

Noviembre 2011

TÍTULO

Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón

Parte 3: Depósitos y estructuras de contención

Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 3: Liquid retaining and containment structures.

Eurocode 2. Calcul des structures en béton. Partie 3: Silos et réservoirs.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1992-3:2006.

OBSERVACIONES

Esta norma sustituye a la Norma EN 1992-3:2006 (ratificada por AENOR).

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 140 *Eurocódigos estructurales* cuya Secretaría desempeña SEOPAN.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 45380:2011

© AENOR 2011
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

25 Páginas

Grupo 17

Versión en español

Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón Parte 3: Depósitos y estructuras de contención

**Eurocode 2. Design of concrete structures.
Part 3: Liquid retaining and containment
structures.**

**Eurocode 2. Calcul des structures en
béton. Partie 3: Silos et réservoirs.**

**Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion
von Stahlbeton- und
Spannbetontragwerken. Teil 3: Stütz- und
Behälterbauwerke aus Beton.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2005-11-24.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	5
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.....	7
CAPÍTULO 2 BASES DE PROYECTO.....	9
CAPÍTULO 3 MATERIALES.....	9
CAPÍTULO 4 DURABILIDAD Y RECUBRIMIENTO DE LA ARMADURA	10
CAPÍTULO 5 CÁLCULO ESTRUCTURAL	11
CAPÍTULO 6 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (ELU)	11
CAPÍTULO 7 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (ELS).....	12
CAPÍTULO 8 DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	16
CAPÍTULO 9 DETALLES CONSTRUCTIVOS DE ELEMENTOS Y REGLAS PARTICULARES.....	16
ANEXO K (Informativo) EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN	18
ANEXO L (Informativo) CÁLCULO DE LAS DEFORMACIONES Y TENSIONES EN LAS SECCIONES DE HORMIGÓN SOMETIDAS A DEFORMACIONES IMPUESTAS POR LAS COACCIONES.....	20
ANEXO M (Informativo) CÁLCULO DE LAS ABERTURAS DE FISURAS DEBIDAS A DEFORMACIONES IMPUESTAS POR COACCIONES	23
ANEXO N (Informativo) JUNTAS DE DILATACIÓN.....	25

PRÓLOGO

Esta Norma EN 1992-3:2006 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 250 *Eurocódigos estructurales*, cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de diciembre de 2006, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de marzo de 2010.

Esta norma europea anula y sustituye a la Norma ENV 1992-4.

El Comité Técnico CEN/TC 250 es responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

Prólogo del programa de Eurocódigos

Véase la Norma EN 1992-1-1.

Programa de Eurocódigos

Véase la Norma EN 1992-1-1.

Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos

Véase la Norma EN 1992-1-1.

Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos

Véase la Norma EN 1992-1-1.

Vínculos entre los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (EN y DITE) de productos

Véase la Norma EN 1992-1-1.

Información adicional específica de la Norma EN 1992-3 y relación con la Norma EN 1992-1-1

El objeto y campo de aplicación del Eurocódigo 2 se define en el apartado 1.1.1 de la Norma EN 1992-1-1 y el objeto y campo de aplicación de esta parte del Eurocódigo 2 se define en el apartado 1.1.2. Se han previsto otras partes adicionales del Eurocódigo 2 que se indican en el apartado 1.1.3 de la Norma EN 1992-1-1; dichas partes cubrirán tecnologías adicionales o aplicaciones, y complementarán y suplementarán esta parte. Ha sido necesario introducir en la Norma EN 1992-3 algunos apartados que no son específicos de las estructuras de contención y los depósitos, y que pertenecen estrictamente a la parte 1-1. Éstos se consideran interpretaciones válidas de la Norma EN 1992-1-1, y el proyecto que cumpla con los requisitos de la Norma EN 1992-3 se considera que cumple con los principios de la Norma EN 1992-1-1.

Se debería considerar que cualquier producto, como los tubos de hormigón, que se fabrica y usa de acuerdo con una norma de producto para un producto impermeable, se considerará que satisface los requisitos de esta norma incluyendo los detalles constructivos sin cálculos adicionales.

Existen reglas específicas para las superficies de las estructuras de almacenamiento que se proyectan para contener productos alimenticios o agua potable. Éstas se deberían calificar como necesarias y sus disposiciones no se contemplan en esta norma.

Al usar este documento en la práctica, se debería prestar una particular atención a las suposiciones y condiciones implícitas indicadas en el apartado 1.3 de la Norma EN 1992-1-1.

Los nueve capítulos de este documento se complementan con cuatro anexos informativos. Estos anexos se han introducido para proporcionar información general sobre el comportamiento material y estructural que se puede usar en ausencia de información específicamente relacionada con los materiales reales usados o con las condiciones reales del servicio.

Como se indica anteriormente, se debería hacer referencia a los anexos nacionales que darán detalles para usar las normas compatibles de apoyo. Para esta parte del Eurocódigo 2 se debería prestar una atención especial a la Norma EN 206-1 (Hormigón. Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad).

Para la Norma EN 1992-3 se aplican los siguientes apartados.

Esta parte 3 del Eurocódigo 2 complementa la Norma EN 1992-1-1 en los aspectos especiales de los depósitos y las estructuras para la contención de sólidos granulares.

La base y la estructura de esta parte 3 del Eurocódigo 2 se corresponden con las de la Norma EN 1992-1-1. Sin embargo, esta Norma EN 1992-3 contiene los principios y las reglas de aplicación que son específicos de los depósitos y las estructuras de contención.

Cuando en particular un apartado de la Norma EN 1992-1-1 no se mencione en esta Norma EN 1992-3, se aplica ese apartado de la Norma EN 1992-1-1 en tanto se considere apropiado en cada caso.

Algunos principios y reglas de aplicación de la Norma EN 1992-1-1 se han modificado o reemplazado en esta Norma EN 1992-3, en cuyo caso las versiones modificadas reemplazan a las de la Norma EN 1992-1-1 para el proyecto de depósitos y estructuras de contención.

Cuando un principio o regla de aplicación de la Norma EN 1992-1-1 se ha modificado o reemplazado, el nuevo número del apartado se identifica añadiendo '100' al apartado original. Cuando se añade un nuevo principio o regla de aplicación, se identifica por un número que sigue al último número del apartado apropiado de la Norma EN 1992-1-1, añadiendo '100'.

Un tema no cubierto por la Norma EN 1992-1-1 se introduce en esta norma como un nuevo apartado. El número del apartado para este tema sigue al número de apartado más apropiado de la Norma EN 1992-1-1.

La numeración de las ecuaciones, figuras, notas al pie de página y tablas en esta parte sigue los mismos principios que la numeración de los apartados que se ha descrito anteriormente.

NOTA NACIONAL En esta norma se citan apartados no incluidos en la misma. Se entiende que hacen referencia a la Norma EN 1992-1-1.

Anexo nacional de la Norma EN 1992-3

Esta norma proporciona valores con anotaciones que indican dónde se pueden realizar las opciones nacionales. Por tanto, la norma nacional que adopte la Norma EN 1992-3 debería tener un anexo nacional que contenga todos los Parámetros de Determinación Nacional necesarios para el proyecto de depósitos y estructuras de contención que se vayan a construir en un país determinado.

Se permite ejercer la elección nacional en los siguientes apartados de la Norma EN 1992-3:

7.3.1 (111)

7.3.1 (112)

7.3.3

8.10.3.3 (102) y (103)

9.11.1 (102)

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1 Objeto y campo de aplicación

Se sustituye el apartado 1.1.2 de la Norma EN 1992-1-1 por:

1.1.2 Objeto y campo de aplicación de la parte 3 del Eurocódigo 2

(101)P Esta Norma EN 1992-3 proporciona reglas adicionales a las indicadas en la Norma EN 1992-1-1 para el proyecto de estructuras construidas con hormigón en masa o ligeramente armado, hormigón armado u hormigón pretensado para la contención de líquidos (depósitos) o sólidos granulares (estructuras de contención).

(102)P En esta norma se dan los principios y las reglas de aplicación para el proyecto de aquellos elementos de la estructura que soportan directamente los líquidos o los materiales almacenados (es decir las paredes directamente cargadas de tanques, depósitos o silos). Otros elementos que soportan estos elementos principales (por ejemplo, la estructura de torre que sostiene el tanque en una torre de agua) se deberían proyectar de acuerdo con las disposiciones de la Norma EN 1992-1-1.

(103)P Esta Norma EN 1992-3 no cubre:

- Estructuras para el almacenamiento de materiales a temperaturas muy bajas o muy altas.
- Estructuras para el almacenamiento de materiales peligrosos, la fuga de los cuales podría constituir un riesgo muy importante para la salud o la seguridad.
- La selección y el proyecto de forros o revestimientos y las consecuencias de la elección de éstos sobre el proyecto de la estructura.
- Depósitos presurizados.
- Estructuras flotantes.
- Grandes presas.
- Estanquidad a los gases.

(104) Esta norma es válida para materiales almacenados que están permanentemente a una temperatura entre -40 °C y +200 °C.

(105) Para la selección y el proyecto de los forros o revestimientos se debería hacer referencia a los documentos apropiados.

(106) Se reconoce que mientras que esta norma se refiere específicamente a estructuras para la contención de líquidos y materiales granulares, los apartados que cubren el proyecto para la estanquidad a los líquidos pueden también ser apropiados para otros tipos de estructuras en las que se requiera la estanquidad a los líquidos.

(107) En los apartados relacionados con la fuga y la durabilidad, esta norma cubre principalmente los líquidos acuosos. Cuando se almacenan otros líquidos en contacto directo con hormigón estructural, se debería hacer referencia a literatura especializada.

1.2 Normas para consulta

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Sin embargo, se anima a las partes de acuerdos basados en esta norma a que investiguen la posibilidad de aplicar las versiones más recientes de los documentos normativos citados a continuación.

EN 1990 *Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.*

EN 1991-1-5 *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-5: Acciones generales. Acciones térmicas.*

EN 1991-4 *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 4: Silos y depósitos.*

EN 1992-1-1 *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.*

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

EN 1997 *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico.*

1.6 Símbolos

Se añade tras el apartado 1.6.

1.7 Símbolos especiales usados en la parte 3 del Eurocódigo 2

Mayúsculas latinas

R_{ax} coeficiente que define el grado de coacción axial externa que proporcionan los elementos unidos al elemento considerado

R_m coeficiente que define el grado de coacción a momentos que proporcionan los elementos unidos al elemento considerado.

Minúsculas latinas

f_{ctx} resistencia a tracción, cualquiera que sea su definición

f_{ckT} resistencia característica a compresión del hormigón modificada para tener en cuenta la temperatura

Minúsculas griegas

ϵ_{av} deformación unitaria media en el elemento

ϵ_{az} deformación unitaria real en el nivel z

ϵ_{iz} deformación unitaria impuesta intrínseca en el nivel z

ϵ_{Tr} deformación unitaria térmica transitoria

ϵ_{Th} deformación unitaria térmica libre en el hormigón

CAPÍTULO 2 BASES DE PROYECTO

2.1 Requisitos

2.1.1 Requisitos fundamentales

Se añade después del punto (3):

(104) Las situaciones de proyecto a considerar deberían cumplir con las Normas EN 1990, EN 1991-4 y con el capítulo 3 de la Norma EN 1991-1-5. Además, para los depósitos y las estructuras de contención construidas con hormigón, las siguientes situaciones especiales de proyecto pueden ser relevantes:

- condiciones de servicio que impliquen pautas de vaciado y llenado;
- explosiones de polvo;
- efectos térmicos causados, por ejemplo, por los materiales almacenados o por la temperatura ambiental;
- requisitos para los ensayos de estanquidad de los depósitos.

2.3 Variables básicas

2.3.1 Acciones e influencias ambientales

2.3.1.1 Generalidades

Se añade después del punto (1):

(102)P Los coeficientes parciales de seguridad de las acciones para los depósitos y las estructuras de contención se exponen en el anexo normativo B de la Norma EN 1991-4.

(103) Las acciones que proceden del suelo o del agua contenida en el terreno se deberían obtener de acuerdo con la Norma EN 1997.

2.3.2 Propiedades de materiales y productos

2.3.2.3 Propiedades del hormigón respecto a la estanquidad

(101) Si se utilizan los espesores mínimos del elemento dados en el punto (102) del apartado 9.11, entonces puede ser necesaria una menor relación agua/cemento y se debería considerar una limitación del tamaño máximo del árido.

CAPÍTULO 3 MATERIALES

3.1 Hormigón

3.1.1 Generalidades

(103) Se debería considerar en el proyecto el efecto de la temperatura en las propiedades de hormigón.

NOTA Se puede encontrar información adicional en el anexo informativo K.

3.1.3 Deformación elástica

Se sustituye el punto (5) por:

(105) A menos que se disponga de información más precisa, se puede suponer el coeficiente lineal de la dilatación térmica como $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Se debería advertir que, sin embargo, los coeficientes de la dilatación térmica del hormigón varían considerablemente dependiendo del tipo de árido y de las condiciones de humedad dentro del hormigón.

3.1.4 Fluencia y retracción

Se añade después del punto (5)

(106) Cuando los elementos están expuestos a alta temperatura ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante períodos importantes, el comportamiento a fluencia se modifica sustancialmente. Cuando esto pueda ser importante, en general se deberían obtener datos apropiados para las condiciones especiales previstas en servicio.

NOTA En el anexo informativo K se dan orientaciones sobre la estimación de los efectos de fluencia a temperaturas elevadas.

3.1.11 Evolución del calor y desarrollo de la temperatura debidos a la hidratación

(101) Cuando se considere que las condiciones durante la fase de construcción son importantes, las características de la evolución del calor para un cemento en particular se deberían obtener en general a partir de ensayos. La verdadera evolución de calor se debería determinar teniendo en cuenta las condiciones esperadas durante la vida temprana del elemento (por ejemplo el curado, las condiciones ambientales). El aumento máximo de temperatura y el instante en que se produce tras del hormigonado se deberían establecer a partir de la dosificación, de la naturaleza del encofrado, de las condiciones ambientales y de las condiciones de contorno.

3.2 Armaduras pasivas

3.2.2 Propiedades

(107) Para armaduras pasivas sometidas a temperaturas en el rango $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (si no se ha hecho un estudio especial) se debería hacer referencia al apartado 3.2.2 de la Norma EN 1992-1-1. En el apartado 3.2.3 de la Norma EN 1992-1-2 se da información para temperaturas mayores. Para la relajación a temperaturas por encima de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ véase el apartado 10.3.2.2 de la Norma EN 1992-1-2.

3.3 Armaduras activas

3.3.2 Propiedades

(110) Para cordones de pretensado sometidos a temperaturas en el rango $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (si no se ha hecho un estudio especial) se aplican los mismos valores de resistencia y relajación que para las "temperaturas normales". En el apartado 3.2.4 de la Norma EN 1992-1-2 se da información para temperaturas mayores.

CAPÍTULO 4 DURABILIDAD Y RECUBRIMIENTO DE LA ARMADURA

4.3 Requisitos para durabilidad

Se añade después del punto (13) del apartado 4.4.1.2

(114) La abrasión de la cara interior de las paredes de un silo puede producir la contaminación del material almacenado o llevar a una pérdida importante del recubrimiento. Pueden producirse tres mecanismos de abrasión:

- ataque mecánico debido al proceso de llenado y vaciado;
- ataque físico debido a la erosión y a la corrosión por el cambio de las condiciones de temperatura y de humedad;
- ataque químico debido a la reacción entre el hormigón y el material almacenado.

(115) Se deberían tomar las medidas apropiadas para asegurar que los elementos sometidos a la abrasión permanecerán en servicio durante la vida útil de proyecto.

CAPÍTULO 5 CÁLCULO ESTRUCTURAL

Se añade después del apartado 5.11

5.12 Determinación de los efectos de la temperatura

5.12.1 Generalidades

(101) Se pueden realizar análisis rigurosos utilizando las disposiciones del apartado 3.1.4 y del anexo B de la Norma EN 1992-1-1 para la fluencia y la retracción.

(102) En estructuras de almacenamiento pueden producirse gradientes elevados de temperatura cuando el material almacenado genera su propio calor o se pone en la estructura a alta temperatura. En tales circunstancias será necesario calcular los gradientes de temperatura producidos y los esfuerzos inducidos.

5.13 Cálculo de los efectos de la presión interna

(101) La presión interna de los materiales sólidos actúa directamente sobre la superficie interior del hormigón. A falta de un análisis más riguroso, se puede suponer que la presión interna de líquidos actúa en el centro de los elementos de retención.

CAPÍTULO 6 ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS (ELU)

Se añade después del punto (8) del apartado 6.2.3

(109) Los ángulos de las bielas definidos en el punto (2) del apartado 6.2.3 se deberían seleccionar para la resistencia a cortante teniendo en cuenta la influencia de cualquier esfuerzo de tracción significativo. De manera conservadora, se puede tomar $\cot\theta$ como 1,0. También se puede utilizar el procedimiento del anexo QQ de la Norma EN 1992-2.

Se añade después del apartado 6.8

6.9 Proyecto para explosiones de polvo

6.9.1 Generalidades

(101)P Cuando los silos se proyectan para contener materiales que pueden suponer un riesgo de explosiones de polvo, la estructura debe proyectarse o bien para resistir las presiones máximas producidas esperadas o bien de forma que dispongan de aberturas de ventilación (venteo) apropiadas para reducir la presión a un nivel soportable. Las cargas apropiadas producidas por las explosiones de polvo se tratan en la Norma EN 1991-4 y las consideraciones generales relacionadas con el proyecto para explosiones en la Norma EN 1991-1-7, sin embargo se deberían considerar los puntos (101) a (105) del apartado 6.9.2.

(102)P El fuego expulsado a través de una válvula de escape (ventilación) no debe causar ningún deterioro del entorno ni causar explosiones en otras secciones del silo. Se deben minimizar los riesgos a las personas debidos a vidrios volantes o a otros escombros.

(103) Las aberturas de ventilación deberían conducir directamente al aire libre a través de válvulas de escape planificadas, que reduzcan la presión de la explosión.

(104) Los sistemas de ventilación se deberían iniciar a baja presión y tener una inercia baja.

(105) Las acciones debidas a explosiones de polvo se deberían tratar como acciones accidentales.

6.9.2 Proyecto de elementos estructurales

(101) Las presiones máximas debidas a explosiones se producen en celdas vacías de silo, sin embargo, las presiones en una celda de silo llena en parte, combinadas con las correspondientes presiones del material en bruto, pueden llevar a una condición de proyecto más crítica.

(102) Cuando las fuerzas de inercia aparecen debido a una descarga rápida de gas seguida por el enfriamiento del humo caliente, puede producirse una presión inferior a la atmosférica. Esto se debería tener en cuenta al proyectar la estructura envolvente y los elementos en el camino de circulación.

(103) Los elementos que constituyen un dispositivo de ventilación se deberían asegurar para que no salgan volando y que aumenten los riesgos de escombros volantes.

(104) Al reducirse la presión durante la ventilación, se generan fuerzas de reacción que se deberían tener en cuenta en el proyecto de los elementos estructurales.

(105) Se debería buscar el asesoramiento de un especialista cuando se diseñan instalaciones complicadas o cuando las explosiones pudieran plantear un alto riesgo de lesiones.

CAPÍTULO 7 ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO (ELS)

7.3 Control de fisuras

7.3.1 Consideraciones generales

Se añade después del punto (9)

(110) Es conveniente clasificar los depósitos en relación con el grado de protección requerido contra las fugas. La tabla 7.105 da la clasificación. Se debería advertir que todo hormigón permitirá el paso de pequeñas cantidades de líquidos y gases por difusión.

Tabla 7.105 – Clasificación de la estanquidad

Clase de estanquidad	Requisitos para las fugas
0	Es admisible un cierto grado de fuga, o la fuga de líquidos es irrelevante
1	La fuga se limita una pequeña cantidad. Son aceptables algunas manchas o zonas húmedas
2	La fuga será mínima. La apariencia no se altera por manchas
3	No se permite ninguna fuga

(111) Se deberían seleccionar límites apropiados de fisuración dependiendo de la clasificación del elemento considerado, teniendo en cuenta la función requerida a la estructura. A falta de requisitos más específicos, se puede adoptar lo siguiente.

Clase de estanquidad 0 – se pueden adoptar las disposiciones del apartado 7.3.1 de la Norma EN 1992-1-1.

Clase de estanquidad 1 – cualquier fisura que se pueda esperar que pase completamente a través del espesor de la sección se debería limitar a w_{k1} . Las disposiciones del apartado 7.3.1 de la Norma EN 1992-1-1 se aplican cuando no todo el espesor de la sección está fisurado y cuando se cumplen las condiciones de los puntos (112) y (113).

Clase de estanquidad 2 – en general se deberían evitar las fisuras que se pueda esperar que pasen completamente a través del espesor de la sección a menos que se hayan incorporado las medidas apropiadas (por ejemplo forros o barreras de agua).

Clase de estanquidad 3 – en general se requerirán medidas especiales (por ejemplo forros o pretensado) para asegurar la estanquidad.

NOTA El valor de w_{k1} para su uso en un Estado se puede encontrar en su anexo nacional. Los valores recomendados para las estructuras de retención (depósitos) de agua se definen como una función de la relación entre la presión de hidrostática, h_D , y el espesor de la pared de la estructura de contención, h . Para $h_D/h \leq 5$, $w_{k1} = 0,2$ mm mientras que para $h_D/h \geq 35$, $w_{k1} = 0,05$ mm. Para valores intermedios de h_D/h se puede interpolar linealmente entre 0,2 y 0,05. La limitación de las aberturas de fisura a estos valores debería dar como resultado el sellado eficaz de las fisuras dentro de un tiempo relativamente corto.

(112) Para proporcionar seguridad suficiente a las estructuras de clases 2 o 3 de que las fisuras no pasan completamente a través del espesor de una sección, el valor de proyecto de la profundidad de la zona de compresión debería ser por lo menos x_{min} , calculado para la combinación cuasipermanente de las acciones. Cuando una sección está sometida a acciones alternadas, se debería considerar que las fisuras pasan completamente a través del espesor de la sección a menos que se pueda demostrar que alguna parte del espesor de la sección permanecerá siempre en compresión. Este espesor de hormigón comprimido debería normalmente ser por lo menos x_{min} , bajo todas combinaciones apropiadas de las acciones. Los efectos de las acciones se pueden calcular con la hipótesis de comportamiento elástico lineal del material. Las tensiones resultantes en una sección se deberían calcular suponiendo que se desprecia el hormigón traccionado.

NOTA Los valores de x_{min} , para su uso en un Estado se pueden encontrar en su anexo nacional. El valor recomendado para x_{min} , es el menor de 50 mm o $0,2 h$, donde h es el espesor de elemento.

(113) Si se cumplen las disposiciones del punto (111) del apartado 7.3.1 para clase de estanquidad 1 entonces se puede esperar que se cierren las fisuras a través de las que el agua fluye en elementos que no están sometidos a cambios importantes de carga o de temperatura en servicio. A falta de información más fiable, se puede suponer la reparación cuando el rango de deformaciones unitarias esperado en una sección en condiciones de servicio es menor de 150×10^{-6} .

(114) Si es poco probable que se produzca la auto-reparación, cualquier fisura que pase completamente a través del espesor de la sección puede dar lugar a fugas, sin importar la abertura de fisura.

(115) Los silos que almacenan materiales secos se pueden proyectar en general como clase 0, sin embargo puede ser apropiado usar clases 1, 2 o 3 cuando el material almacenado es particularmente sensible a la humedad.

(116) Se debería tener especial cuidado cuando los elementos están sometidos a tensiones de tracción debidas a la coacción de la retracción o los movimientos térmicos.

(117) Los criterios de aprobación para los depósitos pueden incluir el nivel máximo de fugas.

7.3.3 Control de la fisuración sin cálculo directo

Se sustituye la nota del punto (2):

NOTA Si se dispone la armadura mínima dada en el apartado 7.3.2 (EN 1992-1-1), las figuras 7.103N y 7.104N dan los valores de los diámetros máximos de las barras y la separación las barras para varias aberturas de fisura de cálculo para secciones completamente traccionadas.

El diámetro máximo de la barra dado por la figura 7.103N se debería modificar usando la siguiente expresión 7.122 en vez de la expresión 7.7, que es aplicable cuando ϕ_s^* se ha calculado para flexión pura:

$$\phi_s = \phi_s^* \left(\frac{f_{ct,eff}}{2,9} \right) \frac{h}{10(h-d)} \quad [7.122]$$

donde

ϕ_s es el diámetro máximo ajustado de la barra;

ϕ_s^* es el diámetro máximo de la barra obtenido de la figura 7.103N;

h es el espesor total del elemento;

d es la profundidad del centro de gravedad (distancia entre el centro de gravedad de la capa exterior de la armadura respecto a la cara opuesta del hormigón) (véase la figura 7.1 (c) de la Norma EN 1992-1-1).

$f_{ct,eff}$ es el valor medio de la resistencia efectiva a tracción del hormigón según se define en la Norma EN 1992-1-1, donde $f_{ct,eff}$ está en MPa.

Para la fisuración producida fundamentalmente por las coacciones, no se deberían superar los tamaños de barra dados en la figura 7.103N cuando la tensión en el acero es el valor obtenido inmediatamente después de la fisuración (es decir σ_s en la expresión 7.1).

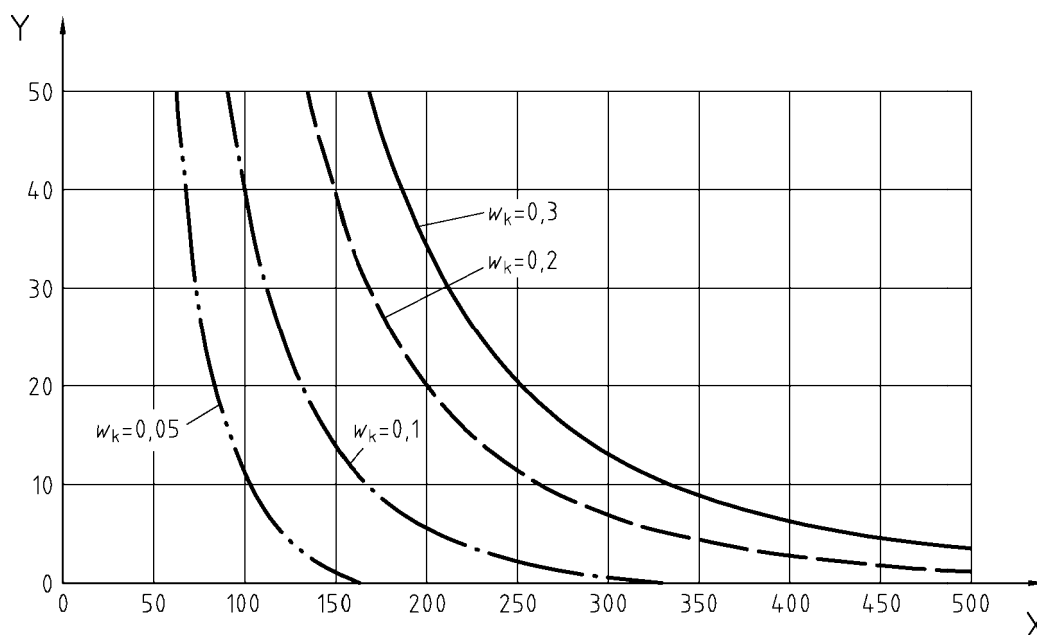
Para las fisuras producida fundamentalmente por las cargas, se pueden cumplir o bien los tamaños máximos de barra de la figura 7.103N o bien las separaciones máximas de barras de la figura 7.104N. La tensión en el acero se debería calcular basándose en una sección fisurada bajo la combinación relevante de acciones.

Para valores intermedios de la abertura de fisura de cálculo, se pueden interpolar los valores.

7.3.4 Cálculo de las aberturas de fisura

Se añade después del punto (5).

(106) En los anexos informativos L y M se da información sobre el cálculo de las aberturas de fisura en elementos que tienen coaccionada la deformación térmica o la deformación de retracción.

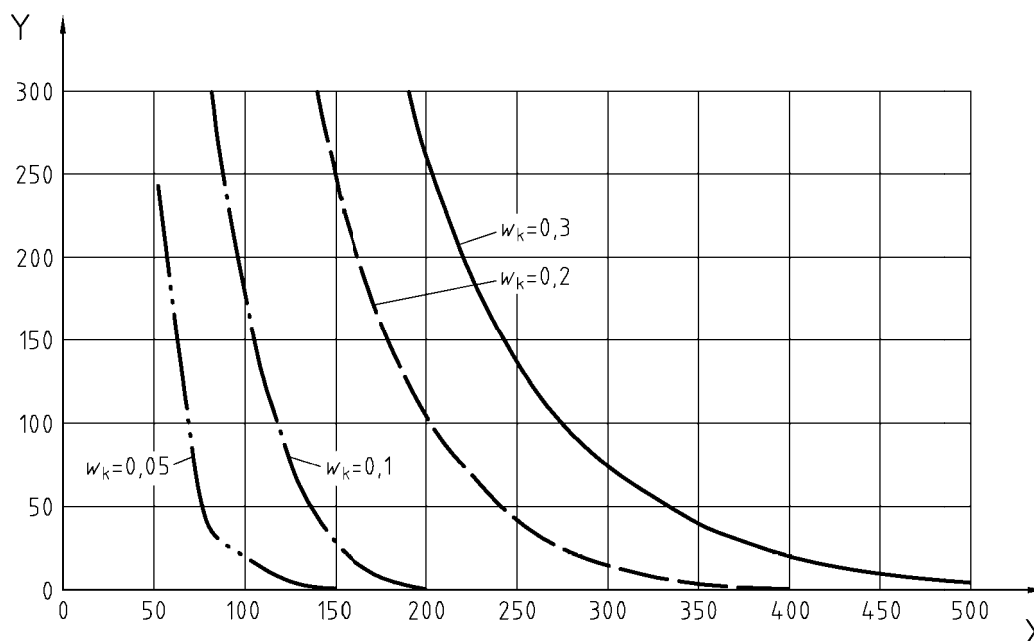


Leyenda

X Tensión de la armadura pasiva σ_s (N/mm²)

Y Diámetro máximo de la barra (mm)

Figura 7.103N – Diámetros máximos de la barra para el control de la fisuración en elementos sometidos a tracción axial



Leyenda

X Tensión de la armadura pasiva σ_s (N/mm²)

Y Separación máxima de la barra (mm)

Figura 7.104N – Separaciones máximas de las barras para el control de la fisuración en elementos sometidos a tracción axial

Se añade después de 7.3.4

7.3.5 Minimizado de la fisuración debida a deformaciones impuestas por coacciones

(101) Si se desea minimizar la formación de fisuras debidas a deformaciones impuestas coaccionadas producidas por el cambio de temperatura o la retracción, para las estructuras de clase 1 (véase la tabla 7.105) se puede conseguir asegurando que las tensiones de tracción resultantes no superen la resistencia a tracción disponible $f_{ctk,0,05}$ del hormigón, ajustada si fuera apropiado para el estado bidimensional de tensiones (véase el anexo QQ de la Norma EN 1992-2) y, para estructuras de clase 2 o de clase 3 cuando no se use un forro, asegurando que toda la sección permanece en compresión. Esto se puede conseguir:

- limitando el aumento de temperatura producido por la hidratación del cemento;
- quitando o reduciendo las coacciones;
- reduciendo la retracción del hormigón;
- usando un hormigón con un coeficiente de dilatación térmica bajo;
- usando un hormigón con una alta capacidad de deformación a tracción (solamente estructuras de clase 1);
- aplicando un pretensado.

(102) En general será suficientemente preciso calcular las tensiones suponiendo que el hormigón es elástico y teniendo en cuenta los efectos de fluencia mediante el uso de un módulo eficaz de elasticidad para el hormigón. El anexo informativo L proporciona un método simplificado de evaluar las tensiones y las deformaciones en elementos de hormigón coaccionado, que se puede usar a falta de un cálculo más riguroso.

CAPÍTULO 8 DETALLES CONSTRUCTIVOS

8.10.1 Disposición de la armadura activa y las vainas

8.10.1.3 Vainas para postesado

Se añade después del punto (1).

(102) En el caso de tanques circulares con pretensado, hay que tener cuidado para evitar la posibilidad de fallos locales debidos al estallido de los tendones a través del recubrimiento interior. En general, esto se evitará si el centro de gravedad teórico de los cables horizontales queda en el tercio exterior de la pared. En el caso en que las disposiciones del recubrimiento hagan que esto sea imposible, este requisito se puede relajar siempre que la vaina del tendón quede dentro de la mitad exterior de la pared.

(103) En general el diámetro de una vaina dentro de una pared no debería superar κ veces el espesor de la pared.

NOTA El valor de κ para su uso en un Estado se puede encontrar en su anexo nacional. El valor recomendado es $\kappa = 0,25$.

(104) La fuerza de pretensado sobre una pared se debería distribuir de forma tan uniforme como sea posible. Así, los anclajes o contrafuertes se deberían colocar de forma que se reduzcan las posibilidades de una distribución irregular de fuerza, a menos que se tomen medidas específicas para tener en cuenta los efectos.

(105) Cuando se usan estructuras sometidas a temperaturas elevadas y que contienen tendones verticales no adherentes, se ha encontrado que la grasa protectora es propensa a salirse. Para evitarlo, es preferible no usar tendones de pretensado no adherentes como pretensado vertical. Si se usan, se deberían disponer los medios para permitir verificar la presencia de la grasa protectora y su renovación si fuese necesario.

8.10.4 Anclajes y conectadores para la armadura activa

Se añade después del punto (5)

(106) Si los anclajes están colocados en el interior de los tanques se debería tener un cuidado particular para protegerlos contra la posible corrosión.

CAPÍTULO 9 DETALLES CONSTRUCTIVOS DE ELEMENTOS Y REGLAS PARTICULARES

9.6 Paredes de hormigón armado

Se añade después de 9.6.4

9.6.5 Conexiones de esquina entre paredes

(101) Cuando las paredes se conectan monolíticamente en una esquina y están sometidas a momento y cortante que tienden a abrir la esquina (es decir, las caras interiores de las paredes están traccionadas), es necesario ser cuidadoso al proyectar los detalles de la armadura para asegurar que las fuerzas diagonales de tracción se resisten suficientemente. Un sistema de bielas y tirantes, tal como se contempla en el apartado 5.6.4 de la Norma EN 1992-1-1, es un enfoque de cálculo apropiado.

9.6.6 Disposición de las juntas de dilatación

(101) Si no se pueden disponer de otra manera medios eficaces y económicos para limitar la fisuración, en los depósitos se deberían disponer juntas de dilatación. La estrategia a adoptar dependerá de las condiciones de la estructura en servicio y el nivel de riesgo de fugas que sea aceptable. Se han desarrollado varios procedimientos para el proyecto y construcción satisfactorios de juntas en diferentes países. Se debería advertir que el rendimiento satisfactorio de las juntas requiere que se construyan correctamente. Además, los sellantes de juntas tienen frecuentemente una vida considerablemente más corta que la vida útil de proyecto de la estructura y, por tanto, en tales casos las juntas se deberían construir de forma que se puedan inspeccionar y sean reparables o renovables. En el anexo informativo N se da información adicional sobre las disposiciones para juntas de dilatación. También es necesario asegurar que el material sellante es apropiado para el material o el líquido contenido.

9.11 Paredes pretensadas

9.11.1 Área mínima de la armadura pasiva y dimensiones de la sección transversal

(101) Cuando no hay postesado vertical (o ningún postesado inclinado en paredes inclinadas), se debería disponer armadura pasiva vertical (o inclinada) conforme a las reglas para el proyecto de hormigón armado.

(102) En general el espesor de las paredes que forman los lados de los depósitos o tanques no debería ser menor que t_1 mm para la clase 0 o que t_2 mm para las clases 1 o 2. Las paredes realizadas con encofrado deslizante no deberían ser más delgadas que t_2 mm para cualquier clase y los orificios dejados por las barras de elevación se deberían rellenar con un mortero de relleno apropiado.

NOTA Los valores de t_1 y t_2 para su uso en un Estado se pueden encontrar en su anexo nacional. El valor recomendado para t_1 es 120 mm y para t_2 es 150 mm.

ANEXO K (Informativo)**EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN****K.1 Generalidades**

(101) Este anexo contempla los efectos sobre las propiedades materiales del hormigón a una temperatura entre -25 °C y +200 °C. Las propiedades contempladas son: resistencia y rigidez, fluencia y deformación unitaria térmica transitoria.

(102) En todos los casos los cambios en las propiedades dependen fuertemente del tipo particular de hormigón utilizado y no se debería considerar que el anexo proporciona más que una orientación general.

K.2 Propiedades materiales a temperaturas bajo cero

(101) Cuando el hormigón se enfría por debajo de cero, su resistencia y su rigidez aumentan. Este aumento depende principalmente del contenido de humedad del hormigón: a mayor contenido de humedad, mayor es el aumento de la resistencia y la rigidez. Se debería advertir que la mejora en las propiedades sería aplicable solamente a estructuras que permanezcan permanentemente por debajo de -25 °C.

(102) El enfriamiento del hormigón a -25 °C produce unos aumentos en la resistencia a compresión de:

- en torno a 5 MPa para hormigón parcialmente seco;
- en torno a 30 MPa para hormigón saturado.

(103) Las expresiones dadas en la tabla 3.1 para la resistencia a tracción se pueden modificar para dar el efecto de la temperatura de la siguiente manera:

$$f_{ctx} = \alpha f_{ckT}^{2/3} \quad [K.1]$$

donde

f_{ctx} = resistencia a tracción, cualquiera que sea su definición (véase la tabla K.1);

α = un coeficiente que tiene en cuenta el contenido de humedad del hormigón. Los valores de α se dan en la tabla K.1;

f_{ckT} = la resistencia característica a compresión del hormigón modificada para tener en cuenta la temperatura de acuerdo con el punto (102) anterior.

Tabla K.1 – Valores de α para hormigón saturado y seco

Definición de resistencia a tracción (f_{ctx})	Hormigón saturado	Hormigón seco
f_{ctm}	0,47	0,30
$f_{ctk} 0,05$	0,27	0,21
$f_{ctk} 0,95$	0,95	0,39

(104) El enfriamiento del hormigón a -25 °C produce unos aumentos en el módulo de elasticidad de:

- en torno a 2 000 MPa para hormigón parcialmente seco;
- en torno a 8 000 MPa para hormigón saturado.

(105) La fluencia a temperaturas bajo cero se puede tomar como entre el 60% y el 80% de la fluencia a temperaturas normales. Por debajo de -20 °C se puede suponer que la fluencia es despreciable.

K.3 Propiedades materiales a temperaturas elevadas

(101) Se puede obtener información sobre la resistencia a compresión y la resistencia a tracción del hormigón a temperaturas por encima de lo normal del apartado 3.2.2 de la Norma EN 1992-1-2.

(102) Se puede suponer que el módulo de elasticidad del hormigón no se ve afectado a temperaturas hasta 50 °C. Para temperaturas mayores, se puede suponer una reducción lineal del módulo de elasticidad hasta una reducción de 20% para una temperatura de 200 °C.

(103) Para hormigón calentado antes de la carga, se puede suponer que el coeficiente de fluencia aumenta con el aumento de la temperatura por encima de la normal (supuesta como 20 °C) con el coeficiente apropiado de la tabla K.2.

Tabla K.2 – Multiplicadores del coeficiente de fluencia para tener en cuenta la temperatura cuando el hormigón se calienta antes de la carga

Temperatura (°C)	Multiplicador del coeficiente de fluencia
20	1,00
50	1,35
100	1,96
150	2,58
200	3,20
NOTA Los valores de la tabla se han obtenido del Boletín 208 de CEB y son conformes con los multiplicadores calculados con base en una energía de activación de 8 kJ/mol para la fluencia.	

(104) En casos en que la carga está presente durante el calentamiento del hormigón, se producirán deformaciones superiores a las calculadas usando los multiplicadores del coeficiente de fluencia dados anteriormente en el punto (103). Esta deformación excesiva, la deformación unitaria térmica transitoria, es una deformación unitaria irre recuperable e independiente del tiempo que se produce en un hormigón calentado mientras se encuentra en tensión. La deformación unitaria térmica transitoria máxima se puede calcular aproximadamente mediante la expresión:

$$\varepsilon_{Tr} = \kappa \sigma_c \varepsilon_{Th} / f_{cm} \quad [K.2]$$

donde

κ = una constante obtenida de los ensayos. El valor de κ estará en el rango $1,8 \leq \kappa \leq 2,35$;

f_{cm} = la resistencia media a compresión del hormigón;

ε_{Tr} = la deformación unitaria térmica transitoria;

ε_{Th} = la deformación unitaria térmica libre en el hormigón (= cambio de temperatura \times el coeficiente de la dilatación térmica);

σ_c = la tensión de compresión aplicada.

ANEXO L (Informativo)**CÁLCULO DE LAS DEFORMACIONES Y TENSIONES EN LAS SECCIONES DE HORMIGÓN SOMETIDAS A DEFORMACIONES IMPUESTAS POR LAS COACCIONES****L.1 Expresiones para el cálculo de las tensiones y deformaciones en una sección no fisurada**

(101) La deformación unitaria en cualquier nivel en una sección es:

$$\varepsilon_{az} = (1 - R_{ax}) \varepsilon_{iav} + (1 - R_m)(1/r)(z - \underline{z}) \quad [L.1]$$

y la tensión en el hormigón se puede calcular con la expresión:

$$\sigma_z = E_{c,eff}(\varepsilon_{iz} - \varepsilon_{az}) \quad [L.2]$$

donde

R_{ax} = coeficiente que define el grado de coacción axil externa producida por elementos fijados al elemento considerado;

R_m = coeficiente que define el grado de la coacción a momentos producida por elementos fijados al elemento considerado. En los casos más comunes R_m se puede tomar como 1,0;

$E_{c,eff}$ = módulo de elasticidad eficaz del hormigón para considerar la fluencia, cuando proceda;

ε_{iav} = deformación unitaria media impuesta en el elemento (es decir, la deformación unitaria media que se produciría si el elemento no estuviera coaccionado);

ε_{iz} = deformación unitaria impuesta en el nivel z ;

ε_{az} = deformación unitaria real en el nivel z ;

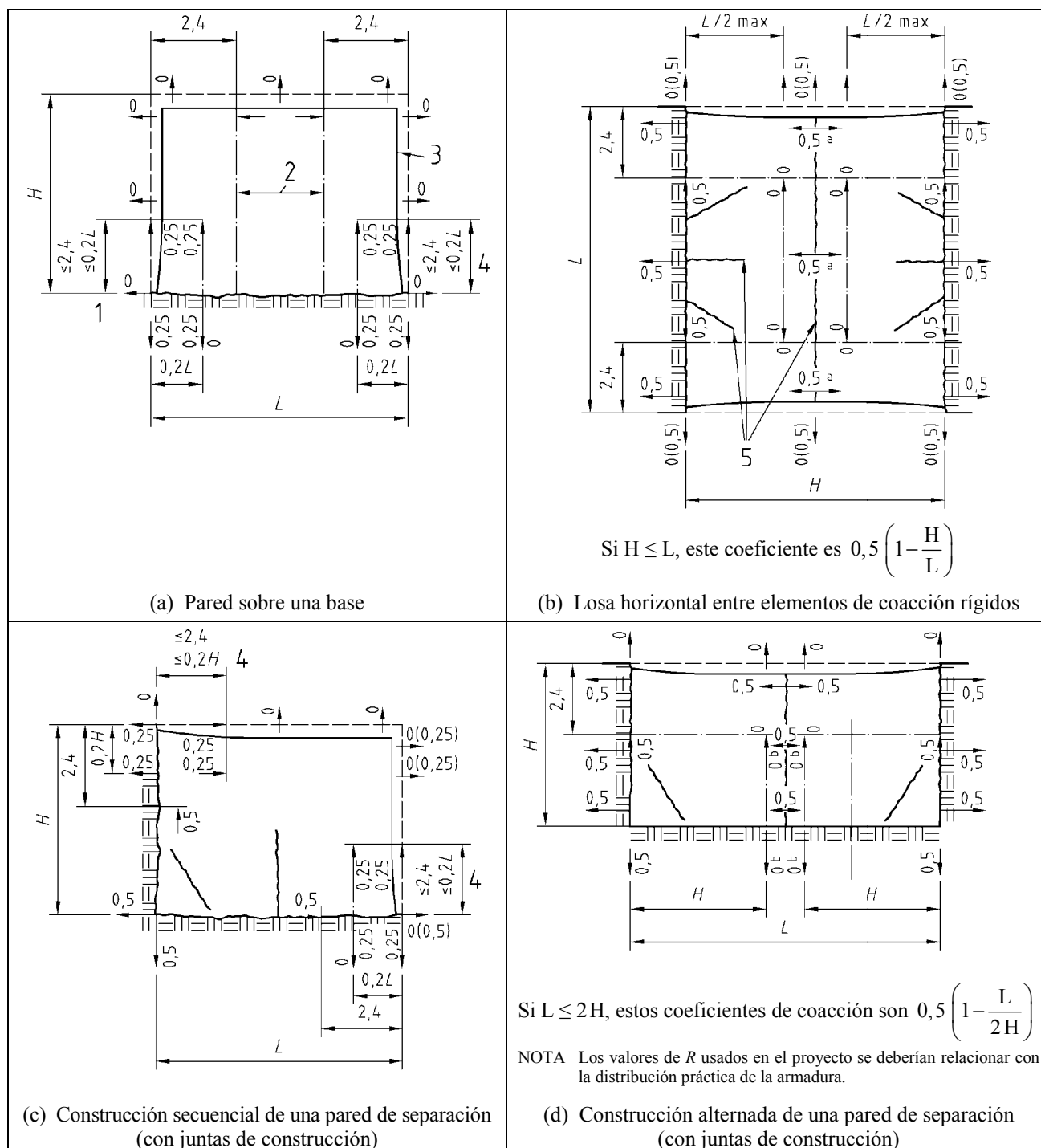
z = posición en la sección;

\underline{z} = posición del centro de gravedad de la sección;

$1/r$ = curvatura.

L.2 Evaluación de la coacción

(101) Los coeficientes de coacción se pueden calcular a partir de las rigideces conocidas del elemento considerado y de los elementos fijados a él. Como alternativa, se pueden tomar los valores prácticos de los coeficientes de coacción axil para situaciones comunes de la figura L.1 y de la tabla L.1. En muchos casos (por ejemplo una pared hormigonada sobre una gran base preexistente) estará claro que no podría producirse ninguna curvatura importante y será apropiado un coeficiente de coacción a momentos de 1,0.



Leyenda

- 1 Coeficientes verticales de coacción
- 2 Coeficiente horizontal de coacción (obtenido de la tabla L.1 para esta zona central)
- 3 Juntas de dilatación o de contracción libre
- 4 (el mayor de los valores)
- 5 Fisuras potenciales principales

Figura L.1 – Coeficientes de coacción para situaciones típicas

Tabla L.1 – Coeficientes para la zona central de las paredes mostradas en la figura L.1

Relación L/H (véase figura L.1)	Coeficiente de coacción en la base	Coeficiente de coacción en la parte superior
1	0,5	0
2	0,5	0
3	0,5	0,05
4	0,5	0,3
> 8	0,5	0,5

ANEXO M (Informativo)

CÁLCULO DE LAS ABERTURAS DE FISURAS DEBIDAS A DEFORMACIONES
IMPUESTAS POR COACCIONES

M.1 Generalidades

(101) Las deformaciones impuestas contempladas en este anexo son la retracción y los movimientos térmicos a edades tempranas debidos al enfriamiento de elementos durante los días inmediatamente posteriores al hormigonado.

Hay dos problemas prácticos básicos que se tienen que abordar. Éstos se refieren a las diferentes formas de coacción y son tal como se esbozan en las figuras siguientes.

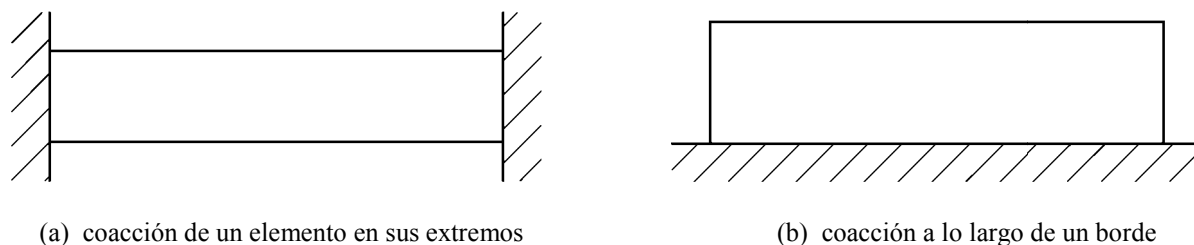


Figura M.1 – Tipos de coacción de las paredes

Los factores que controlan la fisuración en estos dos casos son algo diferentes y ambos tienen importancia en casos reales. El caso (a) se produce cuando una nueva sección de hormigón se hormigona entre dos secciones preexistentes. El caso (b) es particularmente común y aparece cuando una pared se hormigona sobre una base rígida preexistente. El caso (a) se ha investigado exhaustivamente durante las últimas décadas y se comprende razonablemente bien. El caso (b) no se ha estudiado tan sistemáticamente y parece que se han publicado pocas recomendaciones sobre el tema.

M.2 Coacción de un elemento

(a) Coacción de un elemento en sus extremos

La abertura máxima de fisura se puede calcular usando la expresión 7.8 de la Norma EN 1992-1-1, donde $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ se calcula a partir de la expresión M.1

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,5 \alpha_e k_c k_{f_{ct,eff}} (1 + 1/(\alpha_e \rho)) / E_s \quad [M.1]$$

Para comprobar la fisuración sin cálculo directo, σ_s se puede calcular a partir de la expresión M.2 que entonces se puede usar junto con las figuras 7.103N y 7.104N para obtener una disposición apropiada de la armadura.

$$\sigma_s = k_c k_{f_{ct,eff}} / \rho \quad [M.2]$$

donde ρ es A_s/A_{ct} y A_{ct} es el área de hormigón en tracción según se define en el apartado 7.3.2 (EN 1992-1-1).

(b) Coacción de una pared de gran longitud a lo largo de un borde

A diferencia de la situación de coacción en un extremo, en este caso la formación de una fisura solamente influye en la distribución de las tensiones a nivel local y la abertura de fisura es una función de la deformación unitaria de coacción en lugar de ser función de la capacidad de deformación unitaria en tracción del hormigón. Se puede estimar de forma razonable la abertura de fisura poniendo el valor de $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ dado por la expresión M.3 en la expresión 7.8 de la Norma EN 1992-1-1.

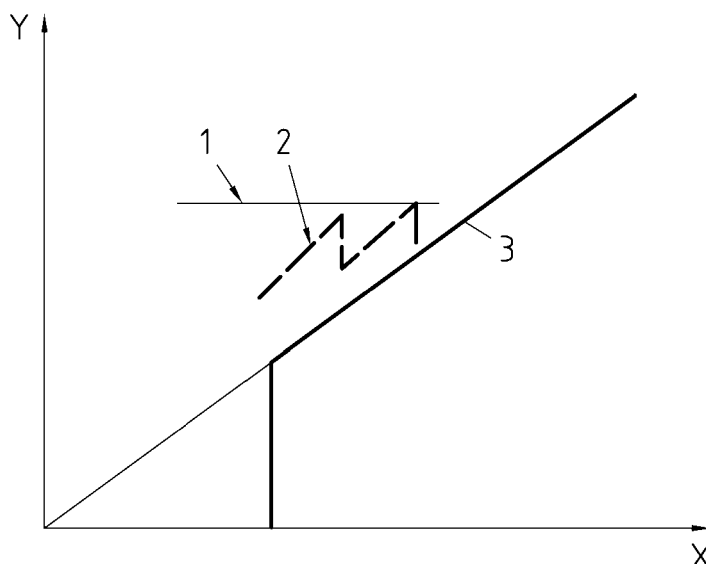
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = R_{ax} \varepsilon_{free} \quad [M.3]$$

donde

R_{ax} = el coeficiente de coacción. Se trata en el anexo informativo L.

ε_{free} = la deformación unitaria que se produciría si el elemento estuviera totalmente libre frente a coacciones.

La figura M.2 ilustra la diferencia entre la fisuración en las dos situaciones de coacción.



Leyenda

X Deformación impuesta

Y Abertura de fisura

1 Expresión M.1

2 Fisuración debida a coacción en los extremos

3 Fisuración debida a coacción a lo largo de un borde (expresión [M.3])

Figura M.2 – Relación entre la abertura de fisura y la deformación impuesta en paredes con coacción en un borde y coacción en un extremo

ANEXO N (Informativo)**JUNTAS DE DILATACIÓN**

(101) Hay dos opciones principales disponibles.

- a) Coacción completa. En este caso, no se disponen juntas de dilatación y las aberturas de fisuras y el espaciado (separación) se controlan mediante una disposición apropiada de la armadura de acuerdo con las disposiciones del apartado 7.3.
- b) Movimiento libre. La fisuración se controla por la proximidad de las juntas. Se dispone una cantidad moderada de armadura, suficiente para transmitir cualquier movimiento a la junta adyacente. No debería producirse una fisuración importante entre las juntas. Cuando el hormigón debajo del elemento considerado produce coacciones, se puede usar una junta deslizante para evitar o reducir la coacción.

La tabla N.1 indica las recomendaciones para las opciones.

Tabla N.1 – Proyecto de juntas para el control de la fisuración

Opción	Método de control	Espaciado de juntas de la dilatación	Armadura
(a)	Continuo – coacción completa	En general no hay juntas, aunque puede ser deseable contar con algunas juntas muy espaciadas cuando se espere una deformación impuesta importante (de temperatura o de retracción)	Armadura de acuerdo con el capítulo 6 y el apartado 7.3
(b)	Juntas de dilatación cercanas – coacción mínima	Juntas completas separadas el mayor valor entre 5 m y 1,5 veces la altura de la pared	Armadura de acuerdo con el capítulo 6 pero no menor que el valor mínimo dado en los apartados desde el apartado 9.6.2 al 9.6.4.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032