del 5%

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ conocido	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$V_x$ desconocido	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

NOTA 1: Esta tabla se basa en la distribución Normal.

NOTA 2: Con una distribución log-normal la expresión (D.1) se convierte en:

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \exp[m_y - k_n s_y]$$

donde:

$$m_y = \frac{1}{n} \sum \ln(x_i)$$

Si  $V_x$  es conocido previamente,  $s_y = \sqrt{\ln(V_x^2 + 1)} \approx V_x$

Si  $V_x$  es desconocido a priori,  $s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\ln x_i - m_y)^2}$

### D.7.3 Evaluación directa del valor de cálculo para las comprobaciones en Estado Límite Último

(1) El valor de cálculo  $X_d$  de  $X$  debe hallarse utilizando:

$$X_d = \eta_d m_x \{1 - k_{d,n} V_x\} \quad (D.4)$$

En este caso,  $\eta_d$  debe cubrir todas las incertidumbres que no cubran los ensayos.

(2)  $k_{d,n}$  debe obtenerse de la tabla D2.

Tabla D2 Valores de  $k_{d,n}$  para el valor de cálculo del Estado Límite Último

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ conocido	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,04
$V_x$ desconocido	-	-	-	11,40	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,04

NOTA 1: Esta tabla se basa en la hipótesis de que el valor de cálculo corresponde al resultado del producto  $\alpha_R \beta = 0,8 \times 3,8 = 3,04$  (véase el Apéndice C) y en que  $X$  sigue una distribución Normal. Esto da una probabilidad de que se produzca un valor inferior alrededor del 0,1%.

NOTA 2: Con una distribución log-normal, la expresión (D.4) se convierte en:

$$X_d = \eta_d \exp[m_y - k_{d,n} s_y]$$

## D.8 Determinación estadística de modelos de resistencia

### D.8.1 Generalidades

(1) El fin principal de esta cláusula es definir los procedimientos (métodos) para calibrar los modelos de resistencia y para deducir los valores de cálculo a partir de los ensayos tipo d) (véase el apartado D.3(1)). Se utilizará la información previa de la que se disponga (conocimientos o hipótesis).

(2) Debe desarrollarse un “modelo de cálculo”, basado en la observación del comportamiento real en ensayos y en las consideraciones teóricas, que permita la determinación de una función de resistencia. La validez de este modelo se comprobará a través de una interpretación estadística de todos los datos de ensayos disponibles. Si fuese necesario, se ajustará el modelo de cálculo hasta conseguir una correlación suficiente entre los valores teóricos y los resultados de los ensayos.

(3) También debe determinarse, a partir de ensayos, la desviación en la predicción obtenida al utilizar el modelo de cálculo. Esta desviación tendrá que combinarse con las desviaciones de otras variables de la función de resistencia con el fin de obtener un índice global de desviación. Estas otras variables incluyen:

- desviación en la resistencia y rigidez del material,
- desviación en las propiedades geométricas.

(4) La resistencia característica debe determinarse teniendo en cuenta las desviaciones de todas las variables.

(5) En el apartado D.5(1) se distinguen dos métodos distintos. Estos métodos se recogen en los apartados D.8.2 y D.8.3, respectivamente. Adicionalmente, en el apartado D.8.4 se dan algunas posibles simplificaciones.

Estos métodos se presentan como un número de pasos discretos y se hacen y explican algunas hipótesis acerca de la población del ensayo. Debe tenerse en cuenta que estas hipótesis no son más que recomendaciones que abarcan algunos de los casos más comunes.

## **D.8.2 Procedimiento de evaluación estándar (Método (a))**

### **D.8.2.1 Generalidades**

(1) En el procedimiento de evaluación estándar se hacen las siguientes hipótesis:

- a) la función de resistencia es una función de un número de variables independientes  $\underline{X}$ ,
- b) se dispone de un número suficiente de resultados de ensayos,
- c) se han medido todas las propiedades geométricas y del material correspondientes,
- d) no hay correlación (dependencia estadística) entre las variables en la función de resistencia,
- e) todas las variables siguen una distribución Normal o una log-normal.

NOTA: La adopción de una distribución log-normal para las variables tiene la ventaja de que no se pueden obtener valores negativos.

(2) El procedimiento estándar para el método D.5(1) a) comprende los siete pasos indicados en los apartados D.8.2.2.1 a D.8.2.2.7.

### **D.8.2.2 Procedimiento estándar**

#### **D.8.2.2.1 Paso 1: Desarrollar un modelo de cálculo**

(1) Desarrollar un modelo de cálculo para la resistencia teórica  $r_t$  del elemento o detalle estructural considerado, representado por la función de resistencia:

$$r_t = g_{rt}(\underline{X}) \quad (D.5)$$

(2) La función de resistencia debe abarcar todas las variables básicas  $\underline{X}$  que afecten a la resistencia en el estado límite correspondiente.

(3) Todos los parámetros básicos deben medirse para cada muestra  $i$  de ensayo (hipótesis (c) en el apartado D.8.2.1) y deben estar disponibles para su uso en la evaluación.

#### D.8.2.2.2 Paso 2: Comparar los valores experimentales y teóricos

- (1) Sustituir las propiedades reales medidas en la función de resistencia, de forma que se obtengan valores teóricos  $r_{ti}$  que formen la base de una comparación con los valores experimentales  $r_{ei}$  de los ensayos.
- (2) Los puntos que representan los pares de valores correspondientes ( $r_{ti}$ ,  $r_{ei}$ ) deben representarse en un diagrama como el indicado en la figura D1.

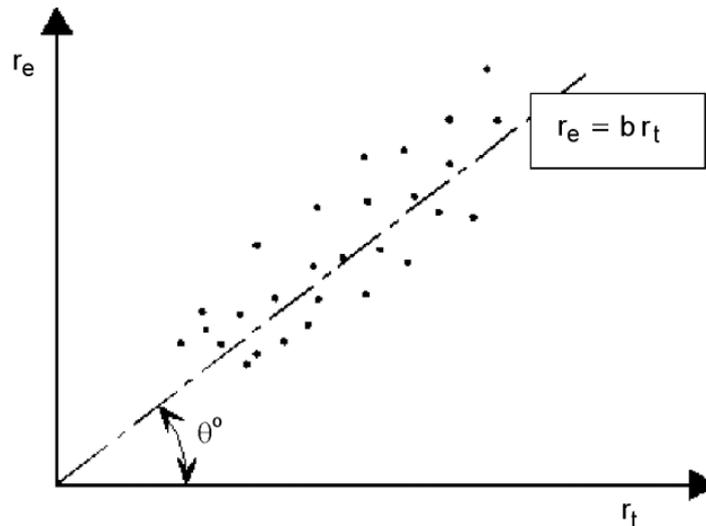


Figura D1 Diagrama  $r_e - r_t$

- (3) Si la función de resistencia es exacta y completa, todos los puntos estarán en la línea  $\theta = \pi/4$ . En la práctica, los puntos mostrarán cierta dispersión, por lo que deberán investigarse las causas de cualquier desviación sistemática de aquella línea para comprobar si es indicativo de errores en los procedimientos de ensayo o en la función de resistencia.

#### D.8.2.2.3 Paso 3: Estimar el valor medio del factor de corrección b

- (1) Representar el modelo probabilístico de la resistencia  $r$  en la forma:

$$r = br_t \delta \quad (D.6)$$

donde:

$b$  es el mejor ajuste "por mínimos cuadrados" para la pendiente, obtenido como:

$$b = \frac{\sum r_e r_t}{r_t^2} \quad (D.7)$$

- (2) El valor medio de la función de resistencia teórica, calculado utilizando valores medios  $\underline{X}_m$  de las variables básicas, puede obtenerse como:

$$r_m = br_t(\underline{X}_m) \delta = bg_{rt}(\underline{X}_m) \delta \quad (D.8)$$

#### D.8.2.2.4 Paso 4: Estimar el coeficiente de variación de los errores

- (1) El término de error  $\delta_i$  para cada valor experimental  $r_{ei}$  debe determinarse a partir de la expresión (D.9):

$$\delta_i = \frac{r_{ei}}{br_{ti}} \quad (D.9)$$

(2) Debe determinarse un valor estimado  $V_\delta$  a partir de los valores de  $\delta_i$  calculando:

$$\Delta_i = \ln(\delta_i) \quad (D.10)$$

(3) El valor estimado  $\bar{\Delta}$  para  $E(\Delta)$  debe obtenerse de:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (D.11)$$

(4) Este valor estimado  $s_\Delta^2$  debe obtenerse para  $\sigma_\Delta^2$  a partir de:

$$s_\Delta^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2 \quad (D.12)$$

(5) La siguiente expresión puede utilizarse como el coeficiente de variación  $V_\delta$  de los términos de error  $\delta_i$ :

$$V_\delta = \sqrt{\exp(s_\Delta^2) - 1} \quad (D.13)$$

#### D.8.2.2.5 Paso 5: Analizar la compatibilidad

(1) Debe analizarse la compatibilidad de la población del ensayo con las hipótesis hechas en la función de resistencia.

(2) Si la dispersión de los valores  $(r_{ti}, r_{ei})$  es muy elevada para dar unas funciones económicas de cálculo de la resistencia, esta dispersión puede reducirse de una de las siguientes formas:

- a) corrigiendo el modelo de cálculo para tener en cuenta los parámetros que previamente hayan sido ignorados,
- b) modificando  $b$  y  $V_\delta$  dividiendo la población total del ensayo en los subgrupos apropiados para los que la influencia de esos parámetros adicionales pueda considerarse constante.

(3) Para determinar qué parámetros tienen más influencia en la dispersión, los resultados de los ensayos pueden separarse en subgrupos en lo que respecta a estos parámetros.

NOTA: El propósito es mejorar la función de resistencia para los subgrupos mediante el análisis de cada uno de ellos utilizando el procedimiento estándar. La desventaja de separar los resultados de ensayo en subgrupos, es que el número de resultados de ensayos en cada subgrupo puede ser muy pequeño.

(4) Cuando se determinen los coeficientes percentiles  $k_n$  (véase el paso 7), el valor  $k_n$  para los subgrupos puede determinarse basándose en el número total de ensayos de las series originales.

NOTA: Se prestará atención al hecho de que la distribución de frecuencias para la resistencia puede describirse mejor mediante una función bi-modal o multi-modal. Pueden emplearse técnicas de aproximación especiales para transformar estas funciones en una distribución uni-modal.

#### D.8.2.2.6 Paso 6: Determinar los coeficientes de variación $V_{X_i}$ de las variables básicas

(1) Si se puede demostrar que la población del ensayo es completamente representativa de la variación en la realidad, entonces los coeficientes de variación  $V_{X_i}$  de las variables básicas en la función de resistencia pueden determinarse a partir de los datos del ensayo. De todas formas, puesto que este no suele ser el caso, los coeficientes de variación  $V_{X_i}$  tendrán que determinarse normalmente basándose en ciertos conocimientos previos.

#### D.8.2.2.7 Paso 7: Determinar el valor característico $r_k$ de la resistencia

(1) Si la función de resistencia para  $j$  variables básicas es una función producto de la forma:

$$r = br_t \delta = b\{X_1 x X_2 \dots X_j\} \delta$$

el valor medio  $E(r)$  puede obtenerse de:

$$E(r) = b\{E(X_1) \times E(X_2) \dots E(X_j)\} = b g_{rt}(X_m) \quad (D.14a)$$

y el coeficiente de variación  $V_r$  puede obtenerse de la función producto:

$$V_r^2 = (V_\delta^2 + 1) [\prod_{i=1}^j (V_{X_i}^2 + 1)] - 1 \quad (D.14b)$$

(2) Alternativamente, para valores pequeños de  $V_\delta^2$  y  $V_{X_i}^2$  se puede utilizar la siguiente aproximación para  $V_r$ :

$$V_r^2 = V_\delta^2 + V_{rt}^2 \quad (D.15a)$$

con:

$$V_{rt}^2 = \sum_{i=1}^j V_{X_i}^2 \quad (D.15b)$$

(3) Si la función de resistencia es una función más compleja, con la forma:

$$r = b r_t \delta = b g_{rt}\{X_1, \dots, X_j\} \delta$$

el valor medio de  $E(r)$  puede obtenerse de:

$$E(r) = b g_{rt}(E(X_1), \dots, E(X_j)) = b g_{rt}(X_m) \quad (D.16a)$$

y el coeficiente de variación  $V_{rt}$  puede obtenerse a partir de:

$$V_{rt}^2 = \frac{\text{VAR}[g_{rt}(X)]}{g_{rt}^2(X_m)} \cong \frac{1}{g_{rt}^2(X_m)} \times \sum_{i=1}^j \left( \frac{\partial g_{rt}}{\partial X_i} \sigma_i \right)^2 \quad (D.16b)$$

(4) Si el número de ensayos es limitado (es decir,  $n < 100$ ) deben tenerse en cuenta las incertidumbres estadísticas en la distribución de  $\Delta$ . La distribución puede considerarse como una distribución t de Student con los parámetros  $\bar{\Delta}$ ,  $V_\Delta$  y  $n$ .

(5) En este caso, la resistencia característica  $r_k$  debe obtenerse de:

$$r_k = b g_{rt}(X_m) \exp(-k_\infty \alpha_{rt} Q_{rt} - k_n \alpha_\delta Q_\delta - 0,5 Q^2) \quad (D.17)$$

con:

$$Q_{rt} = \sigma_{\ln(rt)} = \sqrt{\ln(V_{rt}^2 + 1)} \quad (D.18a)$$

$$Q_\delta = \sigma_{\ln(\delta)} = \sqrt{\ln(V_\delta^2 + 1)} \quad (D.18b)$$

$$Q = \sigma_{\ln(r)} = \sqrt{\ln(V_r^2 + 1)} \quad (D.18c)$$

$$\alpha_{rt} = \frac{Q_{rt}}{Q} \quad (D.19a)$$

$$\alpha_\delta = \frac{Q_\delta}{Q} \quad (D.19b)$$

donde:

$k_n$  es el coeficiente percentil característico de la tabla D1 para el caso de  $V_x$  desconocido

$k_\infty$  es el valor de  $k_n$  para  $n \rightarrow \infty$  [ $k_\infty = 1,64$ ]

$\alpha_{rt}$  es el coeficiente de ponderación para  $Q_{rt}$

$\alpha_\delta$  es el coeficiente de ponderación para  $Q_\delta$ .

NOTA: El valor de  $V_\delta$  debe estimarse a partir del muestreo del ensayo considerado.

(6) Si se dispone de un mayor número de ensayos ( $n \geq 100$ ), la resistencia característica  $r_k$  puede obtenerse de:

$$r_k = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{\infty} Q - 0,5 Q^2) \quad (\text{D.20})$$

### D.8.3 Procedimiento de evaluación estándar (Método (b))

(1) En este caso el procedimiento es el mismo que en D.8.2, excepto que el paso 7 se adapta reemplazando el coeficiente percentil característico  $k_n$  por el coeficiente percentil de cálculo  $k_{d,n}$  igual al producto  $\alpha_R \beta$  evaluado como  $0,8 \times 3,8 = 3,04$  de acuerdo con la expresión comúnmente aceptada (véase el Apéndice C) para obtener el valor de cálculo de la resistencia  $r_d$ .

(2) Para el caso de un número limitado de ensayos, el valor de cálculo  $r_d$  debe obtenerse de:

$$r_d = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{d,\infty} \alpha_{rt} Q_{rt} - k_{d,n} \alpha_{\delta} Q_{\delta} - 0,5 Q^2) \quad (\text{D.21})$$

donde:

$k_{d,n}$  es el coeficiente percentil de proyecto de la tabla D2 para el caso de “ $V_x$  desconocido”

$k_{d,\infty}$  es el valor de  $k_{d,n}$  para  $n \rightarrow \infty$  [ $k_{d,\infty} = 3,04$ ].

NOTA: El valor de  $V_{\delta}$  debe estimarse a partir del muestreo del ensayo considerado.

(3) Para el caso de un mayor número de ensayos, el valor de cálculo  $r_d$  puede obtenerse de:

$$r_d = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{d,\infty} Q - 0,5 Q^2) \quad (\text{D.22})$$

### D.8.4 Uso de información previa adicional

(1) Si ya se conocen la validez de la función de resistencia  $r_t$  y un límite superior (estimación conservadora) del coeficiente de variación  $V_r$  a partir de un número significativo de ensayos previos, se puede adoptar el siguiente procedimiento simplificado cuando se realicen más ensayos.

(2) Si solo se realiza un ensayo adicional, el valor característico  $r_k$  puede determinarse a partir del resultado  $r_e$  de este ensayo mediante la aplicación de:

$$r_k = \eta_k r_e \quad (\text{D.23})$$

donde:

$\eta_k$  es el coeficiente de reducción aplicable en caso de tener información previa y que puede obtenerse de:

$$\eta_k = 0,9 \exp(-2,31 V_r - 0,5 V_r^2) \quad (\text{D.24})$$

donde:

$V_r$  es el máximo coeficiente de variación observado en ensayos previos.

(3) Si se realizan dos o tres ensayos adicionales, el valor característico  $r_k$  puede determinarse a partir del valor medio  $r_{em}$  de los resultados del ensayo aplicando:

$$r_k = \eta_k r_{em} \quad (\text{D.25})$$

donde:

$\eta_k$  es un factor de reducción aplicable en el caso de tener información previa y que se puede obtener de:

$$\eta_k = \exp(-2,0 V_r - 0,5 V_r^2) \quad (\text{D.26})$$

donde:

$V_r$  es el máximo coeficiente de variación observado en ensayos previos,

siempre que cada valor extremo (máximo o mínimo)  $r_{ee}$  satisfaga la condición:

$$|r_{ee} - r_{em}| \leq 0,10r_{em} \quad (D.27)$$

(4) Los valores del coeficiente de variación  $V_r$  recogidos en la tabla D3, pueden ser supuestos para para los tipos de fallo a especificar (por ejemplo, en el anejo de este Código Estructural correspondiente), y conducir a los valores indicados de  $\eta_k$  de acuerdo con las expresiones (D.24) y (D.26).

Tabla D3 Factor de reducción  $\eta_k$

Coeficiente de variación $V_r$	Factor de reducción $\eta_k$	
	Para 1 ensayo	Para 2 o 3 ensayos
0,05	0,80	0,90
0,11	0,70	0,80
0,17	0,60	0,70