

# RECOMENDACIONES DE DURABILIDAD EN HORMIGONES

**\* Carlos Pineda Tapia**

**\*\* Vicente Zetola Vargas**

## RESUMEN

La deterioro de una de una estructura de hormigón es de naturaleza compleja, pudiéndose atribuir la aparición de un fenómeno determinado a la acción simultánea de una serie de factores. Los factores podríamos agruparlos en factores relacionados con el ambiente de exposición y factores relacionados con las características propias del hormigón. Estos aspectos son los que recogen las normas y códigos para asegurar la durabilidad del hormigón.

En el caso de España la EHE es la especificación que deben cumplir todas las construcciones de hormigón estructural, en el caso de EEUU existe el código ACI y en caso de Chile existe la norma NCh 170. Todas estas recomendaciones tratan el tema de la durabilidad de maneras distintas, coincidiendo en algunos puntos. Se realiza comparación de las recomendaciones.

Del análisis se puede concluir que existen diferencias en la forma de recomendar. En relación con las normas chilenas, tanto el ACI como la EHE Española tratan el tema más ampliamente. También se evidencia que la normativa chilena requiere de una modernización tendiente a una mayor y mejor aplicación de los conocimientos actuales acerca de durabilidad tanto en el proyecto, en la ejecución y en el uso de las estructuras de hormigón.

**\* Ingeniero Civil, Asesoría Técnica, Cementos Bio-Bio**

**\*\* Ingeniero Constructor, MRA, Asesoría Técnica, Cementos Bio-Bio.**

## RECOMMENDATIONS OF CONCRETE DURABILITY

**\*Carlos Pineda Tapia**

**\*\*Vicente Zetola Vargas**

### ABSTRACT

The deterioration process of a concrete structure is complex in nature, a certain phenomenon can appear due to the simultaneous action of sequences of factors. The factors can be divided in two groups, the first group related to environment exposure and the second group related with the concrete's characteristic. These aspects are the ones stated in the regulations and codes to guarantee the durability of the concrete.

In the case of Spain the EHE regulation that must be applied in all the structural concrete construction, in the case of EEUU there are ACI codes, and in the case of Chile there is NCh 170 regulation. All these recommendations cover the topic of durability in different ways, but there are similarities in some points. A comparison of the recommendations is carried out.

From the analysis we can conclude that there are differences. In relation to Chilean regulation, both ACI (USA) and EHE (Spain) regulations deal with the subject more thoroughly. In addition there is evidence that the Chilean regulation requires of modernization towards a greater and better application of the current information regarding durability as far as the project, the execution and the use of the concrete structures concern.

**\* Ingeniero Civil, Asesoría Técnica, Cementos Bio-Bio**

**\*\* Ingeniero Constructor, MRA, Asesoría Técnica, Cementos Bio-Bio**

## RECOMENDACIONES DE DURABILIDAD EN HORMIGONES

La resistencia a la corrosión del hormigón en masa y armado depende, en gran parte, de un adecuado proyecto y esmero en su ejecución. Para la elección del método adecuado, deben tenerse siempre en consideración en primer lugar, los métodos más sencillos y económicos. Entre estos pueden citarse: estimar el grado de agresividad química o de procesos físicos a que estará expuesto el hormigón para determinar la protección mínima, adecuado diseño del hormigón, prever el empleo de cemento apropiado, uso de los áridos adecuados, cuidados en la faena de hormigonado, el incremento de la compacidad del hormigón, la formación de una cápa superficial de hormigón hidrófugo, el impedir el flujo de agua subterránea agresiva a través del hormigón, la neutralización de agua agresiva, etc. Solo cuando las medidas protectoras sencillas resulten insuficientes, por el tipo de ataque químico o erosión a que esté sometido el hormigón, pueden adoptarse medidas de costos más elevados.

### **1.- Factores que influyen en la durabilidad del hormigón.**

El deterioro de una de una estructura de hormigón es de naturaleza compleja, pudiéndose atribuir la aparición de un fenómeno determinado a la acción simultánea de una serie de factores. Los factores podríamos agruparlos en factores relacionados con el ambiente en que participa la estructura de hormigón y factores relacionados con las características propias del hormigón.

Desde el punto de vista de los factores relacionados con el ambiente en que participa la estructura de hormigón, pueden influir en la durabilidad del hormigón los esfuerzos mecánicos a los que va a estar expuesto, la composición de los elementos constituyentes del ambiente que lo rodea, las condiciones climáticas del lugar y algunas situaciones especiales como por ejemplo, las altas temperaturas de un incendio

En cuanto a los factores relativos a las características propias del hormigón relacionadas con la durabilidad, se pueden mencionar: los de proyecto (elección de materiales, de técnicas constructivas, de diseño constructivo y especificaciones); de ejecución; de materiales; y el mantenimiento de las estructuras

## **2.- Procesos de deterioro del hormigón.**

Desde el punto de vista de los procesos y en función del agente agresivo, las lesiones en el hormigón se pueden producir por causas mecánicas, por agentes químicos, y por agentes físicos. En los daños por causas mecánicas podemos mencionar a la abrasión, erosión, deformaciones y roturas, daños por incendio, daños accidentales y fallas de adherencia entre hormigón y acero. En los daños por agentes químicos se pueden distinguir tres tipos clásicos de acción: corrosión por lixiviación, corrosión por reacción de intercambio iónico y corrosión por expansión. Su aparición es lógica en obras marinas, en obras de las industrias químicas, y en cimentaciones bañadas con aguas agresivas. En el hormigón armado debemos agregar la corrosión de las armaduras.

En los problemas generados por agentes físicos se pueden distinguir la cavitación, la erosión superficial por recristalización de sales, el ciclo hielo-deshielo, agrietamientos por gradientes de temperatura, agrietamientos por gradientes de humedad, y humedades.

Es necesario destacar que en lo referente a la clasificación de los procesos de deterioro del hormigón existen diferencias entre los diferentes autores.

## **3.- Recomendaciones de durabilidad.**

Las recomendaciones acerca de la durabilidad son numerosas, muchas de ellas están contenidas en normas, códigos, Instrucciones, etc. Estas pueden tener

diferencias en las formas de especificar, en los límites recomendados y en documento empleado. A continuación se exponen recomendaciones de durabilidad en las estructuras de hormigón en masa y armado, entregadas por las normas Chilenas, las recomendaciones ACI y la Instrucción de Hormigón Estructural Española (EHE).

### 3.1 Recomendaciones de durabilidad en las normas chilenas.

En las normas chilenas se hacen recomendaciones de durabilidad en la norma NCh 170 (Hormigón-Requisitos Generales), la que a su vez se apoya en otras normas de recomendación de materiales como la norma NCh 163 (Áridos para morteros y hormigones- Requisitos generales), la NCh 148 (Cemento-Terminología, clasificación y especificaciones generales), y la NCh 1498 (Hormigón-Agua de amasado-Requisitos).

La norma NCh 170, en su cuerpo, recomienda relaciones agua/cemento máximas por durabilidad para hormigones en caso de “exposición severa”, ver tabla N° 1.

**Tabla N° 1. Estimación de la relación W/C por durabilidad**

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda o expuesta a ciclo hielo-deshielo	Estucturas expuestas a aguas agresivas, en contacto con suelo o ambiente salino
Secciones delgadas (e<20cm) y secciones con recubrimientos menor a 2 cm	0,45	0,40
Toda otra estructura	0,50	0,45

Se recomiendan cantidades mínimas de cemento en el hormigón armado para: protegido de la intemperie 240 kg/m<sup>3</sup>, y expuesto a la intemperie 270 kg/m<sup>3</sup>.

Indica que los áridos deben cumplir con la NCh 163, el cemento con la NCh 148 y el agua con la NCh 1498. La NCh 163 fija el límite de cloruros por m<sup>3</sup> en : 1,2 kg para hormigones armados y 0,25 kg para hormigones pretensados. Esta misma norma especifica como contenido máximo de sulfatos (SO<sub>4</sub>) de 0,6 kg de por metro cúbico de hormigón elaborado.

En lo que se refiere a hormigonado en ambientes agresivos, se indica que las aguas y los suelos en contacto con fundaciones, deben ser analizadas para calificar el grado de agresividad y elegir la dosificación y las protecciones necesarias. Indica algunos cuidados en la protección y curado del hormigón en ambiente agresivo. Además, la norma cita el anexo G de “Recomendaciones para hormigonar en ambientes agresivos”.

El anexo G de “Recomendaciones para hormigonar en ambientes agresivos” de la NCh 170, trata el tema durabilidad como complemento al cuerpo de la norma. Se dan algunas recomendaciones generales para lograr mejor protección contra los sulfatos y otros elementos de carácter químico. Se indica que el hormigón sometido a ciclo hielo-deshielo, expuesto con agua o gases húmedos o a la acción de sustancias químicas descongelantes, se les debe incorporar aire en las cantidades recomendadas por la misma norma. Que el hormigón que sea impermeable o este expuesto a ciclos hielo-deshielo debe cumplirse la tabla N° 1. Que la dosificación de hormigones expuestos sulfatos debe seguirse lo indicado en la tabla N° 2. Que el hormigón armado expuesto a sales descongelantes, agua de mar, o a neblina proveniente de estas fuentes debe dosificarse de acuerdo a tabla N° 1 y aplicar protecciones superficiales especificada en la norma NCh 430 (en esta norma no se especifican protecciones superficiales). La norma NCh 429, de hormigón armado, indica recubrimientos de armaduras siempre superior a 4 cm si el hormigón armado esta expuesto a la acción de sustancias químicas dañinas, como aguas corrosivas, líquidos o vapores ácidos, soluciones salinas, aceites perjudiciales, humos sulfurosos, etc. Además recomienda en estos casos el empleo de protección adicional de estucos o pinturas adecuadas. Por otro lado

indica que los hormigones sometidos a desgaste deberán protegerse por medio de una cubierta resistente o de un recubrimiento adecuado.

**Tabla N° 2. Ataque por sulfatos**

Exposición	Sulfato soluble en agua, SO <sub>4</sub> en suelo, %	Sulfato SO <sub>4</sub> en agua, ppm	Tipo de cemento a usar (Solo ACI)	Máxima relación W/C
Suave	0,00-0,10	0-150	-	-
Moderada**	0,10-0,20	150-1.500	Tipo II, IP(MS), IS(MS)	0,50
Severa	0,20-2,00	1.500-10.000	Tipo V, Tipo II*, IP(MS)*, IS(MS)*	0,45
Muy severa	>2,00	>10.000	Tipo V+puzolana o escoria	0,45 (ACI) 0,40 (NCh 170)

\*Se usará dependiendo de su resistencia a los sulfatos

\*\*Tipo de ataque en agua de mar

### 3.2 Recomendaciones de durabilidad del ACI.

El ACI trata el tema de durabilidad en varias recomendaciones, siendo las principales ACI 201 Guide to durable concrete, ACI 318 Building code requirements for reinforced concrete, ACI 515 A guide to the use of waterproofing, dampproofing, protective, and decorative barrier systems for concrete.

El ACI 201, trata profusamente varios temas relacionados con durabilidad como el ciclo hielo-deshielo, agresividad por exposición química (agresividad química, ataque por sulfatos, agua de mar, ataque ácido, carbonatación), abrasión, corrosión de armaduras, y reacciones químicas con los agregados. En el tema de agresividad por exposición química hace mención del libro “Corrosión y protección del hormigón” de Biczok y de ACI 515. Entrega la tabla N° 3 como una guía preliminar de agresividad.

Biczok entrega en su libro bastante información para la evaluación de la corrosión del hormigón. Entre la información contenida en este libro se destaca lo referente a la norma TGL 11357 de la ex República Democrática Alemana, que clasifican el ambiente agresivo incorporado prácticamente la totalidad de las soluciones agresivas que se pueden encontrar en la naturaleza. La norma evalúa las aguas agresivas con iones sulfatos, iones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), de magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), y de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), y también para medios ácidos.

ACI 515 es una guía para aplicación de protecciones para el concreto, y entrega además una tabla de todos los compuestos que pueden ser agresivos al hormigón.

**Tabla 3. Efecto de algunos agentes químicos que atacan al hormigón**

<b>Tipo de ataque a temperatura ambiente</b>	<b>Ácidos Inorgánicos</b>	<b>Ácidos Orgánicos</b>	<b>Soluciones Alcalinas</b>	<b>Soluciones salinas</b>
Rápido	Clorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico		Cloruro de aluminio
Moderado	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de sodio o potasio > 20 %	Nitrato de amonio Sulfato de amonio Sulfato de sodio Sulfato de magnesio Sulfato de calcio
Lento	Carbónico		Hidróxido de sodio o potasio 10-20 %	Cloruro de amonio Cianuro de sodio Cloruro de magnesio
Despreciable		Oxálico Tartarico	Hidróxido de sodio o potasio < 10 %	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Nitrato de zinc Cromato de sodio

ACI 318 dedica un capítulo al tema durabilidad, tratando específicamente los temas de ciclo hielo-deshielo, ataque por sulfatos y corrosión de armaduras. Respecto el tema de ciclo hielo-deshielo entrega una tabla de contenido mínimos de aire incorporado y otras recomendaciones contenidas en tabla N° 4. Respecto al tema de ataque por sulfatos indica algo similar a la NCh 170 (tabla N° 2), pero incluyendo tipos de cemento. Del tema corrosión de armadura indica contenidos de cloruros en el hormigón (tabla N° 5) y lo indicado en tabla N° 4. Respecto al contenido de sulfatos en los áridos la ASTM C-33 no hace mención alguna.

**Tabla N° 4. Relaciones W/C para diversas condiciones de exposición.**

<b>Condición de exposición</b>	<b>Hormigón con agregado de peso normal: razón máxima agua/cemento en peso</b>	<b>Hormigón con agregado normal y ligero. <math>f_c</math> mínima. MPa</b>
Hormigón que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua	0.50	28
Hormigón expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda ó a productos químicos descongelantes.	0.45	31
Para proteger de la corrosión a la armadura en el hormigón expuesto a cloruros de sales descongelantes, sal, agua salobre, o salpicadura del mismo origen.	0.40	35

**Tabla N° 5. Recomendación de cloruros ACI**

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Ion cloruro soluble en agua en el concreto, % del peso del cemento</b>
Concreto pretensado	0,06
Concreto armado expuesto a cloruros en su servicio	0,15
Concreto armado que estará seco o protegido durante su servicio	1,00
Otra construcción de concreto armado	0,30

### **3.3 Recomendaciones de durabilidad del EHE.**

La instrucción de hormigón estructural Española, aprobada el año 1999, le da mayor importancia al tema durabilidad. Esta recomendación incorpora bases de calculo de proyecto orientadas a la durabilidad, obligando a definir el tipo de ambiente mediante las clases generales y específicas de exposición. Estas se muestran en las tablas N° 6, 7 y 8.

Respecto a los materiales para confeccionar hormigón expone consideraciones relacionadas con la durabilidad en el cemento, áridos y agua. Respecto a la corrosión indica que el contenido de cloruros en los áridos (referido al peso seco) para hormigón armado será máximo 0.05 % y 0,03 % para hormigón pretensado. Además se deberá cumplir que el contenido de cloruros en el hormigón armado no sea superior a 0,4 % del peso del cemento y no mayor de 0,2 % en el caso del hormigón pretensado. En relación al contenido de sulfatos solubles en ácido en los áridos indica un valor máximo de 0,8 % expresado en SO<sub>3</sub> referido al árido seco.

Presenta un capítulo completo referido al la durabilidad. Indica que una estructura durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura.

**Tabla N° 6. Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras**

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso	
no agresiva		I	Ninguno	- interiores de edificios, no sometidos a condensaciones - elementos de hormigón en masa
normal	humedad alta	Ila	corrosión de origen diferente de los cloruros	- interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones - exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. - elementos enterrados o sumergidos.
	humedad media	IIb	corrosión de origen diferente de los cloruros	- exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm
Marina	aérea	IIIa	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar - elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km)
	sumergida	IIIb	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar
	en zona de mareas	IIIc	corrosión por cloruros	- elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas
con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	corrosión por cloruros	- instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino - superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas.

**Tabla N° 7. Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión**

CLASE ESPECÍFICA DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso	
Química Agresiva	débil	Qa	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (ver Tabla N° 8)
	media	Qb	ataque químico	- elementos en contacto con agua de mar - elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (ver Tabla N° 8)
	fuerte	Qc	ataque químico	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (ver Tabla N° 8)
con heladas	sin sales fundentes	H	ataque hielodeshielo	- elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C
	con sales fundentes	F	ataque por sales fundentes	- elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0°C
erosión		E	abrasión cavitación	- elementos sometidos a desgaste superficial - elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor del agua

**Tabla N° 8. Clasificación de la agresividad química**

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS	TIPO DE EXPOSICIÓN		
		Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	VALOR DEL pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> AGRESIVO (mg CO <sub>2</sub> / l)	15 - 40	40 - 100	> 100
	IÓN AMONIO (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / l)	15 - 30	30 - 60	> 60
	IÓN MAGNESIO (mg Mg <sub>2+</sub> / l)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / l)	200 - 600	600 - 3000	> 3000
	RESIDUO SECO (mg / l)	75 – 150	50 – 75	<50
SUELO	GRADO DE ACIDEZ BAUMANN GULLY	> 20	(*)	(*)
	IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / kg de suelo seco)	2000 - 3000	3000-12000	> 12000

(\*) Estas condiciones no se dan en la práctica

En el proyecto se debe incluir una estrategia de durabilidad. En la memoria, se justificará la selección de las clases de exposición consideradas para la estructura. Así mismo, en los planos se reflejará el tipo de ambiente para el que se ha proyectado cada elemento. En la fase de ejecución las especificaciones relativas a la durabilidad deberán cumplirse en su totalidad durante la fase de ejecución.

La estrategia de durabilidad incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

- a) Selección de formas estructurales adecuadas.
- b) Consecución de una calidad adecuada del hormigón y, en especial de su capa exterior. Por un hormigón de calidad adecuada se entiende aquel que cumpla las siguientes condiciones: Selección adecuada de materias primas, Dosificación adecuada, Puesta en obra correcta, Curado del hormigón, Resistencia acorde con

el comportamiento estructural esperado y congruente con los requisitos de durabilidad.

c) Adopción de un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras. La recomendación da recubrimientos mínimos de acuerdo a la clasificación de agresividad de la estructura.

d) Control del valor máximo de abertura de fisura. Según tabla N° 9

e) Disposición de protecciones superficiales en el caso de ambientes muy agresivos.

f) Adopción de medidas contra la corrosión de las armaduras.

**Tabla N° 9 Abertura máxima de fisuras para diferentes ambientes**

Clase de exposición	Abertura máxima de fisura, mm	
	Hormigón armado	Hormigón pretensado
I	0,4	0,2
IIa , IIb , H	0,3	0,2
IIIa, IIIb, IV, F	0,2	Descompresión
IIIc, Qa, Qb, Qc	0,1	

Para conseguir una durabilidad adecuada del hormigón se deben cumplir los siguientes requisitos de dosificación y comportamiento del hormigón:

a) Requisitos generales: Máxima relación agua/cemento y contenido mínimo de cemento (ver tabla N° 10), en función de las clases de exposición a las que vaya a estar sometido el hormigón. En el caso particular de que se utilicen adiciones en la fabricación del hormigón, se podrá tener en cuenta su empleo a los efectos del cálculo del contenido de cemento y de la relación agua/cemento. A tales efectos, se sustituirá el contenido de cemento  $C$  ( $\text{kg/m}^3$ ) por  $C+K \cdot F$ , así como la relación  $A/C$  por  $A/(C+K \cdot F)$  siendo  $F$  ( $\text{kg/m}^3$ ) el contenido de adición y  $K$  el coeficiente de eficacia de la misma. En el caso de las cenizas volantes, se tomará un valor de  $K$  no superior a 0,30. Se podrá admitir un valor de  $K$  superior al indicado, pero no mayor de 0,40 en el caso de edificación o de 0,50 en el caso de obras públicas. En el caso del humo de sílice, se tomará un valor de  $K$  no superior a 2, excepto en el caso de hormigones con relación agua/cemento mayor que 0,45 que vayan a estar

sometidos a clases de exposición H ó F en cuyo caso para K se tomará un valor igual a 1. Una constatación experimental, de carácter indirecto, del cumplimiento de los requisitos de contenido mínimo de cemento y de relación máxima agua/cemento, se lleva a cabo comprobando la impermeabilidad al agua del hormigón, mediante el método de determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión. Se deberá realizar cuando las clases generales de exposición sean III ó IV, o cuando el ambiente presente cualquier clase específica de exposición. Un hormigón se considera suficientemente impermeable al agua si los resultados del ensayo de penetración de agua cumplen simultáneamente que: La profundidad máxima de penetración de agua sea menor o igual que 50 mm y la profundidad media de penetración de agua sea menor o igual que 30 mm.

b) Requisitos adicionales:

- Mínimo contenido de aire ocluido en exposición tipo F, se deberá introducir un contenido mínimo de aire ocluido del 4,5%.
- Utilización de un cemento resistente a los sulfatos, cuando el 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.
- Utilización de un cemento resistente al agua de mar, en el caso de que un elemento estructural esté sometido a un ambiente que incluya una clase general del tipo IIIb ó IIIc.
- Resistencia frente a la erosión, cuando corresponda.
- Resistencia frente a las reacciones álcali-árido.

**Tabla N° 10 Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento**

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	Clase de exposición												
		I	Ila	Ilb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima	masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
Relación a/c	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )	masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

### **3.4 Comparación entre recomendaciones.**

Antes de realizar algunas comparaciones debemos dejar en claro que las recomendaciones expuestas anteriormente (puntos 3.1, 3.2 y 3.3) son documentos con distintos formatos y alcances.

Tanto las recomendaciones ACI como la EHE tratan con profundidad el tema de durabilidad. Los dos incorporan el tema explícitamente desde el proyecto. En las normas chilenas aunque esta implícito, el tema se relega en parte, al anexo G de la NCh 170. En el preámbulo de la norma se indica que el anexo G “Recomendaciones para hormigonado en ambiente agresivo” se inserta solo a título informativo. Además no queda explícito en las normas de Hormigón Armado. Varios factores contribuyen a que en algunas ocasiones, no se consideren en Chile especificaciones de durabilidad en obras, que por sus características las requieren.

La recomendación EHE entrega un procedimiento para clasificar obras, que obliga a considerar siempre desde el proyecto, el tema durabilidad en las estructuras de hormigón. Esta clasificación esta ligada a varias especificaciones, tanto de materiales como de hormigón (dosis mínimas , relación agua/cemento y otras).

Todas las recomendaciones analizadas se refieren a la relación agua/cemento como especificación importante de durabilidad en el hormigón. Esto se debe a que la relación agua/cemento influye en la impermeabilidad del hormigón y de esta última depende (entre otros aspectos) su capacidad para resistir ambientes agresivos. La EHE en algunas ocasiones pide confirmar el comportamiento del hormigón, para las relaciones agua/cemento máximas entregadas, realizando ensayos de impermeabilidad. Tanto la ACI como la EHE especifican tipos de cementos para diferentes ambientes, la norma chilena NCh 170, en su anexo G, se refiere “al empleo de cementos adecuados”.

En cuanto al contenido de cloruros en el hormigón ACI y EHE coinciden en especificar cloruros en el hormigón en relación a la cantidad de cemento. Lo que asegura una restricción mayor de cloruros en hormigones de peor calidad. La norma chilena tiene cantidades fijas independiente de la calidad del hormigón.

En el contenido de sulfatos especificados en el hormigón fresco hay diferencias. ACI no especifica sulfatos en los áridos (ASTM C –33), EHE especifica contenidos de 0,8 % de SO<sub>3</sub> solubles en ácidos y la NCh 163 recomienda 0,6 kg por m<sup>3</sup> de SO<sub>4</sub> soluble en agua.

#### **4.- Conclusión.**

En general ACI y EHE entregan suficientes antecedentes para poder especificar, ejecutar y estimar los cuidados posteriores de las estructuras de hormigón. Se evidencia que la normativa chilena requiere de una modernización tendiente a una mayor y mejor aplicación de los conocimientos actuales acerca de durabilidad tanto en el proyecto, en la ejecución y en el uso de las estructuras de hormigón. Sin embargo independiente del mejoramiento que se puede realizar en las normas chilenas en el tema de durabilidad, en Chile se debería pensar en implementar un código de hormigón propio o adoptar uno extranjero, en el que se trate extensamente el tema, como complemento a lo indicado de en las normas chilenas del INN .

#### **5.- Bibliografía.**

- Normas Chilenas INN
- ACI Manual of Concrete Practice, 1999
- Instrucción de Hormigón Estructural, EHE, Ministerio de Fomento Español, 2002
- La corrosión del hormigón y su protección, Imre Biczok, 1972.