

EUROCÓDIGOS

NORMA EUROPEA
EXPERIMENTAL

UNE-ENV 1992-4
Abril 2000



EUROCÓDIGO 2

PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

PARTE 4: DEPÓSITOS Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

2

Parte 4

PREÁMBULO

Esta publicación recoge en sus páginas la Norma Experimental UNE-ENV 1992-4:1999 "Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 4: Depósitos y Estructuras de contención".

Constituye, la referida Norma, la versión española de la correspondiente Norma Europea Experimental y en ella se contienen un conjunto de especificaciones técnicas no obligatorias relativas al proyecto y ejecución de estructuras de hormigón en masa, armado o pretensado destinadas a la contención de líquidos o sólidos granulares.

La necesidad de garantizar, en la medida de lo posible, la seguridad de las personas y la preservación de los bienes, así como las exigencias derivadas de la contratación pública son, entre otros, los principios de los que emana el hecho de que, en España, existan especificaciones técnicas a utilizar para el proyecto y ejecución de estructuras y elementos estructurales de hormigón que constituyen materia regulada de obligado cumplimiento.

La Instrucción de Hormigón Estructural (EHE), aprobada por Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, configura la normativa básica obligatoria en la materia.

Lo anterior no es obstáculo para que las especificaciones técnicas contenidas en esta Norma Experimental, puedan ser utilizadas, conforme se establece en el artículo 1º de la citada Instrucción EHE, literalmente dice:

"El Autor del Proyecto y la Dirección de la Obra, están obligados a conocer y tener en cuenta las prescripciones de la presente Instrucción, pero, en uso de sus atribuciones, pueden, bajo su personal responsabilidad y previa justificación de que no se reducen los niveles de prestaciones, emplear sistemas de cálculo, disposiciones constructivas, etc., diferentes".

Tal supuesto de uso quedará reforzado y convenientemente detallado en el momento en que, a propuesta de la Comisión Permanente del Hormigón, se apruebe y promulgue en el Boletín Oficial del Estado el correspondiente "Documento Nacional de Aplicación" para España.

La importancia de esta Norma Experimental se deriva, sustancialmente, del hecho de que está llamada a constituir el punto de partida de una futura norma europea que contribuirá a la libre circulación de personas y productos de construcción en el ámbito de la Unión Europea y quedará integrada, en su momento, en las reglamentaciones técnicas españolas obligatorias correspondientes.

La traducción de esta Norma experimental, desde su versión original en inglés a su texto en español, ha sido realizada por el Subcomité 2 del Comité Técnico de Normalización 140 Eurocódigos Estructurales de AENOR.

Andrés Doñate Megías
Subdirector General de Normativa y
Estudios Técnicos y Análisis Económico
Secretaría General Técnica
Ministerio de Fomento

norma española experimental

UNE-ENV 1992-4

Abril 2000

TÍTULO

EUROCÓDIGO 2: Proyecto de estructuras de hormigón

Parte 4: Depósitos y estructuras de contención

Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 4: Liquid retaining and containment structures.

Eurocode 2: Calcul des structures en béton. Partie 4: Structures de soutènement et réservoirs.

CORRESPONDENCIA

Esta norma experimental es la versión oficial, en español, de la Norma Europea Experimental ENV 1992-4 de diciembre 1998.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

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

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 13301:2000

© AENOR 2000
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

35 Páginas

Grupo 650

ICS 91.010.30; 91.080.40

Descriptores: Ingeniería civil, edificio, estructura de hormigón, diseño, código de edificación, cálculo.

Versión en español

EUROCÓDIGO 2: Proyecto de estructuras de hormigón Parte 4: Depósitos y estructuras de contención

Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 4: Liquid retaining and containment structures.

Eurocode 2: Calcul des structures en béton. Partie 4: Structures de soutènement et réservoirs.

Eurocode 2: Planung von Stahlbeton und Spannbetontragwerken. Teil 4: Stütz- und Behälterbauwerke aus Beton.

Esta norma europea experimental (ENV) ha sido aprobada por CEN el 1997-05-27 como una norma experimental para su aplicación provisional. El período de validez de esta norma ENV está limitado inicialmente a tres años. Pasados dos años, los miembros de CEN enviarán sus comentarios, en particular sobre la posible conversión de la norma ENV en norma europea (EN).

Los miembros de CEN deberán anunciar la existencia de esta norma ENV utilizando el mismo procedimiento que para una norma EN y hacer que esta norma ENV esté disponible rápidamente y en la forma apropiada a nivel nacional. Se permite mantener (en paralelo con la norma ENV) las normas nacionales que estén en contradicción con la norma ENV hasta que se adopte la decisión final sobre la posible conversión de la norma ENV en norma EN.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 1998 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

	Página
PREÁMBULO	9
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 Campo de aplicación.....	12
1.1.2 Campo de aplicación de la Parte 4 del Eurocódigo 2.....	12
1.7 Símbolos especiales usados en la Parte 1 del Eurocódigo 2.....	13
1.7.5 Símbolos especiales usados en la Parte 4 del Eurocódigo 2.....	13
2 BASES DE PROYECTO.....	14
2.2 Definiciones y clasificaciones.....	14
2.2.2 Acciones	14
2.2.2.3 Valores representativos de las acciones variables	14
2.3 Requisitos de diseño	14
2.3.1 Generalidades	14
2.3.2 Estados límite últimos	15
2.3.2.2 Combinaciones de acciones	15
2.3.3 Coeficientes parciales de seguridad en estados límite últimos	15
2.3.3.1 Coeficientes parciales de seguridad de las acciones en estructuras	15
2.3.4 Estados límite de servicio.....	16
2.5 Análisis	16
2.5.1 Disposiciones generales.....	16
2.5.1.1 Generalidades	16
2.5.6 Determinación de los efectos de la temperatura	16
2.5.6.1 Generalidades	16
3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	19
3.1 Hormigón.....	19
3.1.2 Hormigón de peso normal	19
3.1.2.5.4 Coeficiente de dilatación térmica.....	19
3.1.2.5.5 Fluencia y retracción	19
3.1.2.5.6 Calor específico del hormigón.....	19
3.1.2.6 Desprendimiento de calor y desarrollo de temperatura debido a la hidratación	19
4 CÁLCULO DE SECCIONES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES	19
4.1 Requisitos de durabilidad.....	19
4.1.6 Abrasión.....	19
4.1.6.1 Generalidades	19
4.1.7 Superficies de estructuras proyectadas para contener agua potable.....	20
4.2 Datos de proyecto.....	20
4.1.2 Hormigón	20
4.2.1.5 Efectos de temperatura debidos a la hidratación del cemento	20

4.3	Estados límite últimos	20
4.3.2	Cortante	20
4.3.2.1	Generalidades	20
4.3.2.4	Elementos que requieren armadura de cortante.....	20
4.3.2.4.4	Método de las bielas de inclinación variable.....	20
4.3.6	Proyecto para explosiones de polvo	20
4.3.6.1	Generalidades	20
4.3.6.2	Proyecto de elementos estructurales.....	21
4.4	Estados límite de servicio.....	21
4.4.2	Estados límite de fisuración.....	21
4.4.2.1	Consideraciones generales.....	21
4.4.2.3	Control de la fisuración sin cálculo directo.....	23
4.4.2.4	Cálculo de la abertura de fisura	24
4.4.2.5	Minimización de la fisuración debida a deformaciones impuestas impeditas.....	26
5	DETALLES	26
5.3	Elementos del pretensado	26
5.3.3	Separación horizontal y vertical	26
5.3.3.2	Postesado.....	26
5.3.4	Anclajes y acopladores para tendones de pretensado	27
5.4	Elementos estructurales.....	27
5.4.7	Muros de hormigón armado	27
5.4.7.5	Conexiones de esquina entre muros	27
5.4.7.6	Disposición de juntas	27
5.4.9	Muros pretensados.....	28
5.4.9.1	Áreas mínimas de armadura.....	28
ANEXO INFORMATIVO 105	EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN	29
ANEXO INFORMATIVO 106	CÁLCULO DE DEFORMACIONES Y TENSIONES EN SECCIONES NO FISURADAS DE HORMIGÓN SOMETIDAS A DEFORMACIONES IMPUESTAS.....	32
ANEXO INFORMATIVO 107	CÁLCULO DE LA FILTRACIÓN A TRAVÉS DE FISURAS EN ELEMENTOS DE CONTENCIÓN DE LÍQUIDOS.....	35

PREÁMBULO

Objetivos de los Eurocódigos

- (1) Los “Eurocódigos Estructurales” comprenden un grupo de normas para el diseño de edificaciones y obras de ingeniería civil desde el punto de vista estructural y geotécnico.
- (2) Cubren la ejecución y control solamente hasta el punto que es necesario para indicar la calidad de los productos de construcción, y el nivel de ejecución necesario para cumplir con las prescripciones de las reglas de proyecto.
- (3) Hasta que el conjunto de especificaciones técnicas armonizadas necesarias para los productos y para los métodos de ensayo de los mismos esté disponible, algunos de los Eurocódigos estructurales cubren estos aspectos en Anexos Informativos.

Antecedentes al programa de Eurocódigos

- (4) La Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) inició el trabajo de establecer un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el proyecto de edificaciones y trabajos de ingeniería civil que sirviese, inicialmente, como una alternativa a las diferentes reglas vigentes en los distintos estados miembros y que, finalmente, las sustituyese. Estas reglas técnicas se denominaron “Eurocódigos Estructurales”.
- (5) En 1990, después de consultar a sus respectivos estados miembros, la CCE transfirió los trabajos de desarrollo futuro, difusión y actualización de los Eurocódigos al CEN, al mismo tiempo que la Secretaría de la EFTA acordó apoyar el trabajo del CEN.
- (6) El Comité Técnico CEN/TC 250 del CEN es el responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

Programa de Eurocódigos

- (7) El trabajo se está desarrollando en los siguientes Eurocódigos Estructurales, estando formado cada uno por un determinado número de partes:

EN 1991 Eurocódigo 1	Bases de proyecto y acciones en estructuras.
EN 1992 Eurocódigo 2	Proyecto de estructuras de hormigón.
EN 1993 Eurocódigo 3	Proyecto de estructuras de acero.
EN 1994 Eurocódigo 4	Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.
EN 1995 Eurocódigo 5	Proyecto de estructuras de madera.
EN 1996 Eurocódigo 6	Proyecto de estructuras de fábrica.
EN 1997 Eurocódigo 7	Proyecto geotécnico.
EN 1998 Eurocódigo 8	Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes.
EN 1999 Eurocódigo 9	Proyecto de estructuras de aleación de aluminio.
- (8) Se han formado subcomités independientes por CEN/TC 250 para el trabajo en los distintos Eurocódigos mencionados.
- (9) Esta Parte 4 del Eurocódigo 2 se publica como una norma europea experimental (ENV) con una vida inicial de tres años.
- (10) Esta norma europea experimental se pretende que se aplique de manera experimental y que, consiguientemente, se remitan los oportunos comentarios.

- (11) Después de dos años, aproximadamente, los miembros del CEN serán invitados a remitir comentarios y opiniones más formales a fin de que se tengan en cuenta para determinar el trabajo futuro.
- (12) Mientras tanto, las observaciones y comentarios a esta norma europea experimental se deben enviar a la Secretaría del Subcomité CEN/TC 250/SC 2 a la siguiente dirección:

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
Burggrafenstrasse, 6
D-10787 Berlin
Teléfono: (+49) 30 - 26 01 - 25 01
Fax: (+49) 30 - 26 01 - 12 31

o al Organismo Nacional de Normalización correspondiente.

NOTA NACIONAL C – El Organismo Nacional de Normalización en España:

AENOR
Génova, 6
28004 MADRID
Teléfono: 91-4326000
Fax: 91-3104976

Documentos nacionales de aplicación (DNAs)

- (13) En vista de las responsabilidades de las autoridades de los estados miembros para la seguridad, salud y otras materias cubiertas por los requisitos esenciales de la DPC (Directiva Europea de Productos de Construcción), en esta norma europea experimental, a algunos elementos que afectan a la seguridad, se les ha asignado valores indicativos que están identificados por $\lfloor _ \rfloor$ (valores en recuadro). Las autoridades de cada estado miembro serán las responsables de asignar los valores definitivos a estos elementos que afectan a la seguridad.
- (14) Muchas de las normas de apoyo armonizadas no estarán disponibles en el momento de la publicación de esta norma europea experimental. Está previsto, por ello, que cada país miembro o su Organismo Nacional de Normalización publique un Documento Nacional de Aplicación (DNA) dando los valores definitivos para los elementos relativos a la seguridad, con referencias que sean compatibles con las normas de apoyo, y que sirva como guía para la aplicación de esta norma europea experimental.
- (15) Se pretende que esta norma europea experimental sea utilizada con los DNA vigentes en el país donde las edificaciones o los trabajos de ingeniería civil estén localizados.

Materias específicas de esta norma europea experimental

- (16) El campo de aplicación del Eurocódigo 2 está definido en el apartado 1.1.1 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 y el campo de aplicación de esta parte del Eurocódigo 2 está definido en el apartado 1.1.2. Las partes adicionales del Eurocódigo 2 que están previstas se indican en el apartado 1.1.3 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1; éstas cubrirán tecnologías adicionales o distintas aplicaciones y complementarán y suplirán esta parte.
- (17) Cuando se utilice esta norma europea experimental en la práctica, se debe prestar especial consideración a los supuestos y condiciones indicados en el apartado 1.3 de la Norma Europea Experimental ENV-1992-1-1.
- (18) Los cinco capítulos de esta norma europea experimental están complementados con tres anexos informativos. Estos anexos se han introducido para proporcionar información general sobre el comportamiento material y estructural, que puede ser usada en ausencia de información relacionada específicamente con los materiales reales empleados o con las verdaderas condiciones de servicio.

- (19) Como se indicó en el apartado (14) de este Preámbulo, se deberían consultar los Documentos Nacionales de Aplicación que incluyen detalles sobre las normas de apoyo compatibles que deben utilizarse. Para esta Parte del Eurocódigo 2 debe prestarse particular atención a la Norma europea experimental ENV 206 (Concrete-performance, production, placing and compliance criteria).

En la Norma Europea Experimental ENV 1992-4 serán de aplicación los siguientes párrafos adicionales:

- (20) Esta Parte 4 del Eurocódigo 2 complementa la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 en los aspectos particulares de las estructuras de retención de líquidos y las estructuras de contención de sólidos granulares.
- (21) La organización y estructuración de esta Parte 4 se corresponde con la de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1. Sin embargo, la Parte 4 contiene Principios y Reglas de Aplicación que son específicos de las estructuras de retención y contención de líquidos.
- (22) Si un párrafo determinado de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 no se menciona en esta ENV 1992-4, dicho párrafo de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 será de aplicación según se considere adecuado en cada caso.

Algunos Principios y Reglas de Aplicación de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 se modifican o se reemplazan en esta Parte 4, en cuyo caso, las versiones modificadas reemplazan a las de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 para el proyecto de estructuras de retención y contención de líquidos.

Cuando se modifica o sustituye un Principio o Regla de Aplicación de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1, la numeración se identifica añadiendo 100 al número original. Cuando se añade un Principio o Regla de Aplicación se indica con un número consecutivo al último número de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1, añadiéndole 100.

Un tema no incluido en la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 se presenta en esta Parte como un nuevo párrafo. El número de estos párrafos es el siguiente al último número del apartado más acorde de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

- (23) La numeración de ecuaciones, gráficos, pies de página y tablas en esta parte se rige por el mismo criterio que la numeración de párrafos citada en (22).

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Campo de aplicación

Se sustituye el apartado 1.1.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 por:

1.1.2 Campo de aplicación de la Parte 4 del Eurocódigo 2

- P (101) Esta Parte 4 del Eurocódigo 2 contempla el proyecto de estructuras construidas con hormigón en masa o ligeramente armado, hormigón armado o pretensado, destinadas a la contención de líquidos o sólidos granulares y otras estructuras de contención de líquidos.
- P (102) Los Principios y Reglas de Aplicación de esta Parte son aplicables al proyecto de aquellos elementos estructurales que soportan directamente los líquidos o materiales almacenados (es decir, los muros de los tanques, depósitos o silos). Otros elementos que soporten a los anteriores (por ejemplo, la torre que soporta el depósito en un depósito elevado de agua) deberán proyectarse según las disposiciones de la Parte 1, con la única salvedad de que las acciones de cálculo ejercidas por el material contenido en el depósito se calcularán de acuerdo con las disposiciones de esta Parte.
- P (103) Esta Parte no contempla:
- Las estructuras para el almacenamiento de materiales a temperaturas muy bajas.
 - Las estructuras para el almacenamiento de materiales a temperaturas muy altas.
 - Las estructuras para el almacenamiento de materiales peligrosos cuya filtración pueda constituir un riesgo importante para la salud o la seguridad.
 - La selección y el cálculo de revestimientos.
 - El proyecto para la resistencia al fuego. Este aspecto es tratado por la Parte 1-2 del Eurocódigo 2 o por disposiciones nacionales.
 - El hormigón sin finos y hormigón con componentes con aire ocluido, ni los hormigones realizados con áridos pesados o los que tengan secciones de acero estructural (véase el Eurocódigo 4 para estructuras mixtas de hormigón y acero).
 - Los depósitos presurizados.
 - Las estructuras flotantes.
 - Las estructuras sometidas a acciones sísmicas significativas (el proyecto para resistir acciones sísmicas es tratado por el Eurocódigo 8).
- (104) Se puede considerar que el almacenamiento de materiales se realiza a temperaturas muy bajas cuando la temperatura de los materiales almacenados es igual o inferior a -20°C . Para el almacenamiento de gas licuado de petróleo, véase la Parte 2 de la Norma EN 26502.
- (105) Se puede considerar que el almacenamiento de materiales se realiza a temperaturas muy altas cuando la temperatura de los materiales almacenados sobrepasa los 200°C .
- (106) Para la selección y el proyecto de los revestimientos, se debe hacer referencia a la documentación correspondiente.

1.7 Símbolos especiales usados en la Parte 1 del Eurocódigo 2

Se añade después del apartado 1.7.4:

1.7.5 Símbolos especiales usados en la Parte 4 del Eurocódigo 2

1.7.5.1 Símbolos en mayúsculas latinas

E_r	módulo de elasticidad efectivo del material almacenado
L_c	longitud de la fisura (m)
Q	Caudal de filtración en m ³ /s
Q_0	valor efectivo de la carga impuesta
Q_w	carga impuesta por el líquido contenido
R_{ax}	coeficiente que define el grado de coacción externa a esfuerzo axial, ejercida por los elementos unidos al elemento considerado
R_m	coeficiente que define el grado de coacción externa a flexión, ejercida por los elementos unidos al elemento considerado
T_1	temperatura del material en contacto con la superficie 1
T_2	temperatura del material en contacto con la superficie 2
T_m	temperatura media en situación térmica estacionaria en un muro

1.7.5.2 Símbolos en minúsculas latinas

f_{ctx}	resistencia a tracción, cualquiera que se considere
f_{ckT}	resistencia característica a compresión del hormigón, modificada para tener en cuenta la temperatura
h	espesor del muro en m
w_{eff}	abertura eficaz de fisura (m)

1.7.5.3 Símbolos griegos

α_T	coeficiente que tiene en cuenta el contenido de humedad del hormigón
α_1	resistencia al flujo de calor de la superficie 1
α_2	resistencia al flujo de calor de la superficie 2
γ_w	coeficiente parcial de seguridad de la carga debida al líquido almacenado
Δp	variación de presión a través del elemento (N/mm ²)
ΔT_{ss}	diferencia de temperatura en situación estacionaria
ϵ_{av}	deformación media en el elemento
ϵ_{az}	deformación real a una profundidad z
ϵ_{iz}	deformación intrínseca impuesta a una profundidad z
ϵ_{Tr}	deformación térmica transitoria
ϵ_{Th}	deformación térmica libre en el hormigón

λ_c	conductividad del hormigón
ρ_r	densidad del material almacenado en kN/m^3
ν_r	coeficiente de Poisson del material almacenado
σ_z	tensión vertical en el material almacenado en kN/m^2
η	viscosidad dinámica del líquido (kg/ms)

2 BASES DE PROYECTO

2.2 Definiciones y clasificaciones

2.2.2 Acciones

2.2.2.3 Valores representativos de las acciones variables

Se sustituye este apartado por:

- P (101) El principal valor representativo es el valor característico, Q_k . El valor representativo correspondiente a la cantidad específica de material almacenado para el cual se diseña la estructura debería denominarse de una manera más precisa ‘valor efectivo’, Q_0 , pero, por conveniencia, se empleará el símbolo Q_k para este valor efectivo.
- (102) En un depósito en el que el máximo nivel del líquido se pueda definir de manera clara y donde la densidad efectiva del mismo no varíe significativamente (teniendo en cuenta los posibles sólidos en suspensión), se puede emplear para la carga característica debida al líquido contenido, Q_k , un coeficiente parcial de seguridad, γ_w , menor que el dado en la tabla 2.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.
- (103) Si no se establece lo contrario, los valores de Ψ_0 , Ψ_1 y Ψ_2 aplicables a la carga efectiva deberán ser iguales a 1,0.

2.3 Requisitos de diseño

2.3.1 Generalidades

Se añade después del Principio P(4):

- (105) Las situaciones de proyecto a considerar deberán cumplir el apartado 3 de la Norma Europea Experimental ENV 1991-4. Para los depósitos y las estructuras de contención realizadas en hormigón, puede ser necesario considerar las siguientes situaciones de proyecto:
- condiciones de operación, considerando modelos de llenado y vaciado;
 - explosiones debidas al polvo;
 - efectos térmicos causados, por ejemplo, por los materiales almacenados o por la temperatura ambiente;
 - deformaciones impuestas.

2.3.2 Estados límite últimos

2.3.2.2 Combinaciones de acciones

Se añade una nota debajo de la tabla 2.1 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

NOTA – Cuando γ_w se usa para una de las acciones variables, $\gamma_w Q_k$ se sustituye por el valor correspondiente de $\gamma_Q Q_k$.

Se sustituyen las Reglas de Aplicación (5) a (8) por:

- (105) En la Parte 4 del Eurocódigo 1: Acciones en silos y depósitos, se proporcionan valores adecuados para las acciones características y se indican las combinaciones de acciones a considerar.

2.3.3 Coeficientes parciales de seguridad en estados límite últimos

2.3.3.1 Coeficientes parciales de seguridad de las acciones en estructuras

Se sustituye la tabla 2.2 por:

Tabla 2.102
Coeficientes parciales de seguridad de las acciones en estructuras de contención
para situaciones persistentes y transitorias

	Acciones permanentes	Acciones variables, general	Acciones variables debidas al líquido contenido	Pretensado
	γ_G	γ_Q	γ_w	γ_p
Efecto favorable	[1,0]*	**	**	*** [0,9] ó [1,0]
Efecto desfavorable	[1,35]*	[1,5]	[1,2] ¹⁾	[1,2] ó [1,0]
* Véase también la regla de aplicación (3) en este apartado de la Parte 1 y la (109) que figura a continuación. ** Véase el Eurocódigo 1; en circunstancias normales, $\gamma_{Q,inf} = 0$. *** Véanse los apartados correspondientes. 1) Cubre las incertidumbres del modelo; véase el capítulo 9 y el anexo A de la Norma Europea Experimental ENV 1991-1.				

Se sustituye la Regla de Aplicación (8) por:

- (108) Adoptando los valores de γ dados en la tabla 2.102, la expresión [2.7(a)] puede sustituirse por la siguiente:

- para situaciones de proyecto con una única acción variable, $Q_{k,1}$ ó Q_w :

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + 1,5 Q_{k,1} \text{ ó } \left| 1,2 \right| Q_w \quad [2.108(a)]$$

- para situaciones de proyecto con dos o más acciones variables:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + 1,35 \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} + \left| 1,2 \right| Q_w \quad [2.108(b)]$$

cualquiera que produzca el efecto más desfavorable.

Las ecuaciones [2.108(a)] y [2.108(b)] sólo se deberán utilizar si se cumplen las condiciones dadas en 2.2.2.3 (102) para la acción Q_w . En caso contrario se aplicará el coeficiente parcial de seguridad $\gamma_Q = 1,5$ a Q_w .

- (109) Las acciones producidas por el terreno o por el agua contenida en el terreno se consideran acciones permanentes y se obtendrán según lo establecido en el Eurocódigo 7. Las acciones producidas por los materiales retenidos en silos serán consideradas acciones variables.
- (110) Debe resaltarse que cuando se coloca un relleno contra los muros exteriores de una estructura, es necesario comprobar la seguridad contando con la presencia del terreno y sin ella.

2.3.4 Estados límite de servicio

Se sustituye la Regla de aplicación (7) por:

- (107) Cuando se consideren acciones distintas a las ambientales (viento, nieve, temperatura, etc.), la combinación rara se puede reducir a las siguientes expresiones, que también pueden usarse para sustituir a la combinación frecuente:

- para situaciones de proyecto con una única acción variable $Q_{k,1}$:

$$\sum G_{k,j} (+P) + Q_{k,1} \quad [2.109(d)]$$

- para situaciones de proyecto con dos o más acciones variables $Q_{k,i}$:

$$\sum G_{k,j} (+P) + \left| \frac{1,0}{\gamma_Q} \right| \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} \quad [2.109(e)]$$

cualquiera que proporcione el valor más desfavorable.

Se añade después del Principio P(8):

- (109) Los criterios de aceptación de estructuras de contención de líquidos podrán incluir el máximo nivel de filtraciones admisible.

2.5 Análisis

2.5.1 Disposiciones generales

2.5.1.1 Generalidades

Se añade después de la Regla de Aplicación (6):

P (107) Se deberán tener en cuenta los efectos de la interacción suelo-estructura cuando sean significativos.

Se añade después del apartado 2.5.5:

2.5.6 Determinación de los efectos de la temperatura

2.5.6.1 Generalidades

- (101) Normalmente, será suficientemente preciso utilizar métodos de cálculo basados en la suposición de un comportamiento elástico de la estructura. Sin embargo, se tendrán en cuenta los efectos de la fluencia, de la retracción y de la fisuración cuando sea previsible que tengan valores significativos.

- (102) Se pueden realizar cálculos precisos aplicando la Ecuación (2.22) del apartado 2.5.5.1 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1. Se debe tener en cuenta que es necesario introducir también las condiciones de compatibilidad y/o equilibrio para obtener una solución (por ejemplo, en una pieza de sección uniforme completamente coaccionada, $\varepsilon_{\text{tot}}(t, t_0)$ tiene que ser igual a cero para todos los valores de t).
- (103) En muchos casos será suficientemente aproximado realizar un análisis elástico basándose en un módulo de elasticidad para el hormigón que haya sido ajustado para tener en cuenta los efectos de la fluencia de acuerdo con la Ecuación (2.24) del apartado 2.5.5.1 (12) de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.
- (104) Cuando un elemento está sometido a temperaturas diferentes en caras opuestas, la diferencia de temperatura a través de la pared en la situación estacionaria viene dada por la ecuación (2.125), (véase la figura 2.106):

$$\Delta T_{ss} = \frac{(h/\lambda_c)}{\alpha_1 + (h/\lambda_c) + \alpha_2} (T_2 - T_1) \quad (2.125)$$

donde

ΔT_{ss} diferencia de temperaturas en situación estacionaria;

α_1 resistencia al flujo de calor de la superficie 1. En ausencia de datos específicos para la situación considerada, se pueden adoptar los valores siguientes para α_1 :
 0,005 m² °C/W para líquidos;
 0,110 m² °C/W para materiales granulares;
 0,060 m² °C/W para la atmósfera exterior (este valor puede verse afectado significativamente por el viento);

α_2 resistencia al flujo de calor de la superficie 2, (valores análogos a los de α_1);

h espesor de la pared en m;

λ_c conductividad del hormigón que, en ausencia de datos mejores, puede tomarse como 1,75 W/m°C;

T_1 temperatura del material en contacto con la superficie 1;

T_2 temperatura del material en contacto con la superficie 2, mayor que T_1 .

La temperatura media de un muro en la situación estacionaria puede obtenerse de la siguiente expresión:

$$T_m = T_1 + \left(0,5 + \frac{\lambda_c \alpha_1}{h} \right) \Delta T_{ss} \quad (2.126)$$

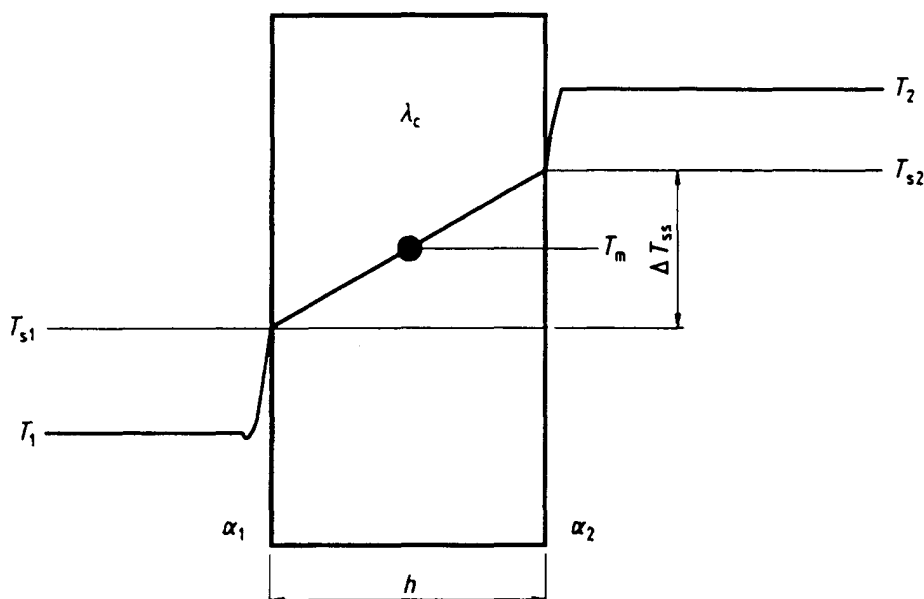


Fig. 2.106 – Distribución de temperaturas en un muro en una situación térmica estacionaria

En la figura 2.106:

$$\frac{T_2 - T_1}{\left[\alpha_1 + (h/\lambda_c) + \alpha_2 \right]} = \frac{T_2 - T_{s2}}{\alpha_2} = \frac{\Delta T_{ss}}{(h/\lambda_c)} = \frac{T_{s1} - T_1}{\alpha_1} \quad (2.127)$$

- (105) Cuando las temperaturas medias en elementos diferentes de una estructura, conectados monolíticamente, son distintas, pueden producirse efectos significativos debido a la coacción que algunos elementos de la estructura pueden ejercer sobre otros. Cuando estos efectos sean importantes deberán ser tenidos en cuenta.
- (106) En los silos se pueden producir elevados gradientes de temperaturas cuando el material almacenado genera calor o cuando se almacena en el silo a alta temperatura. En tales circunstancias será necesario realizar el cálculo de los gradientes de temperatura resultantes y de los esfuerzos internos que originan. Puede ser necesario tener en cuenta dos situaciones:
- gradientes de temperaturas elevados en las paredes por encima del material almacenado, debidos a la existencia de aire caliente en un silo casi vacío;
 - gradientes de temperaturas reducidos en las paredes, debidos al efecto aislante del material almacenado en un silo casi lleno.
- (107) Se puede producir también un incremento en las tracciones y en los momentos asociados cuando una caída de temperatura en el exterior del silo hace que los muros del silo retraigan contra el material almacenado en su interior. Estos esfuerzos pueden calcularse estimando un módulo de elasticidad efectivo para el material almacenado a partir de la siguiente expresión aproximada:

$$E_r = \frac{3,09 \rho_r^{1,5} \sigma_z}{(1 - \nu_r)} \quad (2.128)$$

donde

E_r módulo de elasticidad efectivo del material almacenado;

ρ_r densidad del material almacenado en kN/m^3 ;

ν_r coeficiente de Poisson del material almacenado;

σ_z tensión vertical en el material almacenado en kN/m^2 .

3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

3.1 Hormigón

3.1.2 Hormigón de peso normal

3.1.2.5.4 Coeficiente de dilatación térmica

Se sustituye el Principio P(1) por:

- (101) El coeficiente de dilatación térmica del hormigón varía de forma considerable en función del tipo de árido y de las condiciones de humedad en su interior. Si no se dispone de ensayos del hormigón que se va a emplear en la estructura, puede adoptarse un valor de $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

3.1.2.5.5 Fluencia y retracción

Se añade después de la Regla de Aplicación (5):

- (106) Cuando los elementos están expuestos durante periodos prolongados a temperaturas elevadas ($>40^\circ\text{C}$), el comportamiento frente a la fluencia se modifica considerablemente. Cuando esto pueda llegar a ser significativo, se deberán obtener datos precisos para las condiciones específicas de servicio previstas. En el anexo informativo 105 se dan recomendaciones para la estimación de los efectos de la fluencia a temperaturas elevadas.

Se añade después del apartado 3.1.2.5.5:

3.1.2.5.6 Calor específico del hormigón

- (101) A efectos de proyecto, el calor específico de un hormigón de peso normal puede tomarse como $1\,000\text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

3.1.2.6 Desprendimiento de calor y desarrollo de temperatura debido a la hidratación

- (101) En general, las características del proceso de generación de calor para un tipo de cemento determinado deberán obtenerse de ensayos. El proceso real de generación de calor deberá determinarse teniendo en cuenta las condiciones previstas durante las edades tempranas del elemento, (por ejemplo, tipo de curado, condiciones ambientales).

4 CÁLCULO DE SECCIONES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

4.1 Requisitos de durabilidad

Se añade después del apartado 4.1.5:

4.1.6 Abrasión

4.1.6.1 Generalidades

- (101) La abrasión de la cara interior de los muros de un silo puede provocar la contaminación del material almacenado o provocar una pérdida significativa del recubrimiento. Se pueden dar tres mecanismos de abrasión:
- ataque mecánico debido al proceso de llenado y vaciado;
 - ataque físico debido a la erosión y la corrosión, con cambio de temperatura y de las condiciones de humedad;
 - ataque químico debido a la reacción entre el hormigón y el material almacenado.

- (102) Se deberán tomar medidas adecuadas para asegurar que los elementos sometidos a abrasión se mantendrán en servicio durante el periodo previsto en proyecto.

4.1.7 Superficies de estructuras proyectadas para contener agua potable

- (101) Se deberá evitar la presencia de materia orgánica en el hormigón o en cualquier revestimiento superficial aplicado al mismo que pueda provocar el crecimiento de hongos o bacterias. Se hará referencia a la documentación relacionada con el tema que corresponda.

4.2 Datos de proyecto

4.1.2 Hormigón

Se añade después del apartado 4.2.1.4:

4.2.1.5 Efectos de temperatura debidos a la hidratación del cemento

- (101) El máximo incremento de temperatura y el momento en que se produce tras del hormigonado deberán establecerse en función de la dosificación de la mezcla, de la naturaleza del encofrado y de las condiciones ambientales.

4.3 Estados límite últimos

4.3.2 Cortante

4.3.2.1 Generalidades

Se añade después de la Regla de Aplicación (7):

- (108) No se requieren medidas especiales para el armado a cortante en las proximidades de las esquinas de los silos o depósitos cuando la tensión última de cortante es menor que el valor proporcionado por la ecuación (4.18) de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

4.3.2.4 Elementos que requieren armadura de cortante

4.3.2.4.4 Método de las bielas de inclinación variable

Se sustituye la Regla de Aplicación (8) por:

- (108) El método de las bielas de inclinación variable no deberá aplicarse en situaciones en las que el elemento considerado esté sometido a un esfuerzo axil significativo (tanto de tracción como de compresión).

Se añade después del apartado 4.3.5:

4.3.6 Proyecto para explosiones de polvo

4.3.6.1 Generalidades

- P (101) Cuando se proyectan silos para almacenar materiales que puedan plantear riesgos de explosiones de polvo, la estructura deberá proyectarse para resistir las máximas presiones resultantes previstas o estará dotada de elementos de ventilación adecuados que reduzcan la presión a un nivel aceptable.
- P (102) El fuego expulsado a través de una salida de ventilación no causará daños a los alrededores ni provocará explosiones en otras secciones del silo. Se deberán minimizar los riesgos para las personas originados por cristales u otros escombros que puedan salir despedidos.

- (103) Los orificios de ventilación deberán conducir directamente al exterior, a través de las salidas de ventilación previstas, que reducirán la presión de la explosión.
- (104) Los sistemas de ventilación se deberán activar a baja presión y tener poca inercia.
- (105) Las acciones debidas a las explosiones de polvo deberán tratarse como acciones accidentales.

4.3.6.2 Proyecto de elementos estructurales

- P (101) Todos los elementos estructurales se proyectarán para resistir las acciones resultantes de una explosión, que deberá considerarse como una acción accidental, (véanse los apartados 2.3.1 y 2.3.2.2 de esta Parte 4).
- (102) Los valores indicativos de la velocidad de incremento de las presiones y de las máximas presiones para distintos tipos de materiales almacenados, se deberán consultar en la documentación correspondiente.
 - (103) Las máximas presiones debidas a explosiones se producen en los compartimentos vacíos de silos, sin embargo, la presión en un silo parcialmente lleno combinada con la presión correspondiente del material almacenado pueden conducir a unas condiciones de proyecto más desfavorables.
 - (104) Cuando aparecen fuerzas de inercia debido a una descarga rápida de gas seguida por el enfriamiento del humo caliente, puede alcanzarse una presión inferior a la atmosférica. Este hecho se deberá tener en cuenta cuando se proyecte la estructura de revestimiento y los elementos situados en la dirección del flujo.
 - (105) Los elementos que formen parte de un mecanismo de ventilación deberán asegurarse para evitar su desprendimiento y que aumenten los riesgos provocados por los escombros que puedan salir despedidos.
 - (106) Cuando se produce la bajada de presión debida a la ventilación se generan reacciones que deberán tenerse en cuenta en el proyecto de los elementos estructurales.
 - (107) Se deberá buscar una asistencia especializada cuando se proyecten instalaciones complejas o cuando las explosiones puedan plantear un alto riesgo de daños.

4.4 Estados límite de servicio

4.4.2 Estados límite de fisuración

4.4.2.1 Consideraciones generales

Se añade después del Principio P (9):

- (110) Es conveniente clasificar las estructuras de contención de líquidos en función del grado de protección requerido contra la filtración. Dicha clasificación se recoge en la tabla 4.118.

Tabla 4.118
Clasificación de las estructuras de contención de líquidos

Clase	Requisitos frente a la filtración
0	Se admite un cierto nivel de filtración, o no preocupa la filtración de líquidos.
1	Impermeabilidad global. La filtración se limita a una cantidad mínima. Se admiten algunas manchas superficiales o zonas húmedas.
2	Impermeabilidad local. En general no se permite la filtración. No se permite que la apariencia exterior se vea deteriorada por la presencia de manchas.

- (111) Se deberán acordar con el cliente los límites admisibles para la fisuración, dependiendo de la clasificación del elemento considerado, de manera que el coste se adecue a la función requerida por la estructura.

Se pueden adoptar los siguientes requisitos, en ausencia de otros más concretos:

Clase 0 – se pueden adoptar las recomendaciones del apartado 4.4.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

Clase 1 – se deberán limitar las fisuras que puedan ser pasantes a $[0,2]$ mm cuando se prevea un sellado posterior de las mismas, o a $[0,1]$ mm cuando no se haya previsto. Las recomendaciones del apartado 4.4.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 se aplican cuando las fisuras no se extienden en todo el espesor de la sección y cuando se satisfacen las condiciones de los puntos (112) y (113) siguientes.

Clase 2 – deberán evitarse las fisuras pasantes, a menos que se dispongan soluciones especiales, tales como revestimientos o impermeabilizaciones, para asegurar que no se produce filtración.

- (112) Para garantizar que las fisuras no son pasantes, el valor de cálculo de la profundidad de la zona comprimida deberá ser, como mínimo, de $[50]$ mm, calculado para la combinación de acciones más desfavorable, incluyendo los efectos de la temperatura y la retracción. Los esfuerzos pueden calcularse con la hipótesis de un comportamiento elástico y lineal del material. Las tensiones resultantes en una sección deberán calcularse asumiendo que la resistencia a tracción del hormigón es cero.
- (113) Cuando se pueda formar una fisura en una cara de un elemento bajo una combinación de acciones y en la cara opuesta bajo otra combinación, se deberá considerar que las fisuras son pasantes, a menos que haya $[50]$ mm de hormigón en el interior de la sección que se mantenga en compresión bajo todas las combinaciones de acciones.
- (114) Se puede considerar que la filtración a través de una fisura es proporcional al cubo del ancho de la fisura. En el anexo informativo 107 de esta Parte 4 se dan directrices para la predicción de la filtración a través de las fisuras.
- (115) Se puede esperar el sellado de las fisuras en elementos fabricados con un hormigón de dosificación adecuada y que no estén sometidos a cambios significativos en las cargas o temperaturas durante su utilización. En ausencia de una información más fiable, se puede considerar que se produce el sellado cuando el rango anual de deformación de la sección es menor de 150×10^{-6} .
- (116) Si no es probable que se produzca el autosellado, cualquier fisura pasante puede dar lugar a filtraciones, con independencia de la abertura de la fisura.
- (117) Los silos que contienen materiales secos pueden ser proyectados, en general, como de Clase 0; no obstante, cuando el material almacenado es particularmente sensible a la humedad puede ser adecuado su proyecto en una clase superior.
- (118) Si un hormigón en masa o ligeramente armado se somete a tensiones capaces de producir fisuración no es posible controlar la abertura de fisura. Por lo tanto, deberá restringirse el uso de hormigón en masa o ligeramente armado.
- (119) Se deberá tener un especial cuidado cuando los elementos estén sometidos a tensiones de tracción originadas por coacciones a la retracción o a las deformaciones térmicas.

4.4.2.3 Control de la fisuración sin cálculo directo

Se sustituye la Regla de Aplicación (2):

- (102) Cuando se dispone al menos la cuantía mínima de armadura dada en el apartado 4.4.2.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1, limitando las separaciones entre las barras o los diámetros de las mismas se puede conseguir limitar los anchos de fisura a valores adecuados, teniendo en cuenta la clase del elemento considerado (véase la tabla 4.118), evitando la fisuración incontrolada entre barras muy separadas. Las figuras 4.134(a) y 4.134(b) o las tablas 4.115 y 4.116, que se muestran a continuación, pueden emplearse para establecer los valores de los diámetros máximos de las barras o las máximas separaciones entre barras que permiten mantener las aberturas de las fisuras dentro de los límites deseados. Debe resaltarse que, ocasionalmente, pueden producirse fisuras mayores que las calculadas.

Las figuras 4.134(a) y 4.134(b) y las tablas 4.115 y 4.116 están basadas en la fórmula (4.80) para el cálculo de la abertura de fisura del apartado 4.4.2.4 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1, excepto para las deformaciones impuestas intrínsecas, en las que la deformación media ε_{sm} se calcula de acuerdo con la ecuación (4.184) de esta Parte 4.

Las aberturas de fisuras no excederán generalmente los límites especificados siempre que:

- para la fisuración causada principalmente por coacciones, no se sobrepasen los diámetros de barras dados en la figura 4.134(a) y en la tabla 4.115, donde la tensión del acero es el valor obtenido inmediatamente después de la aparición de la primera fisura (es decir, la tensión es la usada en la ecuación (4.78) de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1); y
- para fisuras generadas principalmente por cargas, han de cumplirse las disposiciones de la figura 4.134(a) y de la tabla 4.115 o las de la figura 4.134(b) y la tabla 4.116.

En secciones de hormigón pretensado, las tensiones en las armaduras pasivas pueden calcularse considerando el pretensado como una fuerza exterior, sin tener en cuenta ningún incremento de tensión en los tendones debido a las cargas actuantes.

En secciones de hormigón armado, puede modificarse el máximo diámetro de la barra, obtenido de la figura 4.134(a) o de la tabla 4.115, como se indica a continuación:

para fisuración provocada principalmente por coacciones:

$$\phi_s = \phi_s^* \frac{f_{ctm} h}{25 (h - d)} \geq \frac{\phi_s^* f_{ctm}}{2,5}$$

para fisuración provocada principalmente por cargas:

$$\phi_s = \phi_s^* \frac{h}{10 (h - d)} \geq \phi_s^*$$

donde

ϕ_s es el diámetro máximo de la barra ajustado;

ϕ_s^* es el diámetro máximo de barra obtenido de la figura 4.134(a) o de la tabla 4.115;

h es el canto total del elemento o el espesor en el caso de un muro;

d es el canto útil del elemento.

- (103) Las tensiones en el acero, utilizadas en las figuras 4.134(a) y 4.134(b) o en las tablas 4.115 y 4.116, deberán evaluarse, para hormigón armado con la hipótesis de la combinación cuasipermanente de acciones y, para hormigón pretensado, con la combinación frecuente de acciones y la fuerza de pretensado correspondiente. En la figura 4.134(a) y en la tabla 4.115, si las tensiones se deben básicamente a coacciones, se deberá usar una tensión del acero igual a σ_s en la ecuación (4.78) de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1.

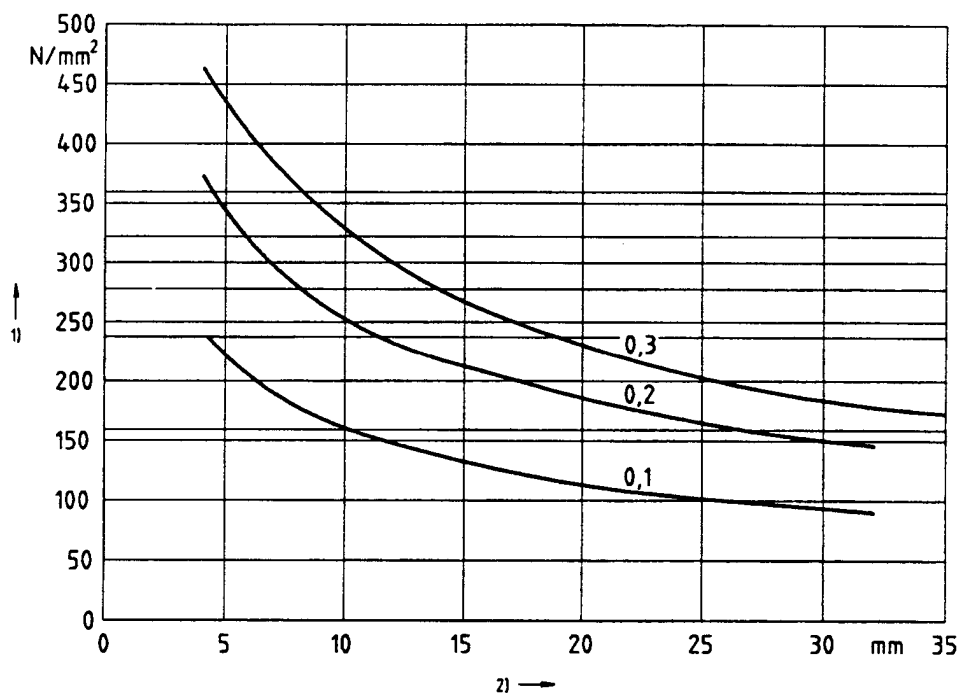
4.4.2.4 Cálculo de la abertura de fisura

Se añade después de la Regla de Aplicación (8):

- (109) En los elementos sometidos principalmente a deformaciones impuestas intrínsecas (por ejemplo, contracción térmica o retracción), no es aplicable la última frase del apartado 4.4.2.4(2) de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1. En estos casos, la deformación media, ϵ_{sm} , se deberá calcular con la ecuación (4.184) en lugar de con la ecuación (4.82) de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1:

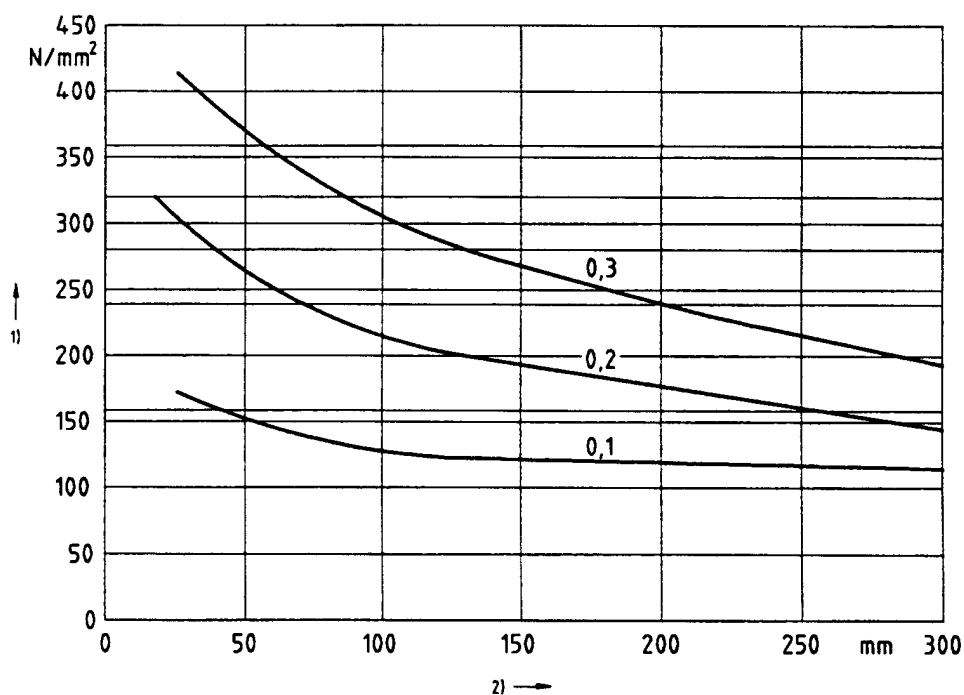
$$\epsilon_{sm} = 0,6 k_c k f_{ct,ef} \left(\frac{A_{ct}}{E_s A_s} + \frac{1}{E_c} \right) \quad (4.184)$$

Los significados de los símbolos son los mismos que en el apartado 4.4.2.2 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1. No es necesario hacer consideraciones adicionales para considerar los efectos diferidos.



- 1) Tensión en la armadura σ_s
 2) Máxima separación entre barras ϕ_s^*

Fig. 4.134(a) – Diámetros máximos de barra para el control de la fisuración



- 1) Tensión en la armadura σ_s
 2) Máxima separación entre barras s

Fig. 4.134(b) – Separación máxima entre barras para el control de la fisuración

Tabla 4.115
 Diámetros máximos de barra ϕ_s^* para barras de alta adherencia

Tensión del acero (N/mm ²)	Diámetro máximo de la barra (mm) para $w_k =$		
	0,3 mm	0,2 mm	0,1 mm
160	32	25	10
200	25	16	6
240	18	12	4
280	14	8	—
320	10	6	—
360	8	4	—
400	6	—	—
450	4	—	—

Tabla 4.116
Separación máxima entre barras s , para barras de alta adherencia

Tensión del acero (N/mm ²)	Separación máxima entre barras (mm) para $w_k =$		
	0,3 mm	0,2 mm	0,1 mm
160	> 300	220	40
200	280	125	—
240	190	70	—
280	125	40	—
320	80	—	—
360	50	—	—
400	30	—	—

Se añade después del apartado 4.4.2.4:

4.4.2.5 Minimización de la fisuración debida a deformaciones impuestas impedidas

- (101) Se puede minimizar la formación de fisuras originadas por deformaciones impuestas impedidas originadas por cambios de temperatura o por la retracción, asegurando que la resultante de las tensiones de tracción no excede la resistencia a tracción del hormigón $f_{ctk,0,05}$, en las estructuras de Clase 1, (véase la tabla 4.118) y, en las estructuras de Clase 2, asegurando que la sección de hormigón se mantiene totalmente comprimida. Esto se puede conseguir:
- limitando la elevación de temperatura debida a la hidratación del cemento;
 - eliminando o reduciendo las coacciones;
 - reduciendo la retracción del hormigón;
 - utilizando hormigón con un coeficiente de dilatación térmica bajo;
 - utilizando hormigón con una alta capacidad de deformación por tracción (sólo en estructuras de Clase 1);
 - aplicando pretensado.
- (102) Normalmente, será suficientemente aproximado calcular las tensiones considerando que el hormigón se comporta elásticamente y teniendo en cuenta los efectos de la fluencia por medio de un módulo de elasticidad efectivo del hormigón. El anexo informativo 106 propone un método simplificado para comprobar las tensiones y deformaciones en elementos de hormigón coaccionados, que puede utilizarse en ausencia de cálculos más precisos.

5 DETALLES

5.3 Elementos del pretensado

5.3.3 Separación horizontal y vertical

5.3.3.2 Postesado

Se añade después de la Regla de Aplicación (1):

- (102) En el caso de depósitos circulares con pretensado en el interior de la sección, el centroide teórico de los cables horizontales deberá estar situado en el tercio exterior de la pared. Cuando las condiciones del recubrimiento hagan esto imposible, se podrá suavizar dicha recomendación siempre que la vaina del tendón se mantenga dentro de la mitad exterior de la pared.

- (103) El diámetro de una vaina situada en el interior de un muro no excederá $1/5$ del espesor del mismo.
- (104) La fuerza de pretensado se deberá distribuir lo más uniformemente posible en los muros. Los desviadores se dispondrán de manera que se reduzcan las posibilidades de que aparezca una distribución desigual de fuerzas, a no ser que se tomen medidas específicas para tener en cuenta estos efectos.
- (105) En general, no deberán emplearse tendones de pretensado no adherentes para el pretensado vertical de estructuras sometidas a altas temperaturas. Si se emplean, se deberán disponer los medios oportunos que permitan verificar la presencia de la grasa de protección y su sustitución en caso necesario.

5.3.4 Anclajes y acopladores para tendones de pretensado

Se añade después de la Regla de Aplicación (5):

- (106) Se deberán evitar los anclajes situados en el interior de los depósitos por el riesgo de corrosión.

5.4 Elementos estructurales

5.4.7 Muros de hormigón armado

Se añade después del apartado 5.4.7.4:

5.4.7.5 Conexiones de esquina entre muros

- (101) Cuando existen muros conectados de forma monolítica en una esquina y están sometidos a momentos y a esfuerzos cortantes que tienden a abrir la esquina, (es decir, las caras interiores de los muros están traccionadas), se requiere un cuidado especial en la disposición de la armadura para asegurar que se recogen adecuadamente las fuerzas de tracción que aparecen en la diagonal. Los sistemas de bielas y tirantes, como los que se recogen en el apartado 2.5.3.6.3 de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1, constituyen un modelo de cálculo apropiado.

5.4.7.6 Disposición de juntas

- (101) Las estructuras de contención de líquidos deberán dotarse de juntas si no se pueden adoptar otros medios eficaces y económicos para minimizar la fisuración. La estrategia a adoptar dependerá de las condiciones de servicio de la estructura y del grado de riesgo de filtración aceptable. Se debe resaltar que un funcionamiento satisfactorio de las juntas requiere que sean construidas correctamente. Se debe llamar la atención sobre el hecho de que los sellantes de juntas tienen frecuentemente una vida considerablemente menor que la vida de servicio requerida a la estructura y por tanto, en tales casos, las juntas se deberán construir de modo que se puedan inspeccionar y reparar.
- (102) Hay dos opciones básicas posibles:
 - a) diseño con coacción completa. En este caso, no se disponen juntas y las aberturas de fisura y sus separaciones se controlan mediante un diseño adecuado de la armadura, de acuerdo con las disposiciones del apartado 4.4.2.
 - b) diseño con libertad de movimiento. La fisuración se controla con la separación entre las juntas. Se dispone una cantidad moderada de armadura que sea capaz de transmitir cualquier movimiento a la junta adyacente. No deberá producirse una fisuración significativa entre las juntas. Cuando el elemento considerado está coaccionado por el hormigón en el que apoya, se puede disponer una junta deslizante para eliminar o reducir dicha coacción.

La tabla 5.106 proporciona recomendaciones para estas dos opciones.

Tabla 5.106
Diseño de juntas para el control de la fisuración

Opción	Método de control	Separación entre juntas	Armadura
(a)	Continuo – coacción completa	Generalmente no se disponen juntas, a pesar de que pueden ser deseables algunas muy separadas cuando se espera un rango de variación de temperaturas importante	Armadura según las prescripciones de los apartados 4.3 y 4.4.2
(b)	Juntas próximas – máxima libertad respecto a las coacciones	Juntas completas con una separación igual al mayor de $\lfloor 5 \text{ m} \rfloor$ ó $\lfloor 1,5 \rfloor$ veces la altura del muro	Armadura según las prescripciones del apartado 4.3, no inferior al mínimo dado en 5.4.7.2 a 5.4.7.4

- (103) Se denominan juntas completas a aquellas en las que se interrumpen tanto las armaduras como el hormigón. En las estructuras de contención de líquidos, es esencial disponer en las juntas elementos que constituyan una barrera al agua, así como un adecuado sellado.

5.4.9 Muros pretensados

5.4.9.1 Áreas mínimas de armadura

- (101) Independientemente del espesor del muro, si no se satisfacen las disposiciones de los apartados 4.4.2.1 (112) y (113), se deberá disponer una cuantía mínima de armadura en ambas direcciones en cada cara del muro, de tal forma que:

$$A_s \geq \lfloor 300 \rfloor \text{ mm}^2/\text{m} \geq \lfloor 0,001 \rfloor \cdot A_c, \quad (5.123)$$

donde A_c es el área total de la sección transversal de hormigón.

- (102) En los casos en que no hay pretensado vertical (o pretensado inclinado en muros inclinados), se deberá disponer una armadura vertical (o inclinada) que equilibre los esfuerzos internos, calculada como es habitual en los elementos de hormigón armado. Esta armadura deberá satisfacer también los siguientes criterios:

$$\text{– separación máxima entre las barras: } s \leq \lfloor 200 \rfloor \text{ mm} \quad (5.124)$$

$$\text{– cuantía volumétrica: } A_s \geq \lfloor 0,25\% \rfloor \quad (5.125)$$

$$\text{– área: } A_s \geq \lfloor 25\% \rfloor \cdot A_{st} \quad (5.126)$$

donde A_{st} es el área de la armadura transversal que debería disponerse en un cálculo sin pretensado.

- (103) Generalmente, el espesor de los muros que forman los laterales de depósitos o tanques no deberá ser inferior a 120 mm para la Clase 0 ni a 150 mm para las Clases 1 ó 2. Los muros construidos con encofrados deslizantes no deberán tener menos de 150 mm de espesor, independientemente de la clase, debiéndose rellenar con lechada de cemento los huecos dejados por los elementos de apoyo del dispositivo de elevación.

ANEXO INFORMATIVO 105

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

A.105.1 Generalidades

- (101) Este anexo trata los efectos en las propiedades del material de los hormigones sometidos durante largo tiempo a temperaturas situadas en el rango $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las propiedades consideradas son: resistencia y rigidez, fluencia y deformación térmica transitoria.
- (102) En todos los casos se pone de manifiesto que los cambios en las propiedades dependen en gran medida del tipo concreto de hormigón empleado. Este anexo proporciona sólo una orientación general.

A.105.2 Propiedades del material a temperaturas bajo cero

- (101) Cuando el hormigón se enfría a temperaturas bajo cero aumentan su resistencia y su rigidez. Este incremento depende fundamentalmente del contenido de humedad del hormigón: a mayor contenido de humedad, mayor es el incremento en resistencia y rigidez.
- (102) El enfriamiento del hormigón hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ produce incrementos en la resistencia a compresión de:
- alrededor de 5 N/mm^2 para hormigones secados parcialmente;
 - alrededor de 30 N/mm^2 para hormigones saturados.
- (103) Las fórmulas dadas en el apartado 3.1.2.4(4) de la Norma Europea Experimental ENV 1992-1-1 para la resistencia a tracción pueden modificarse de la siguiente manera para reproducir el efecto de la temperatura:

$$f_{\text{ctx}} = \alpha_T f_{\text{ckT}}^{2/3} \quad (\text{A.105.1})$$

donde

f_{ctx} la resistencia a tracción, cualquiera que se considere (véase la tabla A.105.1);

α_T coeficiente que tiene en cuenta el contenido de humedad del hormigón. Los valores de α_T se dan en la tabla A.105.1;

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

Tabla A.105.1
Valores de α_T para hormigones secos y saturados

Definición de resistencia a tracción (f_{ctx})	Hormigón saturado	Hormigón secado al aire
f_{ctm}	1,30	0,70
$F_{\text{ctk}, 0,05}$	0,56	0,30
$F_{\text{ctk}, 0,95}$	2,43	1,30

- (104) El enfriamiento del hormigón hasta -20°C produce incrementos en el módulo de elasticidad de:
- alrededor de $2\,000\text{ N/mm}^2$ para hormigones secados parcialmente;
 - alrededor de $8\,000\text{ N/mm}^2$ para hormigones saturados.
- (105) La fluencia a temperaturas bajo cero puede estar entre un 60% y un 80% de la que se produce a temperaturas normales. Por debajo de -20°C se puede considerar que la fluencia es despreciable.

A.105.3 Propiedades del material a altas temperaturas

- (101) En general, puede considerarse que la resistencia a compresión del hormigón no se ve afectada por temperaturas de hasta 200°C .
- (102) Se puede considerar que la resistencia a tracción del hormigón no se ve afectada por la temperatura hasta los 50°C . Para temperaturas superiores, se puede asumir una reducción lineal de la resistencia a tracción de hasta un 20% a los 200°C de temperatura.
- (103) Se puede considerar que el módulo de elasticidad del hormigón no se ve afectado por las temperaturas hasta los 50°C . Para temperaturas superiores se puede asumir una reducción lineal del módulo de elasticidad de hasta un 20% a los 200°C de temperatura.
- (104) En hormigones calentados antes de su puesta en carga, se puede considerar que el coeficiente de fluencia se incrementa conforme sube la temperatura por encima de su valor normal (considerado de 20°C). Este incremento se determina multiplicando el coeficiente de fluencia por el factor correspondiente de la tabla A.105.2.

Tabla A.105.2
Factores multiplicadores del coeficiente de fluencia
para tener en cuenta la temperatura cuando el hormigón
es calentado antes de su puesta en carga

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Factor multiplicador del coeficiente de fluencia
20	1,00
50	1,35
100	1,96
150	2,58
200	3,20

NOTA a la tabla A.105.2 – La tabla ha sido deducida a partir del Boletín 208 del CEB y proporciona un buen ajuste con multiplicadores calculados con la hipótesis de una energía de activación para fluencia de 8 kJ/mol .

- (105) En los casos en que las acciones están actuando durante el calentamiento del hormigón, las deformaciones serán superiores a las calculadas empleando los multiplicadores del coeficiente de fluencia dados en el punto (104) anterior. Este exceso de deformación, la deformación térmica transitoria, es una deformación irrecuperable e independiente del tiempo que se produce en un hormigón calentado mientras es sometido a tensiones. La máxima deformación térmica transitoria puede estimarse de una manera aproximada por medio de la expresión:

$$\varepsilon_{Tr} = k \cdot \sigma_c \cdot \varepsilon_{Th} / f_{cm} \quad (A.105.2)$$

donde

k una constante obtenida de ensayos. El valor de k deberá estar comprendido en el rango $1,8 \leq k \leq 2,35$;

f_{cm} el valor medio de la resistencia a compresión del hormigón;

ε_{Tr} deformación térmica transitoria;

ε_{Th} deformación térmica libre del hormigón (es decir, la variación de temperatura multiplicada por el coeficiente de dilatación térmica);

σ_c tensión de compresión aplicada.

ANEXO INFORMATIVO 106

CÁLCULO DE DEFORMACIONES Y TENSIONES EN SECCIONES NO FISURADAS DE HORMIGÓN
SOMETIDAS A DEFORMACIONES IMPUESTAS**A.106.1 Fórmulas para el cálculo de la tensión y la deformación**

(101) La deformación en una fibra genérica de una sección viene dada por:

$$\varepsilon_{az} = (1 - R_{ax}) \varepsilon_{av} + (1 - R_m) (1/r) (z - z_c) \quad (\text{A.106.1})$$

y la tensión en el hormigón puede obtenerse como:

$$\sigma_z = E_c (\varepsilon_{iz} - \varepsilon_{az}) \quad (\text{A.106.2})$$

donde

R_{ax} coeficiente que define el grado de coacción externa a esfuerzo axial, ejercida por los elementos unidos al elemento considerado;

R_m coeficiente que define el grado de coacción externa a flexión, ejercida por los elementos unidos al elemento considerado. En los casos más comunes R_m puede ser tomado como 1,0;

ε_{av} deformación media en el elemento;

ε_{iz} deformación intrínseca impuesta a una profundidad z ;

ε_{az} deformación real a profundidad z ;

z profundidad z de la sección;

z_c profundidad del centroide de la sección;

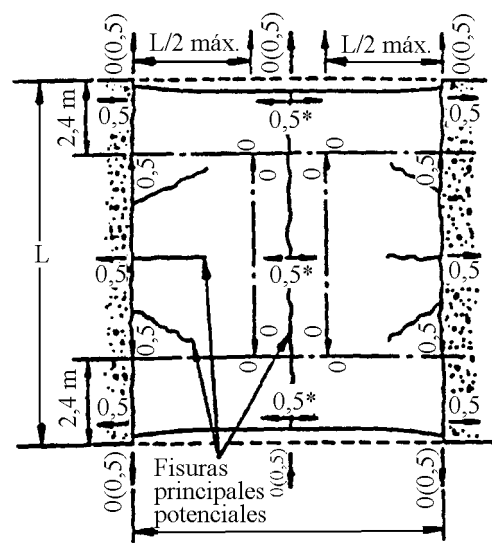
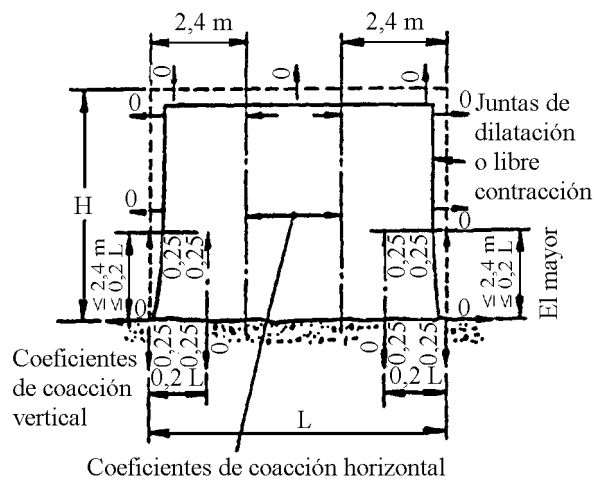
$1/r$ curvatura.

A.106.2 Valoración de la coacción

(101) Los coeficientes de coacción R_{ax} y R_m pueden calcularse a partir de las rigideces del elemento considerado y de los elementos unidos a él. De forma alternativa, para las situaciones más usuales, pueden emplearse los valores para los coeficientes de coacción a esfuerzo axial dados en la tabla A.106.1 y en la figura A.106.1. En muchos casos, (por ejemplo, un muro construido sobre una base pesada pre-existente), estará claro que no se puede producir ninguna curvatura significativa, por lo que se podrá emplear un valor de 1,0 para el coeficiente de coacción a flexión R_m .

Tabla A.106.1
Coeficientes de coacción R_{ax} y R_m para las zonas centrales de muros mostradas en la figura A.106.1(a)

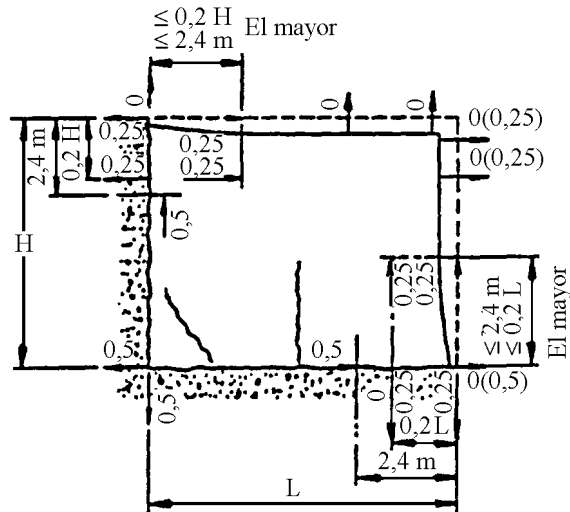
Relación L/H (véase la figura A.106.1)	Coeficientes de coacción en la base	Coeficientes de coacción en coronación
1	0,5	0
2	0,5	0
3	0,5	0,05
4	0,5	0,3
> 8	0,5	0,5



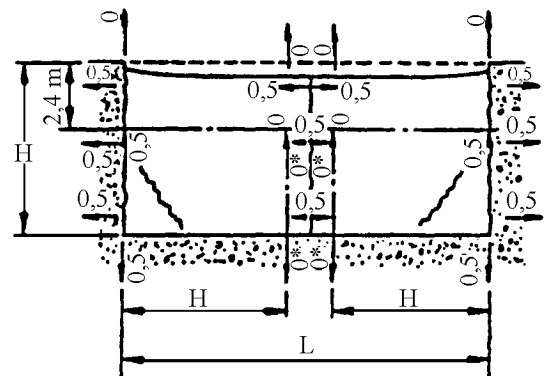
* Cuando $H \leq L$, este coeficiente = 0,5 (1 - H/L)

Véase la tabla A.106.1 para esta zona central.

a) Muro sobre base



b) Losa horizontal entre coacciones rígidas



* Cuando $L \leq 2H$, estos coeficiente = 0,5 (1 - $L/2H$)

c) Construcción secuencial de muro (con juntas de construcción)

d) Construcción de muro por bataches (con juntas de construcción)

Fig. A.106.1 – Coeficientes de coacción R_{ax} y R_m para las zonas centrales de muros

ANEXO INFORMATIVO 107

CÁLCULO DE LA FILTRACIÓN A TRAVÉS DE FISURAS EN ELEMENTOS DE CONTENCIÓN DE LÍQUIDOS

A.107.1 Ecuación para la predicción de la filtración

(101) La filtración a través de una fisura se puede predecir a partir de la ecuación (A.107.1):

$$Q = \frac{K}{\eta} w_{\text{eff}}^3 L_c \frac{\Delta p}{h} \left[\text{m}^3/\text{s} \right] \quad (\text{A.107.1})$$

donde

Q la filtración en m^3/s ;

K un coeficiente que depende de las características superficiales de la fisura;

η viscosidad dinámica del líquido (kg/ms);

w_{eff} abertura efectiva de fisura (m);

L_c longitud de la fisura (m);

Δp diferencia de presión a través del elemento (Pa);

h el espesor del elemento (m).

(102) La abertura efectiva de fisura, w_{eff} , puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$w_{\text{eff}} = [2 (w_i w_0)^2 / (w_i + w_0)]^{1/3} \quad (\text{A.107.2})$$

donde

w_0 la abertura de fisura en la cara exterior del elemento;

w_i la abertura de fisura en la cara interior del elemento.

El valor de K puede tomarse como 1/50 para fisuras sin autosellado. Para fisuras en el agua con auto-sellado en las que $w_{\text{eff}} \leq 0,2 \text{ mm}$, se puede considerar que K se va reduciendo desde 1/50 hasta 0 conforme el tiempo tiende a $t = \infty$.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID