

# LA DURABILIDAD DEL HORMIGON EN LAS NORMAS USADAS EN CHILE Y SUS IMPLICANCIAS PARA LOS **DIVERSOS** ACTORES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

**HUGO BARRERA VALDES**

INGENIERO CIVIL

Presidente Ejecutivo de ERRE Ingeniería Ltda.

MMXVII |

# OBJETIVOS

- Los objetivos generales se refieren a presentar los requisitos de durabilidad incluidos en las recientes actualizaciones de las normas que se usan en Chile y las obligaciones que emanan de ellos, para todos los actores del proceso constructivo.
- Los objetivos específicos apuntan a detallar las disposiciones de ambas normas y a aclarar las diferencias entre ellas

# DEFINICIONES (ACI 116)

- La **durabilidad** del hormigón es: “Su capacidad de resistir la acción de los agentes meteorológicos, ataques químicos, abrasión y otras condiciones de servicio”.
- La **vida útil de una estructura**, que la define como: “El período de tiempo en el cual ella realiza su función, sin mantenimiento o reparación imprevista o extraordinaria”.

Diseño de la Estructura

Materiales adecuados

Buenas Prácticas Constructivas

Excelente Curado

Exposición en Servicio

## ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO

Mecanismos de Transporte

Agresores del Medio

## COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Deterioro del Concreto

Deterioro del Acero

Físico

Químico y Biológico

Corrosión

Disminución de resistencia

Daño de la condición superficial

Pérdida de Rigidez

Disminución de la Estabilidad

Aspecto

Pérdida de Funcionalidad

# EJEMPLO DE DAÑOS EN ESTRUCTURA

Balcón en comuna de Providencia de Santiago,  
con daños por carbonatación del hormigón



# EJEMPLO DE INACCION

- Balcón . Foto 2006



- Foto 2018



# EJEMPLO DE SITUACION EXTREMA

- Losa en edificio comuna Lo Prado



# NORMAS USADAS EN CHILE

- CODIGO ACI 318-14 530 páginas  
Capítulo 19 Requisitos de diseño y durabilidad  
11 páginas
- NORMA CHILENA NCh 170- 2016 37 páginas  
Cláusula 6. Requisitos por durabilidad  
6 páginas



# CONDICIONES DE EXPOSICION

## CLASIFICACION

Criterio

ACI

NCh

Agentes

CATEGORIAS

no las denomina

Agresores

DE EXPOSICION

F, S, W, C

F, S, P, C

Severidad

CLASES DE  
EXPOSICION

GRADOS DE  
EXPOSICION

0 a 3

0 a 3

# CATEGORIAS DE EXPOSICION ACI

- Categoría de Exposición F: Aplica a hormigón exterior, expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo, con o sin productos químicos descongelantes.
- Categoría de Exposición S: Aplica para hormigón en contacto con suelo o agua que contengan cantidades perjudiciales de iones sulfatos solubles en agua.
- Categoría de Exposición W: Aplica para hormigón en contacto con agua, pero no está expuesto a congelamiento y deshielo, cloruros o sulfatos.
- Categoría de Exposición C: Aplica para hormigón no preesforzado y preesforzado expuesto a condiciones que requieren protección adicional del refuerzo contra la corrosión

# CLASES (ACI) Y GRADOS (NCh) DE EXPOSICION

ver el documento

Son sensiblemente iguales en  
ambas nomas  
excepto

# LA CORROSION DE ARMADURAS

- ACI no establece requisitos para la carbonatación. Sólo para la corrosión por cloruros.
- La NCh los establece, en el Grado C1 destinando el Grado C2 a los cloruros subdividiéndolo en 3 Grados: A,B y C.

# TABLAS DE REQUISITOS

- El ACI los resume en sólo 2 Tablas: una para las definiciones y la otra, para los requisitos.
- La NCh ocupa 8 Tablas
- Primero, clasifica las agresiones según su origen, en interno y externo. 1 Tabla
- Para las de origen externo (equivalen al ACI), ocupa 7 Tablas entre definiciones y requisitos.

# TABLAS DEL ACI

**Tabla 19.3.1.1 — Categorías y clases de exposición**

Categoría	Clase	Condición	
Congelamiento y deshielo (F)	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto frecuente con la humedad	
	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto frecuente con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
Sulfato (S)		Sulfatos solubles en agua ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en el suelo, % en masa <sup>[1]</sup>	Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) disuelto en agua, ppm <sup>[2]</sup>
	S0	$\text{SO}_4^{2-} < 0.10$	$\text{SO}_4^{2-} < 150$
	S1	$0.10 \leq \text{SO}_4^{2-} < 0.20$	$150 \leq \text{SO}_4^{2-} < 1500$ o agua marina
	S2	$0.20 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 2.00$	$1500 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 10000$
	S3	$\text{SO}_4^{2-} > 2.00$	$\text{SO}_4^{2-} > 10000$
En contacto con el agua (W)	W0	Concreto seco en servicio Concreto en contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	W1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
Protección del refuerzo para la corrosión (C)	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

El porcentaje en masa de sulfato en el suelo debe determinarse por medio de la norma ASTM C1580.

La concentración de sulfatos disueltos en agua en partes por millón debe determinarse por medio de la norma ASTM D516 ó la norma ASTM D4130.

# TABLAS ACI

de cemento independientemente de la exposición.

Tabla 19.3.2.1 — Requisitos para el concreto según la clase de exposición

Clase de Exposición	Relación $a/mc$ máx. <sup>[1]</sup>	$f'_c$ Mínimo MPa	Requisitos mínimos adicionales			Límites en los Materiales cementantes
			Contenido de aire			
F0	N/A	17	N/A			N/A
F1	0.55	24	Tabla 19.3.3.1			N/A
F2	0.45	31	Tabla 19.3.3.1			N/A
F3	0.40 <sup>[2]</sup>	35 <sup>[2]</sup>	Tabla 19.3.3.1			26.4.2.2(b)
			Tipos de material cementante <sup>[3]</sup>			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C 150M	ASTM C 595M	ASTM C 1157M	
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.50	28	II <sup>[4]</sup> /I <sup>[5]</sup>	Tipos IP, IS o IT con designación (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.45	31	V <sup>[5]</sup>	Tipos IP, IS o IT con designación (HS)	HS	No se permite
S3	0.45	31	V más puzolanas o cemento de escoria <sup>[6]</sup>	Tipos IP, IS o IT con designación (HS) más puzolanas o escoria <sup>[6]</sup>	HS más puzolanas o escoria <sup>[6]</sup>	No se permite
W0	N/A	17	Ninguna			
W1	0.50	28	Ninguna			
			Contenido máximo de iones de cloruro (Cl) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento <sup>[7]</sup>		Requisitos adicionales	
			Concreto no preesforzado	Concreto preesforzado		
C0	N/A	17	1.00	0.06	Ninguno	
C1	N/A	17	0.30	0.06		
C2	0.40	35	0.15	0.06	Recubrimiento de concreto <sup>[8]</sup>	

<sup>[1]</sup> Los límites para la máxima relación  $a/mc$  en la Tabla 19.3.2.1 no aplican a concreto liviano.

<sup>[2]</sup> Para concreto simple, la máxima  $a/mc$  debe ser 0.45 y el mínimo  $f'_c$  debe ser 31 MPa.

<sup>[3]</sup> Las combinaciones alternativas de materiales cementantes de la Tabla 19.3.2.1 se permiten cuando se ensayen para resistencia a los sulfatos y en el cumplimiento de 26.4.2.2(c).

<sup>[4]</sup> Para exposición a agua marina, se permiten otros tipos de cemento pórtland con aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) hasta de 10 por ciento si la relación  $a/mc$  no excede 0.40.

<sup>[5]</sup> Se permiten otros tipos disponibles de cemento tales como Tipo I o Tipo III en las Clases Exposición S1 ó S2 si el contenido de C<sub>3</sub>A es menos del 8 por ciento en la Clase de Exposición S1 ó menos de 5 por ciento en la Clase de Exposición S2.

<sup>[6]</sup> La cantidad a usar de la fuente específica de puzolanas o cemento de escoria debe ser al menos la cantidad que se haya determinado por medio del registro de servicio para mejorar la resistencia a los sulfatos cuando se utilice en concreto que contenga cemento Tipo V. Alternativamente, la cantidad a usar de la fuente específica de puzolanas o cemento de escoria debe ser al menos la cantidad que se haya determinado por medio del ensayos de la mezcla hechos cumpliendo la norma ASTM C1012M y de acuerdo con el criterio dado en 26.4.2.2(c).

<sup>[7]</sup> El contenido de ion cloruro soluble en agua que contribuyen los ingredientes incluyendo el agua, agregados, materiales cementantes y aditivos debe determinarse en la mezcla de concreto por medio de la norma ASTM C1218M a una edad entre 28 y 42 días.

<sup>[8]</sup> El recubrimiento de concreto debe cumplir con 26.4.

# TABLAS NORMAS CHILENAS

Tabla 3 – Contenido máximo de iones cloruro solubles en el hormigón

Tipo de hormigón	Contenido iones cloruro (Cl <sup>-</sup> ) solubles en agua kg Cl <sup>-</sup> /m <sup>3</sup> de hormigón
Hormigón reforzado y hormigón en masa que contenga armadura	1,20
Hormigón pretensado	0,25

NOTA Para cuantificar el contenido de iones cloruro, se debe considerar el aporte de todos los constituyentes considerados en 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

Tabla 4 – Requisitos del hormigón sometido a la acción de congelación y deshielo

Grado de exposición		Mínimo grado de resistencia especificado MPa	Aire total %	Tamaño máximo nominal del árido, D <sub>n</sub> mm
F0	Hormigón no expuesto a congelación y deshielo	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción
F1	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y ocasionalmente expuesto a humedad	G30	6,0	10
			5,0	20
			4,5	40
F2	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad	G30	7,5	10
			6,0	20
			5,5	40
F3	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad y expuesto a	G35	7,5	10
			6,0	20



# SULFATOS NCh

Tabla 5 – Grados de exposición por sulfatos

Grado		Contenido máximo SO <sub>4</sub>	
		Soluble en el suelo % en peso	Disuelto en agua ppm
S0	No agresivo	< 0,10	< 150
S1	Moderada	$0,10 \leq SO_4 < 0,20$	$150 \leq SO_4 < 1\ 500$ Agua de mar
S2	Severa	$0,20 \leq SO_4 \leq 2,00$	$1\ 500 \leq SO_4 \leq 10\ 000$
S3	Muy severa	$SO_4 > 2,00$	$SO_4 > 10\ 000$

Tabla 6 – Requisitos del cemento para el hormigón en contacto con sulfatos

Grado de exposición	Requisitos del cemento <sup>1)</sup>	
	Porcentaje de expansión, según ASTM C 1012	Contenido C <sub>3</sub> A en el cemento %
S0	sin restricción	sin restricción
S1	0,10 a 6 meses	≤ 8
S2	0,05 a 6 meses <sup>2)</sup>	≤ 6
S3	0,05 a 6 meses <sup>2)</sup>	≤ 5

1) El cemento utilizado debe cumplir con al menos uno de los dos requisitos indicados según el grado de exposición.

2) En caso que el cemento no cumpla el requisito de expansión a 6 meses, se puede utilizar siempre que la expansión

# SULFATOS Y BAJA PERMEABILIDAD

Tabla 7 – Requisitos del hormigón en contacto con sulfatos

Grado de exposición	Mínimo grado de resistencia especificada	Dosis mínima de cemento kg/m <sup>3</sup>	Profundidad de penetración de agua, según NCh2262 mm
S0	G17	-	-
S1	G25	320	≤ 40
S2	G30	340	≤ 30
S3	G35	360	≤ 20

NOTA 1 Para el grado de exposición S0 la dosis mínima de cemento es la establecida en 6.2.4

NOTA 2 Para los grados de exposición S1, S2 y S3 se debe cumplir con el mínimo grado de resistencia especificada y con uno de los requisitos siguientes: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua.

Tabla 10 – Requisitos de profundidad de penetración de agua determinada según NCh2262

Exposición		Profundidad de penetración de agua mm
Grado	Condición	
P0	Hormigón en ambiente seco o en contacto con agua pero que no requiere baja permeabilidad	Sin restricción
P1	Hormigón en contacto con agua que requiere baja permeabilidad	≤ 40
P2	Hormigón en contacto con agua que requiere baja permeabilidad y existe posibilidad de ataque químico no considerado en subcláusulas anteriores	≤ 20

# CORROSION DE ARMADURAS

Tabla 8 – Grados exposición que provocan corrosión

Grado		Agente externo	Exposición en condiciones de servicio
C0	No agresivo	No aplica	Hormigón seco o protegido de la humedad ambiental
C1	Leve	CO <sub>2</sub>	Hormigón húmedo expuesto a altas concentraciones de CO <sub>2</sub>
C2-A	Moderado	Cloruro	Hormigón sumergido completamente en agua que contiene cloruro
C2-B	Severo	Cloruro	Hormigón húmedo expuesto a aire salino
C2-C	Muy severo	Cloruro	Hormigón expuesto a ciclos de humedad y a una fuente externa de cloruro proveniente de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen

Tabla 9 – Requisitos del hormigón según grado de exposición

Grado de exposición	Mínimo grado de resistencia especificado	Dosis mínima de cemento	Profundidad de penetración de agua, según NCh2262
	MPa	kg/m <sup>3</sup>	mm
C0	G17	-	-
C1	G17	270	≤ 50
C2-A	G20	300	≤ 40
C2-B	G25	330	≤ 30
C2-C	G35	360	≤ 20

NOTA 1 Para el grado de exposición C0 la dosis mínima de cemento es la establecida en 6.2.4.

# OBLIGACIONES PARA LOS ACTORES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

- INGENIERO PROYECTISTA
- CONSTRUCTOR
- PROVEEDOR DE HORMIGONES
- INSPECCION TECNICA
- LABORATORIOS DE CONTROL
- DIRECCION DE OBRAS MUNICIPALES

# OBLIGACIONES PARA EL INGENIERO PROYECTISTA

- Además de establecer el grado de resistencia mecánica especificada del hormigón y su fracción defectuosa, ambas habituales, la cláusula 5.2 de la NCh obliga a especificar el Tamaño máximo nominal del árido y el asentamiento de cono necesario.
- Respecto de la durabilidad, el proyectista estructural DEBE asignar los grados de exposición de acuerdo a la severidad a que estará expuesta la obra.
- Adicionalmente, al asignar al grado de exposición debe considerar si la obra necesita medidas especiales de protección para algunos elementos estructurales (6.2.1 y 2).
- En exposiciones a la acción de cloruros, al asignar el grado de exposición se debe considerar si se adoptarán medidas especiales de protección del hormigón (6.4.3.2).
- En la asignación del grado de exposición a agentes corrosivos, debe especificarse cuál será el requisito adicional a la mínima  $f'c$ . Esta puede disminuirse, en el caso señalado en Tabla 9 (6.4.3.3).

# OBLIGACIONES PARA EL CONSTRUCTOR

- Obviamente, TODAS las disposiciones de ambas normas son de cumplimiento inexcusable por parte del constructor en todas y cada una de las fases de toda obra de hormigón, sea simple o armado. Se entenderá que los requisitos normados son siempre los mínimos. El constructor deberá contratar con Laboratorios certificados, no sólo los ensayos de resistencia, sino también aquellos adicionales que se indican en los requisitos

# OBLIGACIONES PARA...

## **El proveedor de Hormigones**

Debe cumplir a cabalidad todos los requisitos presentados, sean referidos a calidad y/o cantidad de materiales, aditivos, aire incorporado, etc., según indique el requisito correspondiente.

- **Inspección Técnica**

Debe verificar y exigir el cumplimiento de todas las disposiciones de las normas.

- **Dirección de Obras Municipales**

be exigir el cumplimiento de las obligaciones del proyectista y debe revisar la Libreta de Obra y verificar que se hayan efectuado los ensayos correspondientes y se haya efectuado la evaluación estadística de la NCh 1998

# CONCLUSIONES

- **7.3 El proveedor de Hormigones**
- Debe cumplir a cabalidad todos los requisitos presentados, sean referidos a calidad y/o cantidad de materiales, aditivos, aire incorporado, etc., según indique el requisito correspondiente.
- **7.4 Inspección Técnica**
- Debe verificar y exigir el cumplimiento de todas las disposiciones de las normas.
- **7.5 Dirección de Obras Municipales**
- Debe exigir el cumplimiento de las obligaciones del proyectista y debe revisar la Libreta de Obra y verificar que se hayan efectuado los ensayos correspondientes y se haya efectuado la evaluación estadística de la NCh 1998



# CONCLUSIONES

- **8.1** La incorporación de los requisitos de durabilidad en la NCh es un gran y valioso aporte a la calidad y seguridad de las construcciones y al aumento de su vida útil.
- **8.2** La reorganización del Código ACI, destinando en la edición de 2014 un capítulo completo (19°) que compila disposiciones anteriormente dispersas y actualiza otras de acuerdo a recientes investigaciones., adicionando necesarios y extensos comentarios y útil bibliografía, es una ayuda inestimable al desarrollo del hormigón.
- Aun cuando el uso del ACI está prescrito por la NCh 430-2007, no es extensamente conocida y se espera que la repercusión que pudiere lograrse con este trabajo, sea de utilidad para la comunidad profesional.
- **8.3** La comparación entre ambas normas pone de manifiesto el pragmatismo del Código ACI, frente al enfoque más académico de la NCh. No obstante, ambas tienen similar enfoque y las diferencias están forzadas por el menor desarrollo tecnológico nacional, especialmente en materiales y equipamiento, correspondientes a un mercado más extenso y desarrollado.
- **8.4** La complementación de la exposición a agentes corrosivos, de la NCh, al incorporar la carbonatación, es una apuesta innovadora, motivada por las evidencias aportadas por los investigadores nacionales y se espera que ella sea recogida por un próximo ACI.
- **8.5** Las obligaciones para los actores del proceso constructivo que se resumen incluyen desde las más recientes y desconocidas hasta las más conocidas y casi obvias. Lo importante es que ellas sean cumplidas a cabalidad.
- **8.6** Tal como lo señala una escondida nota de la NCh, “el uso de materiales adecuados y una correcta dosificación de ellos, no son suficientes para garantizar, por sí solos, un hormigón durable”.