



Documentación Técnica



COMISION DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA CONTRATOS

ET 006-06

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:

PREVENCION DE LA CORROSION DE
ENFIERRADURAS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN

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
Brotac	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.

INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN DE CHILE

ET 006-06: PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN DE ENFIERRADURAS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN

CONTENIDO	COMENTARIOS
<p>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 corrosión de las armaduras del hormigón en <i>obras de edificación</i>, de manera de asegurar su comportamiento.</p> <p>I.2 DEFINICIONES:</p> <p>a) Durabilidad del Hormigón: Capacidad del hormigón para resistir durante su <i>vida útil proyectada</i>, las condiciones de exposición y uso a las que estará sometido, entre las cuales se cuentan la acción de agentes de tipo físico y químico.</p> <p>b) Vida Útil Proyectada: 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.</p> <p>c) 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>d) Actuación sin procedimiento: corresponde a la Parte IV de la especificación y 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.</p> <p>I.3 ALCANCE: La presente Especificación Técnica es aplicable a obras de edificación de hormigón armado con potencial de ocurrencia de corrosión de armaduras, sometidas a las condiciones ambientales que se indican</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>

en la Tabla 2 del DTE Du1.

I.3.1 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 para la durabilidad del hormigón armado, en términos de la corrosión de su armadura, se especifican mediante el cumplimiento de valores mínimos de ensayos de permeabilidad, los cuales dependen de las condiciones de exposición a las que estará sometido el elemento.

II.2 Estos requisitos se entregan en las Tablas 1 y 2, donde se indican los valores de permeabilidad y recubrimientos mínimos de armadura, respectivamente, 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		-
Moderado	30	50
Severo	18	30

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).

Tabla 2: Recubrimiento mínimo de la armadura

Condiciones Ambientales de Exposición	Valor (cm)
Leve	2,5
Moderado	3,0

C.II.2 Mientras no se defina, o valide, alguno de los procedimientos a evaluar en la Propuesta de Estudios de Hormigones Antiguos, se especificarán valores de permeabilidad al agua del hormigón según NCh 2262Of97, controlándose el hormigón en condiciones de servicio a través de ensayos sobre el recubrimiento (se deben establecer valores de resistencia superficial y permeabilidad in situ y capilaridad).

Severo	5,0	
<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 la empresa, basada 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 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, curado y recubrimiento mínimo, que aseguren 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>		<p>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</p>
<p>IV. ACTUACIÓN SIN PROCEDIMIENTO</p>		<p>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</p>
<p>IV.1 En caso de que la empresa no cuente con procedimientos que le permitan asegurar el comportamiento especificado, deberá considerar como mínimo los valores recomendados a continuación:</p>		<p>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</p>

a) Contenido mínimo de material cementante:

Condiciones Ambientales de Exposición	Contenido mínimo de cemento (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) Recubrimiento mínimo de la enfierradura:

Condiciones Ambientales de Exposición	Valor (cm)
Leve	2,5
Moderado	3,0
Severo	5,0

d) Asegurar adecuadas condiciones de curado y protección del hormigón fresco.

e) Se debe asegurar que la presencia de elementos metálicos, embebidos en el hormigón, no genere celdas galvánicas que fomenten la corrosión de estos.

f) Procedimientos de colocación deberán asegurar no obtener defectos de colocación mayores a los definidos en la ET 005-06.

según NCh 2262Of97. El contratista deberá entregar documentos que respalden el cumplimiento de dichos requisitos.

C.IV.2 Para el caso en que no se incorporen al hormigón adiciones puzolánicas, el contenido de material cementante será considerado igual al contenido de cemento.

C.IV.3 La ET Ch1 corresponde a la especificación técnica de Criterios de Aceptación de Superficies Verticales en Elementos Verticales de Hormigón del Comité de Colocación del Hormigón.



COMITÉ DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

DOCUMENTO TÉCNICO DE ESPECIFICACIÓN

**DTE 006-06: PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN DE
ARMADURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO**

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

Santiago, Noviembre 2006

INDICE

1. ALCANCE	3
2. INTRODUCCIÓN	3
3. FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO	4
4. ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES PARA ESPECIFICAR DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO	6
4.1. Vida útil del hormigón	7
4.2. Definición de condiciones ambientales	7
4.3. Selección de equipos para la determinación de la permeabilidad in situ	9
4.4. Estudios del comité sobre hormigones con cementos nacionales	10
4.4. Consideraciones adicionales	18
5. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	18
5.1. Estándar de Durabilidad	19
5.2. Requisitos de Permeabilidad Aceptables	19
5.3. Medición del Estándar y Criterios de Evaluación	20
6. CONSIDERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DEL ESTÁNDAR DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO	20
6.1. Actuación con procedimiento propio	21
6.2. Actuación sin procedimiento propio	21
7. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	22

1. ALCANCE

Este Documento Técnico de Especificación (DTE) contiene información que respalda la Especificación Técnica ET Du1: "Prevención de la Corrosión de Armaduras en el Hormigón Armado".

Si bien el presente DTE es complementario a la ET Du1, contiene información que respalda los temas a abordar en las tres ET que se desarrollarán, específicamente en lo que se refiere a identificación de problemas a analizar en función de las causas que los generan y definición de condiciones ambientales de exposición.

En el cuerpo del DTE se incorporan definiciones y conceptos que serán los considerados válidos para la interpretación de la ET. En este sentido se desarrolla el concepto de vida útil y, como se indicó anteriormente, la definición de las condiciones ambientales.

2. INTRODUCCIÓN

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).

El explosivo crecimiento de la población mundial y, consecuentemente, el aumento en la demanda de infraestructura y edificación, han acelerado los procesos de construcción, exigiéndose comúnmente altas resistencia a temprana edad del hormigón, esto ha afectado directamente la durabilidad de las estructuras reportándose deterioros prematuros del hormigón debido a pobres prácticas de construcción orientadas al cumplimiento de la vida útil proyectada del material (Mehta y Burrows, 2001).

Lo anterior considerando que, sin embargo, la construcción se ha ajustado a los códigos de construcción existentes tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Estos códigos centran sus requisitos en recomendaciones prescriptivos, 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 1 (ET Du1): Prevención de la Corrosión de Armaduras, justificando los procedimientos definidos y sus criterios de aceptación.

3. FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO

Los mecanismos de deterioro del hormigón son comúnmente relacionados con la adecuada protección que la capa de recubrimiento brinda al acero, recubrimiento que debe resistir la acción del ambiente de exposición en el que presta servicio.

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.

Los mecanismos básicos de transferencia de masa en el hormigón son la difusión, la absorción y la permeabilidad (Basheer et al, 2001; AATH, 2001), por medio de ellos se producen los principales problemas de deterioro, y por tanto, durabilidad del hormigón.

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

EFEECTO 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
	Ciclos hielo-deshielo	externo (bajas T°)
	Ácidos, CO ₂ agresivo	Externo
Desgaste superficial	Abrasivos	Externo

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

La corrosión de las armaduras es un tema ampliamente estudiado en la literatura, sin embargo este sigue siendo el principal problema que afecta las estructuras de construcción, principalmente las expuestas a ambientes marinos.

Para controlar este problema, los códigos y normas de construcción han limitado el contenido máximo de Cl⁻ en los materiales constituyentes del hormigón (Tabla 2), sin embargo lo anterior no es suficiente para asegurar la vida útil proyectada del material en condiciones ambientales agresivas o severas.

Para evitar que se genere el proceso de corrosión de la armadura es necesario evitar que los iones Cl⁻ alcancen la armadura y que se sobrepase el umbral crítico aceptable que produce la destrucción de la película pasivante que protege su superficie, generando una celda galvánica.

En la Tabla 2 se presentan los niveles máximos de Cl⁻ recomendados en diferentes códigos o normas de construcción, los que dependen del tipo de hormigón y, en algunos casos, de las condiciones de exposición. De manera general, se puede indicar el rango reportado por Montemor et al (2003) quien indica que la concentración crítica de cloruros para iniciar el proceso de corrosión, cuando estos traspasan todo el recubrimiento, se encuentra entre 0,17 y 2,5 % del peso del cemento.

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.

Tabla 2: Niveles máximos de Cl⁻ recomendados

TIPO DE HORMIGÓN	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	Código o Norma de referencia			
		ACI ¹	EN 2006 ¹	NCh170 Of1985 ²	CIRSOC ³
Pretensado		0,06 %	0,1- 0,2 %	0,25	150
Armado	---		0,2 0,4 %	1,20	---
Armado	Humedad y cloruros en el medio	0,10 %		---	1000
Armado	Humedad	0,15 %		---	1000
Armado	Seco	---		---	1000
Simple		---	1,0 %	---	2000

¹ Contenido máx. de ion cloruro (Cl⁻) en % en peso del cemento

² Contenido máx. de ion cloruro (Cl⁻) soluble en agua en el hormigón, kg Cl⁻/m³

³ Contenido máx. de ion cloruro (Cl⁻) en ppm agua de mezclado

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

Los requisitos para la durabilidad del hormigón armado, en términos de la corrosión de su armadura, se proponen mediante el cumplimiento de valores mínimos de ensayos de permeabilidad, los cuales dependen de las condiciones de exposición a las que estará sometido el elemento.

Las condiciones ambientales de exposición se clasifican en tres tipos según el grado de agresividad del ambiente: Leve, Moderado, Severo (Tabla 2).

Tabla 2: Definición de condiciones ambientales de exposición del hormigón

TIPO DE CONDICIÓN AMBIENTAL DE EXPOSICIÓN			PROBLEMA ASOCIADO
CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN	
Leve	Ambiente no agresivo		Ninguno
	Ambiente húmedo	HR > 70%	Ninguno
	Ambiente seco	HR < 30%	Ninguno
	Ambiente urbano	30% < HR < 70% Concentración CO ₂ en el aire: CO ₂ < 0,035%	Carbonatación
Moderado	Ambiente marino (exposición aérea)		Corrosión por cloruros
	Ambiente marino (zona sumergida)	Elementos completamente sumergidos en agua de mar	Corrosión por cloruros
	Ambiente urbano	30% < HR < 70% 0,035 % ≤ CO ₂ < 0,3%	Carbonatación
Severo	Ambiente marino (zona de mareas)	Elementos sumergidos en agua de mar y con zonas expuestas a la intemperie	Corrosión por cloruros
	Ambiente urbano	30% < HR < 70% CO ₂ ≥ 0,3%	Carbonatación
	Suelos sulfatados	Elementos enterrados en suelos con elevada presencia de sales agresivas (sulfatos y sulfuros)	Desintegración del hormigón ⁽¹⁾
	Ambientes con presencia de ácidos	Construcciones industriales, presencia de ácidos orgánicos e inorgánicos	Desintegración del hormigón ⁽²⁾
	Otros ambientes químicos agresivos	-Edificaciones con ambientes interiores fuertemente agresivos	Corrosión por cloruros

(1) Dependiendo de las condiciones de exposición, usar protecciones adicionales para el hormigón o el acero.

(2) Si las condiciones son extremadamente severas se deberán usar protecciones adicionales para el hormigón o el acero.

4.3. Selección de equipos para la determinación de la permeabilidad in situ

Se han analizado diferentes métodos para determinar la permeabilidad in situ del hormigón, con el propósito de correlacionar este valor con mediciones realizadas en laboratorio que permitan determinar valores de durabilidad en función de las condiciones ambientales de exposición y la calidad del hormigón especificado.

Los equipos analizados se indican en la Tabla 3.

Tabla 3: Equipos de medición para la determinación de la permeabilidad in situ o la calidad del recubrimiento del hormigón usado en obra.

PROPIEDAD MEDIDA	EQUIPO /MÉTODO	APLICACION	TIPO DE DAÑO ¹	NORMATIVA	COSTO (USD\$)
Permeabilidad a los gases y al agua	Poroscope plus (Método intrusivo)	Determinación de permeabilidad al aire y al agua	PNDT		4.500.-
	Permeabilímetro Torrent (Método superficial)	Determinación de permeabilidad al aire del hormigón	NDT	SIA 262/1:2003 (Norma Suiza)	25.000.-
	ISAT (Método superficial)	Succión de agua (sorptivity)		BS 1881: Part 5	
	Oxygen Permeability Index (OPI)	Permite evaluar compacidad y calidad del recubrimiento del hormigón colocado	PNDT	Equipo desarrollado en Sudáfrica, aun sin norma	
Corrosión	GECOR 8 (Método superficial)	Permite desarrollar mapas en función al potencial de corrosión (resistencia a la polarización), además de la resistividad del hormigón. Permite determinar corrosión en estructuras sumergidas o muy mojadas.			26.500.-
	Galva Pulse	Permite desarrollar mapas en		ASTM 876	10.900.-

		función al potencial de corrosión			
Resistencia superficial	LOK test: Pull-out (Método intrusivo)	Determinación de resistencia superficial del recubrimiento	PNDT	ASTM C900-99, BS 1881:Part 207	
	Pull-out (Método intrusivo)	Determinación de resistencia superficial del recubrimiento	PNDT	ASTM C900-99, BS 1881:Part 207	
Resistividad (contenido de humedad)	HUM-Meter	Determinación de contenido de humedad			2.750.-
	OhmCorr (ver James Aquameter)	Determina resistividad del hormigón para corregir ensayos por humedad	PNDT		1.600.-

4.4. Estudios del comité sobre hormigones con cementos nacionales

Con el propósito de probar ensayos existentes en Chile y levantar resultados del comportamiento de hormigones con cementos nacionales, se condujeron dos líneas de estudio, la primera sobre hormigones nuevos (edades inferiores a 1 año) y la segunda sobre hormigones antiguos (edades superiores a 2 años).

Los equipos empleados para la evaluación in situ, los que se evaluaron con el propósito de establecer valores de parámetros de durabilidad que reflejen el desempeño de la estructura en condiciones de servicio, son: Poroscope plus para permeabilidad a los gases y al agua y Pull-out (Capo-test) para determinación de resistencia superficial.

La Tabla 4 presenta la serie de procedimientos a seguir para la evaluación del material.

Tabla 4: Ensayos desarrollados para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas hormigón usado en obra

Tipo de Ensayo	Físicos	Mecánicos
Ensayos in situ	<ul style="list-style-type: none"> - Permeabilidad a los gases - Permeabilidad al agua - Carbonatación 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia superficial: Pullout (Capotest)
Ensayos de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> - Capilaridad - Carbonatación - Penetración de cloruros (perfil) - Permeabilidad al agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a compresión

4.4.1 Ensayos de Permeabilidad in situ: Equipo Poroscope Plus

El ensayo de permeabilidad al aire permite medir el tiempo que toma el aire en fluir desde un volumen conocido de una cámara sellada a la superficie de hormigón, cuando se produce un vacío de -55 kPa a -50 kPa. Para medir la permeabilidad al agua el equipo utiliza la misma cámara llena con agua y mide el tiempo en segundos que requiere un volumen de 0,01 ml para dispersarse. El sistema considera la realización de una perforación en los muros de 10 mm de diámetro y 40 mm de profundidad. Se consideró la medición en tres puntos.

La Figura 1 muestra una fotografía del equipo y la Tabla 5 el rango establecido para la clasificación del material según los resultados obtenidos.



Poroscope Plus Complete System

Figura 1: Equipo Poroscope Plus, James Instruments

Tabla 5: Clasificación de la calidad del recubrimiento según resultados de permeabilidad in situ con el equipo Poroscope Plus

Categoría de Hormigón	Calidad de Protección	Permeabilidad		
		Aire		Agua
		Tiempo (s)	AER* Valor (s / ml)	Proporción de Absorción (s / lt)
0	Pobre	< 30	< 8	< 3
1	No Muy Bueno	30-100	8-25	3-10
2	Regular	100-300	25-75	10-30
3	Bueno	300-1000	75-250	30-100
4	Excelente	> 1000	> 250	> 100

* Clasificación de la Exclusión de Aire

4.4.2 Ensayos de Resistencia Superficial: Equipo Capo-test

Este ensayo mide la fuerza requerida (kN) para extraer una varilla de acero de la superficie de Hormigón. El ensayo de pullout, con el equipo de Capo test, produce la extracción, o arrancamiento, de un testigo cónico de aproximadamente 40 mm (profundidad y diámetro) (Figura 2 y Figura 3). Se consideró la medición en tres puntos.



Figura 2: Equipo Capotest Instalado y Inserto Cónico extraído

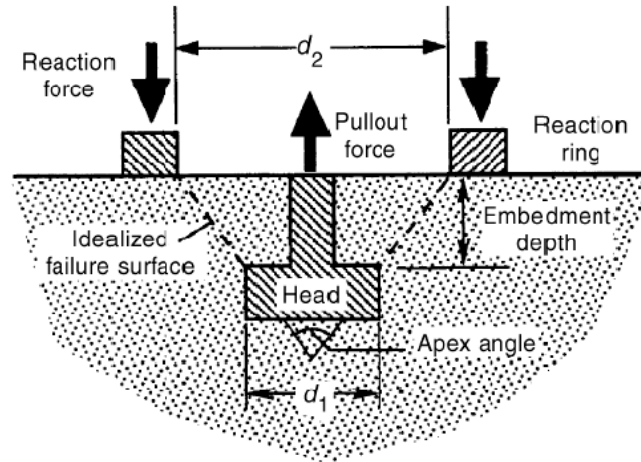


Figura 3: Esquema de Ensayo Pullout.

Si bien este ensayo determina la fuerza de extracción, existe una correlación entre la resistencia a compresión y la fuerza a la extracción (Figura 4).

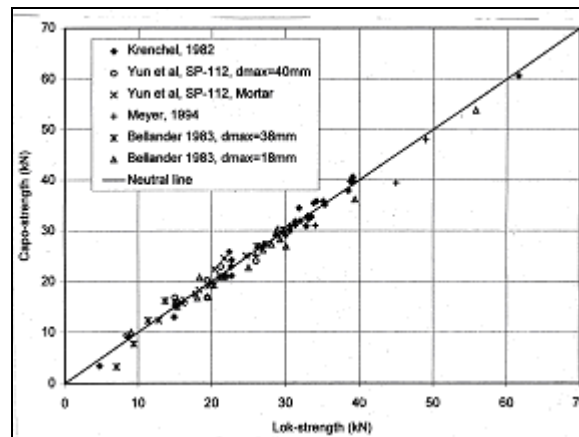


Figura 4: Correlación Resistencia a Compresión y Fuerza Pull-Out.

4.4.3 Hormigones estudiados

a) Hormigones nuevos

La Tabla 6 muestra las características de los hormigones nuevos y los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

Tabla 6: Resultados Hormigones Nuevos

Tipo de Hormigón	Cono (cm)	Resistencia a compresión (MPa)	Permeabilidad al agua (mm)	Carbonatación acelerada (mm)	Permeabilidad al aire (seg) - Poroscope plus-	Pull out (kN) -Capo test-	Coefficiente de Absorción Capilar (kg/m ² *s ^{1/2})
H 20 (90) 40 10	10	24	59	17.2			0.033
HB 25 Polp(13)	13	25	10				
H 20 (90) 20 10	10,5	26	29	8.3			
H 20 (me)	10	28	13	5.5	156	21.7	0.031
H 30 (me)	9	30	9	5.1	181	24.7	
H 30 (90) 40 10	8	31	26	8.8			0.029
H 20 (pe)	10	31	18	5.1	146	23.3	
H 20 (pe)	11	31	16	7.1	155		
HB 25 Polp(9)	9	31					
H 30 (be)	9	32	12	5.5	183		
H 30 (90) 20 10	11	34	19	8.6			0.041
H 20 (bs)	10	34	9	3.4	127		
H 30 (pe)	10	39	13	4.7	175	31	
H 30 (bs)	10	41	7	2.4	149		
HB 25 Polp(4)	4		4				

Graficando los resultados de permeabilidad al agua, según NCh2262Of97, en función a la resistencia a compresión de los hormigones (Figura 5) se puede observar una clara tendencia a la disminución de la penetración de agua a medida aumenta la resistencia de las muestras. En la Figura 5 se incorporaron dos rectas que representan los requisitos de penetración al agua de acuerdo a la norma DIN 1045 (homóloga de la NCh2262), de éstas se desprende que a partir de un hormigón con cemento nacionales (puzolánicos) grado H25, todas las muestras cumplen con el requisito establecido para hormigones resistentes al ataque químico con ambientes de exposición moderadamente agresivo, es decir, con una penetración de agua no mayor que 50 mm. Más aun,

prácticamente todos los hormigones evaluados arrojan valores de penetración de agua inferiores a 30 mm, requisito establecido para ambientes agresivos.

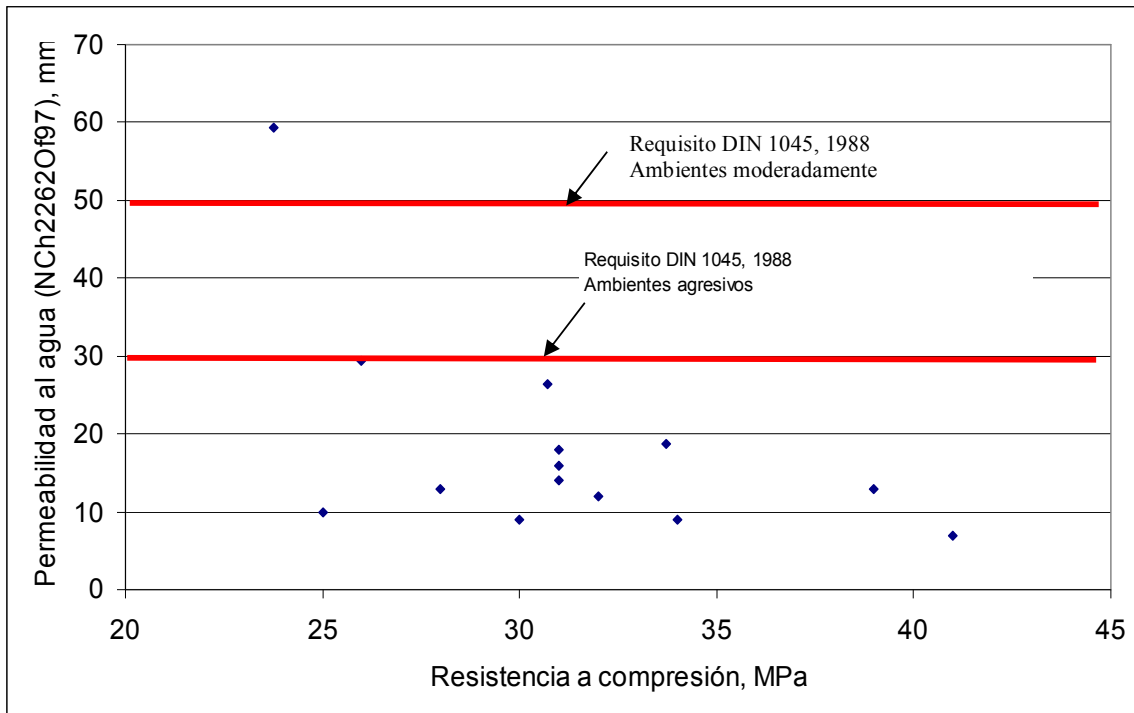


Figura 5: Correlación Resistencia a Compresión y Fuerza Pull-Out.

Vale destacar que la instrucción española del hormigón (EHE, año) indica que para hormigones que pueden verse afectados por corrosión de cloruros, debe ser lo suficientemente impermeable, considerándose por éste a aquel que cumple con:

- Profundidad máx. de penetración al agua ≤ 50 mm
- Profundidad media de penetración al agua ≤ 30 mm

Dados estos antecedentes, los hormigones nacionales, con grado superior a H25, podrían considerarse suficientemente impermeables al agua. Sin embargo, es importante indicar que se

deben realizar investigaciones donde se involucren un número mayor de muestra para validar estos resultados, los que se consideran sólo preliminares.

Por otro lado, revisando los valores obtenidos para el ensayo de permeabilidad al aire in situ, con el equipo poroscope plus, y considerando los rangos de clasificación de la Tabla 5, es posible clasificar los hormigones evaluados como de *calidad regular* (tiempo medidos en el rango de 100 a 300 seg.). Vale indicar que el ensayo resultó de difícil ejecución y, en muchos casos, con una gran dispersión de resultados. Se realizaron otras pruebas, cuyos resultados no se reportan por presentar un comportamiento muy irregular.

En cuanto a las pruebas de pull-out, sólo se pudieron realizar los ensayos que se entregan en la Tabla 6, los que no permiten sacar conclusiones. El equipo falló en el transcurso del estudio.

b) Hormigones antiguos

La Tabla 7 muestra las características y ubicación de los edificios cuyos hormigones fueron evaluados. Los resultados obtenidos se entregan en la Tabla 8.

Tabla 7: Características de los Edificios Evaluados

Nombre Edificio	Ubicación	Edad, años	Tipo de Hormigón
San Agustín	Campus San Joaquín, PUC Santiago	4	H 35
Hall Central	Campus San Joaquín, PUC Santiago	7	H 25
Piscina	Campus San Joaquín, PUC Santiago	1	H 25
Polideportivo	Playa Ancha, U. Valparaíso Valparaíso	3	H 25
Fac. Arquitectura	Playa Ancha, U. Valparaíso Valparaíso	4	H 25

Con los valores obtenidos a la fecha, y presentados en la Tabla 8, es muy difícil obtener conclusiones que permitan orientarnos hacia la adopción de valores para especificar por comportamiento.

Tabla 8: Resumen de Resultados de los Edificios Evaluados¹

Ensayo	Edificio Evaluado				
	Polideportivo	Fac. Arquitectura	Hall Central	San Agustín	Piscina
Resistencia a compresión, MPa	57	35	22	29	22
Pull Out, kN	24	28	18	23	18
Penetración de cloruros, mm	6	17			
Carbonatación, mm	5	10	21	13	1,5
Permeabilidad al aire, seg	290	84,5	15	7	118
	260	131,5	9	9	120
	134	54,5	22	21	54
	145	106,5	12	14	100
	29,5	102,5	14	12	106

¹ Todos los valores reportados son la media de 3 a 5 mediciones, a excepción de la permeabilidad al aire donde se reportan todos los valores obtenidos.

De todos modos, resulta interesante detectar el gran avance que presentan los frentes de carbonatación tanto en el ambiente marino como en la ciudad de Santiago, ambos casos se pueden considerar, además, como ambientes urbanos. Adicionalmente, se destaca el avance que ha presentado el frente de penetración de cloruros, a pesar de la corta edad de los edificios evaluados en el ambiente marino (app. 4 años). Esto hace más pertinente la existencia del comité de durabilidad, ratificándose la necesidad de establecer procedimientos de control in situ y la definición de parámetros de especificación por comportamiento.

Por otro lado, extrayendo conclusiones generales de los resultados de resistencia mecánica en función de los obtenidos para la permeabilidad al aire, se puede indicar que algunos edificios presentan resistencias levemente por debajo de lo especificado, pero todos son hormigones estructurales, sin embargo esto no tiene relación con su desempeño frente a la permeabilidad al aire. Si bien la mayor parte de los hormigones pueden ser clasificados como *regulares* (ver Tabla 5) llama la atención que dos de ellos caen en la categoría de *pobres* (Hall central y San Agustín), más aun, uno de estos es el que posee la mayor resistencia especificada, H35, situación que refleja la importancia del material en condiciones de servicio, a modo de controlar no solo el material si no también el proceso de colocación y curado.

4.4. Consideraciones adicionales

Dado 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, el código ACI 224R-98 sugiere como recomendable un ancho máximo de grietas 0,18 mm cuando la superficie del hormigón se encuentra expuesta a ambiente marino. La Red Durar, en cambio, acepta como ancho máximo, desde el punto de vista de la corrosión de las armaduras, grietas de hasta 0,4 mm de ancho.

Para el caso de la ET Du1, se establece que si el ancho de las grietas es superior a 0,3 mm, estas deberán ser reparadas. (Nota: Este tema debe ser discutido con mayor detalle en el comité.

5. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

La especificación técnica, ET Du1: “Prevención de la Corrosión de las Armaduras”, 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 006-06, corresponde a lo especificado en la norma DIN 10145 y en la Instrucción Española del Hormigón Estructural, sección 37.3.

5.2. Requisitos de Permeabilidad Aceptables

De acuerdo a condiciones ambientales de Tabla 2:

- 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. La Tabla 1 de la ET 006-06 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.

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 aportar 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).

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.

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

BASHEER, P. (1993) A brief Review of Methods for Measuring the Permeation Properties of Concrete in Situ. Proceeding of the Institution of Civil Engineers. Structures and Buildings, Vol. 99, p.p.74-83.

CEB (1996) Guía de Diseño CEB: Durabilidad de Estructuras de Hormigón. Boletín N°12. Traducción Grupo Español del Hormigón (GEHO), Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.

CPH (1998) Instrucción de Hormigón Estructural (EHE). Ministerio de Fomento, España.

EHE (año) Instrucción española del hormigón estructural. Comisión permanente del hormigón. 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.

Montemor, M.; Simoes, A. y Ferreira, M. (2003) Chloride-induced corrosion on reinforcing steel: from the fundamentals to the monitoring techniques. Cement and Concrete Composite, Vol. 25, p.p. 491-502

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

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 1048, 1^a Parte, 1979.

Norma Holandesa ISO/DIS 7031

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



COMITÉ DE DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

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

RILEM (1999) Reporte Final RILEM TC116-PCD: Concrete Durability-An approach towards performance testing. Materials and Structures, Vol. 32, April, p.p. 163-173.
ediciones ACI, ICH, etc.