



Documentación Técnica



COMISION DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA CONTRATOS

ET 007-06

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:

PREVENCION DEL DETERIORO DEL HORMIGON
POR ATAQUES EXTERNOS DE SULFATOS Y AGUAS
PURAS Y ACIDAS EN OBRAS DE EDIFICACIÓN

2006

INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN DE CHILE

Josue Smith Solar 360, Providencia • Fono: (56-2) 2726 0300 • Santiago Chile • E-mail: ichmail@ich.cl
www.ich.cl

COMITÉ DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

OBJETIVO DEL COMITÉ

Grupo conformado por profesionales de la construcción que aportan su experiencia y conocimiento para preparar Especificaciones Técnicas relativas a la Durabilidad del Hormigón para proteger los elementos de hormigón de agentes y condiciones que afecten su adecuado desempeño durante la vida útil en servicio de la estructura.

Representantes Empresas Integrantes Comisión de Especificaciones Técnicas para Contratos que revisó esta Especificación Técnica:

Empresa	Representante	Empresa	Representante
AICE	Sr. Fernando Yañez	Icafal	Sr. Raul Salas
AOA	Sr. Luis Izquierdo	ICH	Sr. Cristian Masana
ARA	Sr. Mario Muñoz	ICH	Sr. Juan Pablo Covarrubias
Asociado	Sr- Bernhard Paul	Metro S.A.	Sr Carlos Mercado
Besalco	Sr. Manuel Macaya	Minmetal	Sr. Fernando Durán
Brotec	Sr. Leonardo Vildósola	Minvu	Sr. Camilo Sánchez
Constructora BI	Sr. Luis H. Bravo	MOP	Sr. Rogelio Navarrete
Cade Idepe	Sr. Eric Woolvett	PUC	Sr. Carlos Videla
Codelco Chile	Sr. Felipe Urrutia	Salfacorp	Sr. Carlos Fernandez
Cruz y Dávila	Sr. Jorge Bravo	Sigdo Koppers	Sr. Oscar Guarda
DLP	Sr. Javier Darraidou	Tecsa	Sr. Alejandro Albertz
DRS	Sra. Ana María Butrón	Vial y Vives	Sr. Manuel José Navarro

Integrantes Comité de Durabilidad del Hormigón que participó en esta Especificación Técnica:

<i>Patricia Martinez</i>	<i>Secretario Técnico (pmartinez@ich.cl)</i>		
<i>Jorge Montegu</i>	<i>Asesor Comité</i>		
NOMBRE	INSTITUCION	NOMBRE	INSTITUCION
<i>Hugo Barrera V.</i>	<i>USACH</i>	<i>Domingo Lema</i>	<i>Ready Mix</i>
<i>Ana María Carvajal</i>	<i>P. Unv. Católica</i>	<i>Sergio Martínez</i>	<i>Hormigones Petreos S.A.</i>
<i>Rafael Cepeda C.</i>	<i>Cemento Polpaico S.A.</i>	<i>Hernán Medina</i>	<i>Hormigones Premix S.A.</i>
<i>Bernardo de la Peña</i>	<i>Sika S.A. Chile</i>	<i>Andrés Reveco N.</i>	<i>Hormigones Petreos S.A.</i>
<i>Patricio Downey</i>	<i>Cemento Polpaico S.A.</i>	<i>Javier Thumm</i>	<i>MBT Chile Ltda.</i>
<i>Luis Ebensperger</i>	<i>Construtechnik Ltda.</i>	<i>Vicente Zetola</i>	<i>Inacesa</i>

INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN DE CHILE

LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS POR COMPORTAMIENTO

“Las Especificaciones Técnicas por Comportamiento especifican el criterio por el cual el comportamiento será juzgado, los resultados requeridos y el método por el cual este comportamiento puede ser verificado. El contratista es libre de elegir materiales y métodos pero los resultados deben cumplir con el criterio de comportamiento especificado”. (Traducido de Manual of Practice, Construction Specifications Institute “CSI”, 1996)

Las Especificaciones Técnicas por Comportamiento que se proponen en este trabajo han sido preparadas por profesionales relacionados al área de la construcción y aprobadas para uso público por un grupo representado por mandantes, diseñadores, inspectores técnicos, y contratistas.

Estos documentos contienen una especificación técnica que propone el cumplimiento de un estándar de calidad en la ejecución de estructuras de hormigón, que se verifica por medio de resultados objetivos que se miden sobre un elemento terminado. Los estándares de calidad definidos en cada una de las Especificaciones Técnicas han sido consensuados por el grupo de trabajo que generó la Especificación, como el(o los) requisito(s) más importante(s) a considerar en una evaluación de comportamiento aceptable del elemento. Los requisitos especificados en estos documentos han sido definidos como los de ocurrencia normal en obras actuales, diseñadas de acuerdo al sistema y conocimiento de uso común, y bien construidas, según las prácticas usuales y utilizando materiales y equipos disponibles en la industria local.

A diferencia de las Especificaciones Técnicas típicas, en estos documentos no se especifica un procedimiento de ejecución, sino que se proponen valores mínimos aceptables de resultado para un comportamiento adecuado del elemento durante su vida útil.

Además del requisito de resultado, se indica en la Especificación Técnica los criterios de medición, de aceptación y rechazo, y de reparación o actuación en caso de no-conformidad, y se dan los criterios para dar la posibilidad de utilizar procedimientos propios a empresas constructoras que, basadas en su tecnología y/o experiencia, puedan asegurar el resultado especificado. Para el caso contrario, se dan recomendaciones generales para cumplir con el resultado de acuerdo a la utilización de los procedimientos básicos comúnmente utilizados en construcción.

ET 007-06: PREVENCIÓN DEL DETERIORO DEL HORMIGÓN POR ATAQUES EXTERNOS DE SULFATOS Y AGUAS PURAS Y ACIDAS EN OBRAS DE EDIFICACIÓN

CONTENIDO	COMENTARIOS
<p>I. GENERALIDADES</p> <p>I.1 OBJETIVO: El objetivo de la presente especificación técnica es proponer condiciones mínimas para prevenir el problema de la ocurrencia de deterioro del hormigón en obras de edificación, expuestas a ambientes agresivos que provoquen la desintegración del hormigón, de manera de asegurar un adecuado comportamiento durante su vida útil.</p> <p>I.2 DEFINICIONES:</p> <p>a) Ambiente agresivo: Condiciones físicas y químicas a la que está expuesta una estructura de hormigón, y que puede llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el cálculo estructural.</p> <p>b) Cemento: Según lo indicado en NCh148Of68.</p> <p>c) Adiciones: materiales activos incorporados a la masa de hormigón que reaccionan con la pasta de cemento.</p> <p>d) Desintegración del hormigón: degradación producida por compuestos expansivos que provocan el deterioro del hormigón, o por la formación de compuestos solubles que aumentan su porosidad. Ambas afectan la integridad de las estructuras.</p> <p>e) Actuación con procedimiento: corresponde a la Parte III de la especificación. Es aplicable cuando la empresa, basada en su experiencia y capacidad tecnológica, cuenta con un procedimiento para asegurar la obtención de los requisitos de durabilidad especificados. Este procedimiento puede ser empleado, aprobado previamente por el mandante y la inspección, y documentado.</p> <p>f) Actuación sin procedimiento: corresponde a la Parte IV de la especificación y entrega lineamientos para aquellas empresas que no cuentan con</p>	<p>C.I.1 La Especificación Técnica, propiamente tal, se entrega en la Parte II del presente documento. Esta deberá incorporar parámetros de control por comportamiento en condiciones de servicio del hormigón.</p> <p>C.I.2 Para esta especificación se considera como ambiente agresivo al ambiente externo que contiene agentes agresivos que provocan procesos de deterioro por ataques químicos por sulfatos sobre el hormigón endurecido.</p> <p>C.I.3 Se considera como ataque químico por sulfatos los ocasionados por sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, provenientes del suelo o disueltos en agua en contacto con el hormigón, que generan la formación de compuestos expansivos al reaccionar con la matriz de cemento.</p> <p>C.I.4. Se excluyen ataques por Cl⁻ (considerados en ET Du1) y ciclos hielo-deshielo. Para este último caso se deberán adoptar consideraciones especiales de diseño de mezclas, especialmente en lo que se refiere a la incorporación de aire.</p> <p>C.I.5. Los ataques por sulfatos internos, provenientes de los materiales, quedan fuera de esta especificación.</p>

procedimientos que les permitan cumplir con el estándar especificado, de modo que siguiendo estas pautas generales den cumplimiento a lo requerido.

I.3 ALCANCE:

I.3.1. La presente Especificación Técnica es aplicable a obras de edificación de hormigón masa y hormigón armado con potencial de ocurrencia de degradación del hormigón, sometidas a las condiciones ambientales agresivas que se indican en la Tabla 3 del DTE 007-06, en lo que se refiere a ataque externo por sulfatos.

I.3.2. Queda fuera de esta ET la consideración de ataque de soluciones ácidas industriales, caso en el cual se deberá proveer al hormigón de capas de protección superficial.

I.3.3. Los valores indicados en esta especificación consideran una vida útil de las estructuras igual o superior a 50 años.

II. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

II.1 Los requisitos especificados corresponden a parámetros que permiten asegurar la durabilidad del hormigón armado y simple, en términos de resistir el ataque de sulfatos en ambientes agresivos, mediante el cumplimiento de valores máximo de permeabilidad, los cuales dependen de las condiciones de exposición a las que estará sometido el elemento.

II.2 Estos requisitos se entregan en la Tabla 1, donde se indican los valores de permeabilidad a cumplir, según la clasificación del tipo de ambiente al que se verá expuesto el material.

Tabla 1: Requisitos de permeabilidad al agua, profundidad de penetración

Condiciones Ambientales de Exposición	Valor medio (mm)	Valor máx. (mm)
Leve		-

C.II.1 Se considera que la capacidad de resistir los ataques químicos o la penetración de los agentes agresivos a la masa de hormigón, se puede controlar por medio de su permeabilidad, por lo que será este parámetro el que se cuantificará para especificar el comportamiento del hormigón en condiciones de servicio.

C.II.2.1 En aquellos casos que sean aplicables las ET Du 1 y ET Du 2, se considerarán los requisitos más exigentes.

C.II.2.2 Los requisitos de penetración de agua de la Tabla 1 son momentáneos. Estos serán modificados cuando se valide un método de medición en terreno que defina valores por comportamiento del hormigón en condiciones de servicio.

C.II.2.3 Los valores de permeabilidad al agua especificados corresponden a valores extraídos de referencias (TGL 11357 y EHE, DIN 1045).

C.II.2.4 El procedimiento DIN 1045 fue homologado en

<table border="1"> <tr> <td>Moderado</td> <td>30</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Severo</td> <td>18</td> <td>30</td> </tr> </table>	Moderado	30	50	Severo	18	30	30	50	<p>NCh 2262Of97.</p>
Moderado	30	50							
Severo	18	30							
<p>II.3 Los valores especificados en la Tabla 1 pueden obtenerse por dos caminos: con procedimientos propios (Parte III) o sin procedimientos propios (Parte IV).</p>									
<p>III. ACTUACIÓN CON PROCEDIMIENTO</p>			<p>C.III.1 Se debe recordar que cualquiera sea el procedimiento empleado, los valores a cumplir son los indicados en la Parte II del presente documento, Especificación Técnica, los que corresponden a requisitos de penetración de agua según NCh 2262Of97. El contratista deberá entregar documentos que respalden el cumplimiento de dichos requisitos.</p>						
<p>III.1 En caso de que el contratista, basado en su experiencia y capacidad tecnológica, cuente con un procedimiento para asegurar la obtención de los requisitos de durabilidad especificados, podrá proponer su uso al mandante y la inspección, los cuales podrán aceptar o no el procedimiento. Para ello, el contratista deberá demostrar y asegurar la obtención de los resultados para las condiciones en las que se ejecutará el proyecto, mediante revisión de antecedentes de proyectos anteriores o con pruebas en terreno.</p>									
<p>III.2 Para utilizar este procedimiento, el contratista deberá presentar un método que permita su evaluación, indicando los aspectos que deberán ser controlados durante la ejecución de los trabajos, incluyendo a lo menos parámetros de dosificación y características del hormigón, sistemas de transporte, colocación y tipo y duración del curado, de modo de asegurar la durabilidad proyectada del hormigón en servicio.</p>									
<p>III.3 Se deberán incluir procedimientos de mantenimiento de las estructuras para asegurar su durabilidad.</p>									
<p>III.4 Los materiales deben ser certificados y los procedimientos documentados, entregando registros de los valores de permeabilidad obtenidos con estos, dando respaldo al cumplimiento de la ET (valores Tabla 1, Parte II).</p>									
<p>III.5 Se debe entender que el control de la ejecución comprende desde la selección de los materiales, diseño y preparación de mezclas, hasta su colocación y terminación.</p>									

IV. ACTUACIÓN SIN PROCEDIMIENTO

IV.1 En caso de que el contratista no cuente con procedimientos que le permitan asegurar el comportamiento especificado, o el mandante y la inspección no aceptan el procedimiento propuesto por el contratista, se deberá considerar como mínimo los valores recomendados a continuación:

a) Contenido mínimo de cemento:

Condiciones Ambientales de Exposición	Contenido de cemento mínimo (kg/m ³)
Leve	270
Moderado	300
Severo	340

b) Razón A/C máxima:

Condiciones Ambientales de Exposición	Valor
Leve	0,55
Moderado	0,50
Severo	0,40

c) Tipos de cemento:

Condiciones Ambientales de Exposición	Tipo de Cemento	Expansión máx. por sulfatos a 6 meses (%)
Leve	--	--
Moderado	Moderada resistencia a los sulfatos (MS)	0,10
Severo ¹	Alta resistencia a los sulfatos (HS)	0,05

¹ Se recomienda el uso de cemento con contenido máx. de C₃A

C.IV.1 Se debe recordar que cualquiera sea el procedimiento empleado, los valores a cumplir son los indicados en la Parte II del presente documento, Especificación Técnica, los que corresponden a requisitos de penetración de agua según NCh 2262Of97. El contratista deberá entregar documentos que respalden el cumplimiento de dichos requisitos.



COMITÉ DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

ET 007-06

Especificación Técnica: Prevención del Deterioro del Hormigón por Ataques Externos de Sulfatos y Aguas Puras y Acidas en Obras de Edificación
Fecha Aprobación: Noviembre, 2006

igual o inferior a 5%.

- d) Los materiales a utilizar cumplirán con las normas chilenas respectivas, se deberá asegurar el control de las características que influyan en la durabilidad.
- e) Asegurar adecuadas condiciones de colocación, curado y protección del hormigón fresco.

IV.2 Procedimientos de colocación deberán asegurar no obtener defectos de colocación mayores a los definidos en la ET Ch1.

DOCUMENTO TÉCNICO DE ESPECIFICACIÓN

DTE 007-06: PREVENCIÓN DEL DETERIORO DEL HORMIGÓN POR ATAQUES EXTERNOS DE SULFATOS Y AGUAS PURAS Y ACIDAS EN OBRAS DE EDIFICACIÓN

**Documento Preparado por:
Comité de Durabilidad del Hormigón
ICH**

Santiago, Noviembre 2006

INDICE

1. ALCANCE	8
2. INTRODUCCIÓN	8
3. FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN	10
3.1. Antecedentes Generales	10
3.2. Deterioro por Ataque de Sulfatos y Aguas Puras y Acidas	11
4. ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES PARA ESPECIFICAR DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO	11
4.1. Vida útil del hormigón	12
4.2. Definición de condiciones ambientales	12
4.3. Especificación para el diseño de mezclas	14
4.4. Otros requisitos	1
4.5. Selección de equipos para la determinación de parámetros de durabilidad en condiciones de servicio y Estudios del comité sobre hormigones con cementos nacionales	2
5. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	2
5.1. Estándar de Durabilidad	3
5.2. Requisitos de Permeabilidad Aceptables	3
5.3. Medición del Estándar y Criterios de Evaluación	4
6. CONSIDERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DEL ESTÁNDAR DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO	5
6.1. Actuación con procedimiento propio	5
6.2. Actuación sin procedimiento propio	6
7. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	7

1. ALCANCE

Este Documento Técnico de Especificación (DTE) contiene información que respalda la Especificación Técnica ET Du2: "Prevención del Deterioro del Hormigón por Ataques Externos de Sulfatos y Aguas Puras y Acidas en Obras de Edificación".

En el cuerpo del DTE se incorporan definiciones y conceptos que serán los considerados válidos para la interpretación de la ET Du2. En este sentido se desarrolla el concepto de vida útil y la definición de las condiciones ambientales específicas para los tipos de deterioro considerados.

El presente documento se aborda los problemas de desintegración de hormigón, abarcando las causas de origen externo, es decir, aquellas acciones del medio ambiente de naturaleza química, física o físico-química que afectan la durabilidad de las estructuras. En este sentido se excluyen los deterioros correspondientes a: ciclos de hielo-deshielo, caso para el que se deberán adoptar consideraciones especiales de diseño de mezclas, especialmente en lo que se refiere a la incorporación de aire; desintegración por CO₂, tema tratado en la DTE 006 – 06; ataques de soluciones ácidas industriales, caso en el cual se deberá proveer al hormigón de capas de protección superficial.

2. INTRODUCCIÓN

Como se indicó en el documento DTE 006-06, en los últimos años la durabilidad del hormigón ha ganado importancia a lo largo del mundo debido a la alta significancia que posee sobre la serviciabilidad del hormigón y por el gran impacto económico que implica tanto para la construcción como para los países (RILEM , 1999).

Resulta importante reiterar que, pese a que la construcción se ha ajustado a los códigos de construcción existentes tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, la disminución de la vida útil de las estructuras y sus consecuencias económicas se ha acentuado en las últimas décadas. Estos códigos centran sus requisitos en recomendaciones prescriptivas, sin embargo lo que se debiese asegurar es el

desempeño real de la estructura en condiciones de servicio, es decir, por medio de la especificación de parámetros de control que reflejen el comportamiento in situ de la estructura. Solo de este modo se está evaluando tanto el material como los procesos constructivos empleados, determinando la calidad del producto final como un todo.

En este sentido, el Comité de Durabilidad, del Instituto del Cemento y el Hormigón de Chile, tiene por propósito el estudio de los parámetros de control susceptibles de ser medidos en terreno para evaluar las condiciones de durabilidad de las obras, definir procedimientos de medición, definir rangos aceptables de desempeño y, con todo ello, diseñar especificaciones técnicas por comportamiento.

El presente Documento Técnico de Especificación representa el material de apoyo complementario que respalda los requisitos establecidos en la Especificación Técnica 2 (ET Du2): Prevención del Deterioro del Hormigón por Ataques Externos de Sulfatos y Aguas Puras y Acidas en Obras de Edificación, justificando los procedimientos definidos y sus criterios de aceptación.

3. FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

3.1. Antecedentes Generales

Los fenómenos patológicos que afectan al hormigón se producen básicamente por tres mecanismos de transporte de masa: difusión, absorción y permeabilidad (Basheer et al, 2001; AATH, 2001). El movimiento de los gases, líquidos e iones a través del hormigón favorece su reacción con los componentes del hormigón o con el agua contenida en sus poros, alterando su integridad y generando el deterioro de las estructuras.

La Tabla 1 presenta los principales problemas que producen el deterioro del material en condiciones de servicio, asociado con las causas que los generan y el origen de los agentes que los provocan, los que pueden ser de carácter interno o externo. La principal patología que se identifica a nivel mundial es la corrosión de las armaduras, generada por el ataque de iones cloruro y favorecida por los procesos de carbonatación en ambientes urbanos.

Tabla 1: Identificación de los problemas de durabilidad en el hormigón asociado a las causas que los provocan

EFFECTO O PROBLEMA	CAUSA	ORIGEN ¹
Corrosión de armaduras	cloruros	Externo e interno
	ácidos	Externo
Desintegración del hormigón	sulfatos	Externo e interno
	Áridos álcali reactivos	Interno
	Aguas puras y ácidas	Externo
	Ciclos hielo-deshielo	externo (bajas T°)
	Acidos, CO ₂ agresivo	Externo
Desgaste superficial	Abrasivos	Externo

¹ El origen del problema se puede deber a causas internas o externas (condiciones ambientales).

El presente documento se centra en el segundo de los problemas, vale decir, desintegración de hormigón, abarcando las causas de origen externo, excluyendo las que corresponden a ciclos de hielo-deshielo, caso para el que se deberán adoptar consideraciones especiales de diseño de mezclas, especialmente en lo que se refiere a

la incorporación de aire, y desintegración por CO₂, tema tratado en la DTE 006 – 06, y los ataques de soluciones ácidas industriales, caso en el cual se deberá proveer al hormigón de capas de protección superficial.

3.2. Deterioro por Ataque de Sulfatos y Aguas Puras y Ácidas

El primer síntoma visible de la corrosión sobre la superficie del hormigón es la aparición de fisuras paralelas a las armaduras, acompañadas de manchas de color rojizo. En casos extremos se observan desprendimientos del hormigón de recubrimiento y una disminución de la sección útil de la barra.

La norma chilena NCh 163 establece límites para el contenido de sulfatos contenido en los áridos, según se indica en la Tabla 2. Otras normas, códigos o instrucciones establecen requisitos similares, pero al igual que el ACI 201 establecen tipos de cementos a emplear según las condiciones de exposición (ver sección 4.3).

Tabla 2: Contenido máximo de sulfatos en los áridos (NCh163.Of 1979; CIRSOC, 1996)

TIPO DE ÁRIDO	CONTENIDO MÁX. DE SULFATOS EN AGUA, SO ₄ ²⁻ , kg/m ³ de hormigón ⁽¹⁾	CONTENIDO MÁX. DE SULFATOS, % en masa de SO ₃ ⁽²⁾
Árido fino	0,60	0,1
Árido grueso	0,60	0,075

(1) Determinado según NCh 1444

(2) Determinado según norma IRAM 1 647

4. ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES PARA ESPECIFICAR DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO

Muchas son las iniciativas que se están generando alrededor del mundo tendientes a mejorar la tecnología relacionada con las técnicas de diagnóstico y evaluación de la durabilidad de las estructuras de hormigón, entre otros con el propósito de desarrollar

Estándares Técnicos de Calidad que permitan definir especificaciones por comportamiento, las que reflejan el desempeño real de una obra en condiciones de servicio (RILEM TC 189-NEC, 2005; Red Durar, 2003; AFGC, 2003).

En general, para definir los valores a especificar, se establecen condiciones ambientales o de exposición bajo las cuales el hormigón armado prestará servicio durante su vida útil. Adicionalmente, es necesario definir las técnicas de evaluación y los equipos más idóneos que permitan controlar la calidad superficial del material en condiciones de servicio. Estos conceptos y temas son definidos y determinados a continuación.

4.1. Vida útil del hormigón

Se entenderá por *Vida Útil Proyectada* el periodo de tiempo comprendido en años para los cuales una estructura de hormigón armado es capaz de mantener los requisitos mínimos de seguridad, estabilidad y funcionalidad para los cuales fue proyectada, sin incurrir en costos de mantenimiento o reparación.

Adicionalmente, se puede considerar un período de *Vida Útil Residual*, que corresponde a la extensión de la vida útil proyectada por medio de la ejecución de medidas de mantenimiento preventivo o correctivo de las estructuras.

La sumatoria de estos dos tipos de vida útil se conocerá como *Vida Útil Total*.

4.2. Definición de condiciones ambientales

Las condiciones ambientales de exposición se clasifican en tres tipos según el grado de agresividad del ambiente: Leve, Moderado, Severo. El grado de ataque está dado por el contenido de sustancias químicas agresivas y que se encuentran en contacto con las estructuras de hormigón (Tabla 3).

Tabla 3: Definición de condiciones ambientales de exposición para problemas asociados de desintegración del hormigón (adaptado de ACI 201, NCh 170 y CIRSOC 201)

TIPO DE CONDICIÓN AMBIENTAL DE EXPOSICIÓN		
CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN
Leve	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo, % en peso ⁽⁰⁾	0,00
	Sulfatos (SO ₄) en agua, ppm ó mg/l ⁽⁰⁾	0 – 150 ⁽¹⁾
	Magnesio (Mg) en agua, mg/l	300 – 1.000
	pH	5,5 – 6,5
Moderado	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo, % en peso	0,10 – 0,20
	Sulfatos (SO ₄) en agua, mg/l	150 – 1.500 ⁽²⁾
	Magnesio (Mg) en agua, mg/l	1.000 – 3.000
	pH	4,5 – 5,5
Severo ⁽⁵⁾	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo, % en peso	Mayor a 0,20 ⁽³⁾
	Sulfatos (SO ₄) en agua, mg/l	Mayor a 1.500 ⁽⁴⁾
	Magnesio (Mg) en agua, mg/l	Mayor a 3.000
	pH	Menor a 4,5

(0) Los sulfatos expresados como SO₄ pueden considerarse como SO₄ (%) = 1,2*SO₃ (ACI 201, 2002). ACI establece la unidad de ppm para sulfatos en agua y la NCh170 mg/l para idénticos valores.

(1) El código CIRSOC establece un rango de 200 a 1500 mg/l

(2) El código CIRSOC establece un rango de 1.500 a 10.000 mg/l

(3) El código CIRSOC establece un contenido superior a 20.000 mg/kg

(4) El código CIRSOC establece un contenido superior a 10.000 mg/l

(5) El código ACI establece las condiciones de exposición Severa (clase 2) y Muy Severa (clase 3). El rango establecido en esta Tabla se consideró desde el valor mínimo permitido para la primera de estas condiciones.

El código CIRSOC (1996) establece que los valores indicados en la Tabla 3 son validos para climas moderados, con aguas estacionarias o que se mueven lentamente. Además indica que si es el agua la que “contiene una única sustancia agresiva, ella determina el grado de ataque, y de contener dos o más sustancias agresivas cuya concentración la ubica en un mismo grado de ataque, con valores que caen dentro del cuarto superior del

rango (en el caso del pH en el cuarto inferior del rango), se debe aumentar el grado de agresión al inmediato superior”. Para el caso de ataque del suelo de contacto con la estructura de hormigón, indica que es “válido cuando las estructuras están en contacto con suelos saturados de agua en forma frecuente o permanente”.

Cuando los suelos sean de baja permeabilidad, K menor de 10-5m/seg, el grado de ataque se puede reducir al grado inmediato anterior.

En el caso de que el tipo de ambiente incluya una o más clases específicas de exposición, se procederá fijando, para cada parámetro, el criterio más exigente de entre los establecidos para las clases en cuestión.

4.3. Especificación para el diseño de mezclas

Diferentes normas, códigos o instrucciones establecen requisitos de tipo de cemento y relaciones máximas de agua/material cementante. A continuación se entregan los requisitos establecidos en ACI 201 y ACI 318 (Tabla 4), los que se usaron en el documento ET Du2 ó ET 007 – 06, incluyéndose otras normativas que hacen referencia a los aspectos indicados.

Vale indicar que los cementos resistentes a los sulfatos, la principal consideración es su contenido de aluminato tricálcico (C3A), el que debe ser inferior a 8% para exposiciones moderadas (ASTM C150) e inferior a 5% para exposiciones severas (ASTM C595).

COMITÉ DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

Tabla 4: Requisitos para hormigones expuestos a soluciones que contienen sulfatos (adaptado de ACI 318S-05 y ACI 201)

Exposición a sulfatos	Tipo de cemento					Relación agua/material cementante	f'c mínimo, MPa	
	ACI 318S-05 (1)	ACI 201.2R (2)	ENV 197-1	UNE 80.303:1996 (3)	IRAM 50.000 (4)			NCh 148 (5)
Insignificante	---	---	---	---	---	---	---	
Moderada	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	Tipo II o equivalente	Tipo II/A-M; Tipo III/A; Tipo IV/A y IV/B	II/A-P 42,5 R/MR; IV/A 32,5/SR	IRAM 1 669: cemento altamente resistente a los sulfatos; ó cemento portland + adición mineral	Siderúrgico; Puzolánico; Portland siderúrgico	0,50	28
Severa	V	Tipo V o equivalente	Tipo IV/A; Tipo IV/B		Idem		0,45	31
Muy severa	V más puzolana	Tipo V más puzolanas o escorias	Tipo IV/A; Tipo IV/B		Idem		0,40 (6)	31

- (1) Según: ASTM C150, ASTM C595, ASTM C1157
 (2) Según ASTM C150
 (3) El EHE(2002) establece que: en el caso particular de existencia de sulfatos, el cemento deberá poseer la característica adicional de resistencia a los sulfatos, según la UNE 80303:96, siempre que su contenido sea igual o mayor que 600 mg/l en el caso de aguas, o igual o mayor que 3000 mg/kg, en el caso de suelos.
 (4) Cuando el medio en contacto con las estructuras tenga, simultáneamente, un elevado contenido de sulfatos y de cloruros, puede no ser conveniente utilizar cemento pórtland con muy bajo contenido de aluminato triccálcico. En estos casos se aconseja consultar a un especialista en el tema.
 (5) Equivalencia de clasificación de cementos ASTM con clasificación de norma nacional.
 (6) ACI 318 especifica es mismo valor de ambiente severo, es decir, $A/mc=0,45$

4.4. Otros requisitos

Tal como se mencionó en el documento DTE 006 – 06, dada la velocidad de los procesos constructivos actuales y el desarrollo de cementos más finos y de elevadas resistencias iniciales, ha surgido como un problema preocupante la presencia de grietas en el hormigón. Se ha llegado incluso a hablar de las grietas como “la epidemia de los problemas de durabilidad” (Mehta, 2002).

En este sentido, la instrucción española EHE (2002) establece que en elementos de hormigón armado, en ausencia de requerimientos específicos (estanquidad, etc.), y bajo la combinación de acciones cuasipermanentes, las máximas aberturas de fisura para los distintos ambientes son las indicadas en la Tabla 5, al igual que para elementos de hormigón pretensado, en ausencia de requerimientos específicos, y bajo la combinación de acciones frecuentes.

Tabla 5: Máximas aberturas de fisura para diferentes condiciones de exposición EHE, (2002)

Clase de exposición	Ancho máximo de fisura, mm	
	Hormigón armado	Hormigón pretensado
No agresiva (I)	0,4	0,2
Normal humedad alta (IIa); Normal humedad media (IIb); con heladas sin sales fundentes (H)	0,3	0,2 ⁽¹⁾
Ambiente marino aéreo (IIIa); Ambiente marino sumergido (IIIb); con Cl ⁻ (IV); Con heladas con sales fundentes (F)	0,2	Descompresión
Ataques químicos	0,1	

⁽¹⁾ Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección.

Otras referencias, como el código ACI 224R-98 y la Red Durar, especifican anchos máximos de grietas de 0,18 mm a 0,4 mm, respectivamente, cuando existe exposición a ambiente marino o riesgo de corrosión.

Este tema no ha sido definido por el comité de durabilidad, en lo que se refiere al riesgo de deterioro del hormigón por ataques externos de sulfatos y aguas puras y ácidas en obras de edificación, marco de acción del presente documento. Sin embargo, considerando los valores presentados en la Tabla 5, debiese considerarse la clase de exposición con ataques químicos, la que resulta ser la más agresiva de las condiciones (Nota: Este tema queda pendiente para ser discutido con mayor detalle en el comité).

4.5. Selección de equipos para la determinación de parámetros de durabilidad en condiciones de servicio y Estudios del comité sobre hormigones con cementos nacionales

Tanto el estudio de los equipos disponibles a nivel internacional para la determinación de parámetros de durabilidad en condiciones de servicio, como los estudios realizados por el comité sobre hormigones con cementos nacionales, son los mismos realizados para el documento DTE 006 – 06.

5. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

La especificación técnica, ET Du2: “Prevención del deterioro del hormigón por ataques externos de sulfatos y aguas puras y ácidas en obras de edificación”, tiene por propósito especificar valores medibles en condiciones de servicio de modo de asegurar la vida útil de las estructuras de hormigón.

De las discusiones y análisis realizados por el comité, se llegó al acuerdo que la propiedad a medir es la permeabilidad y la resistencia superficial del hormigón de recubrimiento, el que brinda protección a la armadura.

Sin embargo, a raíz de los estudios realizados, los que fueron conducidos con los equipos con lo que se contaba, no fue posible definir un estándar de especificación. Por lo que será necesario establecer, de manera provisoria, parámetros de penetración de agua de acuerdo a norma DIN 1045, homologa de la única normativa nacional relacionada con durabilidad, la NCh 2262 Of97 de impermeabilidad al agua.

5.1. Estándar de Durabilidad

El estándar de durabilidad provisorio, especificado para la ET Du2, corresponde a lo especificado en la norma DIN 1045 y en la Instrucción Española del Hormigón Estructural, sección 37.3.

5.2. Requisitos de Permeabilidad Aceptables

De acuerdo a condiciones ambientales de Tabla 3:

- Condición de exposición moderada:
 - Profundidad máx. de penetración al agua ≤ 50 mm
 - Profundidad media. de penetración al agua ≤ 30 mm

- Condición de exposición severa:
 - Profundidad máx. de penetración al agua ≤ 30 mm
 - Profundidad media. de penetración al agua ≤ 18 mm (valor calculado proporcionalmente con los otros tres valores especificados)

Estos valores corresponden a un primer estado de exigencia, respaldados por los resultados presentados en la Figura 5 del documento DTE 006 - 06. La Tabla 1 de la ET Du2 entrega los requisitos aquí establecidos.

Se debe insistir en que estos requisitos no cumplen con el propósito de especificar por comportamiento, aspecto que deberá ser solucionado por medio del desarrollo de investigación y la adquisición de equipos que permitan cumplir con ello.

Adicionalmente, es necesario aumentar la base de datos de resultados obtenidos con los equipos de medición de permeabilidad in situ (poroscope plus) y resistencia superficial (capo test). Para el primero de estos equipos es necesario determinar si es una herramienta adecuada para especificar, puesto que aparentemente los resultados obtenidos no coinciden con la calidad de los hormigones evaluados. Algunos estudios reportan que los resultados obtenidos con este equipo no son confiables (Basheer, 1993), sin embargo, es necesario verificar la eficacia del equipo por medio de

más investigación. En este sentido se puede indicar que los bajos valores medidos podrían deberse a que, a pesar de que la resistencia mecánica de los hormigones es adecuada, estos estarían presentando serias deficiencia en cuanto a sus propiedades relacionadas con durabilidad, lo anterior se desprende a que prácticamente todos los valores medidos caen dentro de un rango de clasificación del hormigón de acuerdo a Tabla 5 del documento DTE 006 - 06.

5.3. Medición del Estándar y Criterios de Evaluación

Mientras no se cuente con procedimientos y equipos adecuados para la determinación de estándares de desempeño, se asegurará el cumplimiento de la penetración de agua máxima determinada según el procedimiento establecido en la NCh2262 Of.1997 “Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión”.

6. CONSIDERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DEL ESTÁNDAR DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO

La Especificación Técnica que se propone, en este nuevo sistema, tiene la particularidad de especificar los requisitos al elemento terminado más que indicar el procedimiento que será utilizado para obtenerlo. Este sistema permite a las empresas contratistas utilizar su experiencia en los resultados que han obtenido anteriormente y en la tecnología que disponen o que están dispuestas a adquirir para lograr los resultados propuestos. Por esta razón, la Especificación Técnica ha especificado requerimientos mínimos que deben cumplir las empresas que sean capaces de utilizar procedimientos propios para que estos puedan ser aceptados en la ejecución de los proyectos.

Observación: El párrafo anterior se refiere a especificaciones por comportamiento, aspecto que aun no se puede cumplir en el país dado que no existen las condiciones necesarias para hacerlo (validación de equipos, levantamiento de datos, determinación de parámetros y rangos de especificación validados).

Es importante indicar que la Parte II de la ET Du2, Especificación Técnica propiamente tal, deberá incorporar en el futuro parámetros de control por comportamiento en condiciones de servicio del hormigón, los que deben ser asegurados según se indica en la Parte III, Actuación con Procedimiento Propio (sección 6.1). La Parte IV, Actuación sin Procedimiento Propio (Sección 6.2), entrega lineamientos para aquellas empresas que no cuentan con procedimientos que les permitan cumplir con el estándar especificado, de modo que siguiendo estas pautas generales den cumplimiento a lo requerido. Estos últimos puntos se detallan a continuación.

6.1. Actuación con procedimiento propio

Las empresas que cuenten con procedimientos constructivos propios de trabajo y que permitan según sus prácticas y conocimiento lograr el estándar de durabilidad especificado para el proyecto, podrán proponerlos para ser utilizados en la construcción, previo conocimiento y aceptación por el propietario o su representante. Sin embargo, se exigirá, para asegurar el cumplimiento del estándar

de durabilidad, que la empresa entregue por escrito una metodología de evaluación de los parámetros que deberán ser controlados por la ITO durante la ejecución de la construcción.

Entre los aspectos a controlar del procedimiento constructivo propuesto se sugiere incluir:

- Parámetros de calidad del hormigón fresco, tales como dosificación, asentamiento de cono, control de la resistencia y de comportamiento del hormigón, temperatura del hormigón, aditivos, forma de vibrado del hormigón, manejo de juntas, longitudes máximas de hormigonado, metodología de realización del curado, protección del hormigón fresco al congelamiento en zonas muy frías, y protección térmica para evitar gradientes térmicos,
- Parámetros de calidad de los productos de terminación y reparación, tales como características de pinturas, estucos y revestimientos, características de los productos de reparación de fisuras, entre otros.

Independiente del procedimiento constructivo que utilice la empresa contratista y del método de evaluación que ésta presente, se deberá respetar estrictamente los planos y especificaciones de diseño, durante toda la ejecución de la construcción.

6.2. Actuación sin procedimiento propio

En el caso que la empresa constructora no cuente con procedimientos propios de ejecución que aseguren el cumplimiento del estándar de durabilidad especificado, la construcción deberá guiarse por las especificaciones técnicas del proyecto para evitar conflictos por no-cumplimiento de éstas. Para estos efectos se han incluido en la Especificación Técnica indicaciones respecto a la utilización de las exigencias mínimas de NCh 170, las recomendaciones de construcción de ACI y de la literatura especializada.

7. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

AATH (2001) Durabilidad del Hormigón Estructural. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.

ACI 201.2R-01 (2002) Guide for Durable Concrete. Reported by ACI Committee 201. American Concrete Institute. August 2002.

ACI 318-05 (2005) Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Versión en español. Comité 318. American Concrete Institute. Julio 2005.

AFGC (2003) Conception des Betons pour une Duree de Vie Donee des Ouvrages, Association Française de Génie Civil, France.

BASHEER, L., KROPP, J. AND CLELAND, D. (2001) Assessment of durability of concrete from its permeation properties: a review. Construction and Building Materials, 15, p.p. 93-103

CIRSOC (1996) Reglamento CIRSOC 201-M: Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de hormigón armado y pretensado para obras privadas municipales, Argentina.

EHE (2002) Instrucción española del hormigón estructural. Comisión permanente del hormigón. Ministerio de Fomento, España.

Mehta, K. (2002) Greening of the Concrete Industry. Concrete International, July 2002.

Mehta y Burrows (2001) Building Durable Structures in the 21st Century. Concrete International, March 2001.

INN (1985) NCh 170.Of1985: Hormigón-Requisitos Generales. Santiago, Chile.



COMITÉ DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN
Documento Técnico de Especificación: DTE 007-06

INN (1997) NCh 2262.Of1997: Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión. Santiago, Chile.

Norma DIN 1045, 1ª Parte, 1979.

RED DURAR (2003) PROYECTO XV.3 DURACON, Proyecto CYTED.

RILEM (2005) Reporte RILEM TC189-NEC: Non-destructive evaluation of Concrete Cover.

RILEM (1999) Reporte Final RILEM TC116-PCD: Concrete Durability-An approach to
aciones ACI, ICH, etc.