



Normas y Códigos Prescriptivos vs Prestacionales, Tendencias

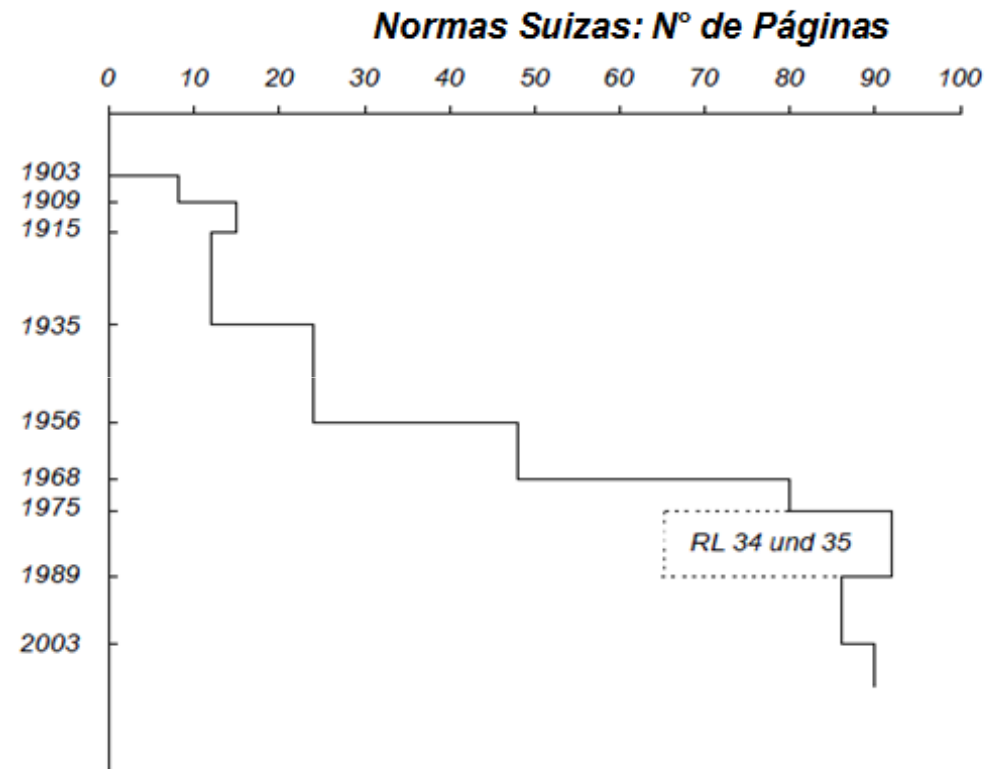
Roberto Torrent
Materials Advanced Services SRL
Buenos Aires, Argentina

torrent.concrete@gmail.com



Materials Advanced Services

www.m-a-s.com.ar



ACI 318: 471 pp



Temario

- Normas Prescriptivas y sus limitaciones (p.ej. EN 206-1 + Eurocode 2, ACI 318, NMX C403)
- Desmitificación de una vaca sagrada: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
- Iniciativas P2P (Prescriptivas a Prestacionales): NRMCA, ACI 329, RILEM 230-PSC, fib Task Group.
- Ejemplo Normas Suizas SIA 262 y 262/1
- Consecuencias para la Industria de la Construcción en Concreto

Norma Europea EN 206-1 – Clases de Exposición

1. Sin riesgo de corrosión o ataque

X0	Concreto simple, excepto congelación/deshielo o ataque químico. Concreto reforzado en ambiente muy seco
----	--

2. Corrosión inducida por carbonatación

Donde concreto reforzado está expuesto a aire y humedad

XC1, XC2, XC3, XC4	> riesgo para condiciones intermedias o cíclicas de humedad
--------------------	---

3. Corrosión inducida por cloruros no provenientes del agua de mar

Donde concreto reforzado está en contacto con agua conteniendo cloruros (incluyendo sales descongelantes), no provenientes de agua de mar

XD1, XD2, XD3	> riesgo para condiciones intermedias o cíclicas de humedad
---------------	---

4. Corrosión inducida por cloruros del agua de mar

Donde concreto reforzado esté en contacto con cloruros de agua de mar o aire marino

XS1, XS2, XS3	> riesgo para condiciones intermedias o cíclicas de humedad
---------------	---

5. Congelación y deshielo con o sin sales descongelantes

Donde el concreto húmedo está expuesto a ciclos significativos de hielo/deshielo

XF1, XF2, XF3, XF4	> riesgo para alta saturación y sales descongelantes/agua de mar
--------------------	--

6. Ataque químico

Donde el concreto está expuesto a ataque químico por suelos naturales y aguas

XA1, XA2, XA3	> riesgo para mayor concentración de sustancias agresivas
---------------	---

ACI 318 – Clases de Exposición

Nomenclatura	Descripción de la Exposición	Subclases
F	Congelación y deshielo	F0, F1, F2, F3
S	Sulfatos	S0, S1, S2, S3
C	Corrosión de Armaduras	C0, C1, C2
P	Baja Permeabilidad	P0, P1

Subclases con el número “0” indican que el ambiente no presenta riesgo de deterioro para ese tipo de agresión

Especificación por Durabilidad (EN201 + Eurocode 2)

Corrosión inducida por Carbonatación

Clase de Exposición	Descripción	$a/c_{\text{máx}}$ [-]	C_{min} [kg/m ³]	$f'c_{\text{min}}$ [MPa]	d_{min}^* [mm]
X0	Sin riesgo de corrosión	---	---	12	10
XC1	Seco o siempre húmedo	0.65	260	20	15
XC2	Húmedo, raramente seco	0.60	280	25	25
XC3	Moderada humedad	0.55	280	30	25
XC4	Ciclos húmedos y secos	0.50	300	30	30

* Estos recubrimientos mínimos corresponden a una vida en servicio esperada de 50 años. Para aumentarla, se aumenta el espesor. El valor nominal es el mínimo + 10 mm.

Especificación por Durabilidad (EN201 + Eurocode 2)

Corrosión inducida por Cloruros Marinos

Clase de Exposición	Descripción	$a/c_{\text{máx}}$ [-]	C_{min} [kg/m ³]	$f'c_{\text{min}}$ [MPa]	d_{min}^* [mm]
X0	Sin riesgo de corrosión	---	---	12	10
XS1	Expuesto a aire salino pero sin contacto con agua de mar	0.50	300	30	45
XS2	Permanentemente sumergido	0.45	320	35	45
XS3	Zona entre mareas, salpicaduras y rociado	0.45	340	35	45

* Estos recubrimientos mínimos corresponden a una vida en servicio esperada de 50 años. Para aumentarla, se aumenta el espesor. El valor nominal es el mínimo + 10 mm.

ACI 318:08 – Clases de Exposición

Category	Severity	Class	Condition	
F Freezing and thawing	Not applicable	F0	Concrete not exposed to freezing-and-thawing cycles	
	Moderate	F1	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles and occasional exposure to moisture	
	Severe	F2	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles and in continuous contact with moisture	
	Very severe	F3	Concrete exposed to freezing-and-thawing and in continuous contact with moisture and exposed to deicing chemicals	
S Sulfate			Water-soluble sulfate (SO₄) in soil, percent by weight	Dissolved sulfate (SO₄) in water, ppm
	Not applicable	S0	SO ₄ < 0.10	SO ₄ < 150
	Moderate	S1	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1500 Seawater
	Severe	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10,000
	Very severe	S3	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10,000
P Requiring low permeability	Not applicable	P0	In contact with water where low permeability is not required	
	Required	P1	In contact with water where low permeability is required.	
C Corrosion protection of reinforcement	Not applicable	C0	Concrete dry or protected from moisture	
	Moderate	C1	Concrete exposed to moisture but not to external sources of chlorides	
	Severe	C2	Concrete exposed to moisture and an external source of chlorides from deicing chemicals, salt, brackish water, seawater, or spray from these sources	

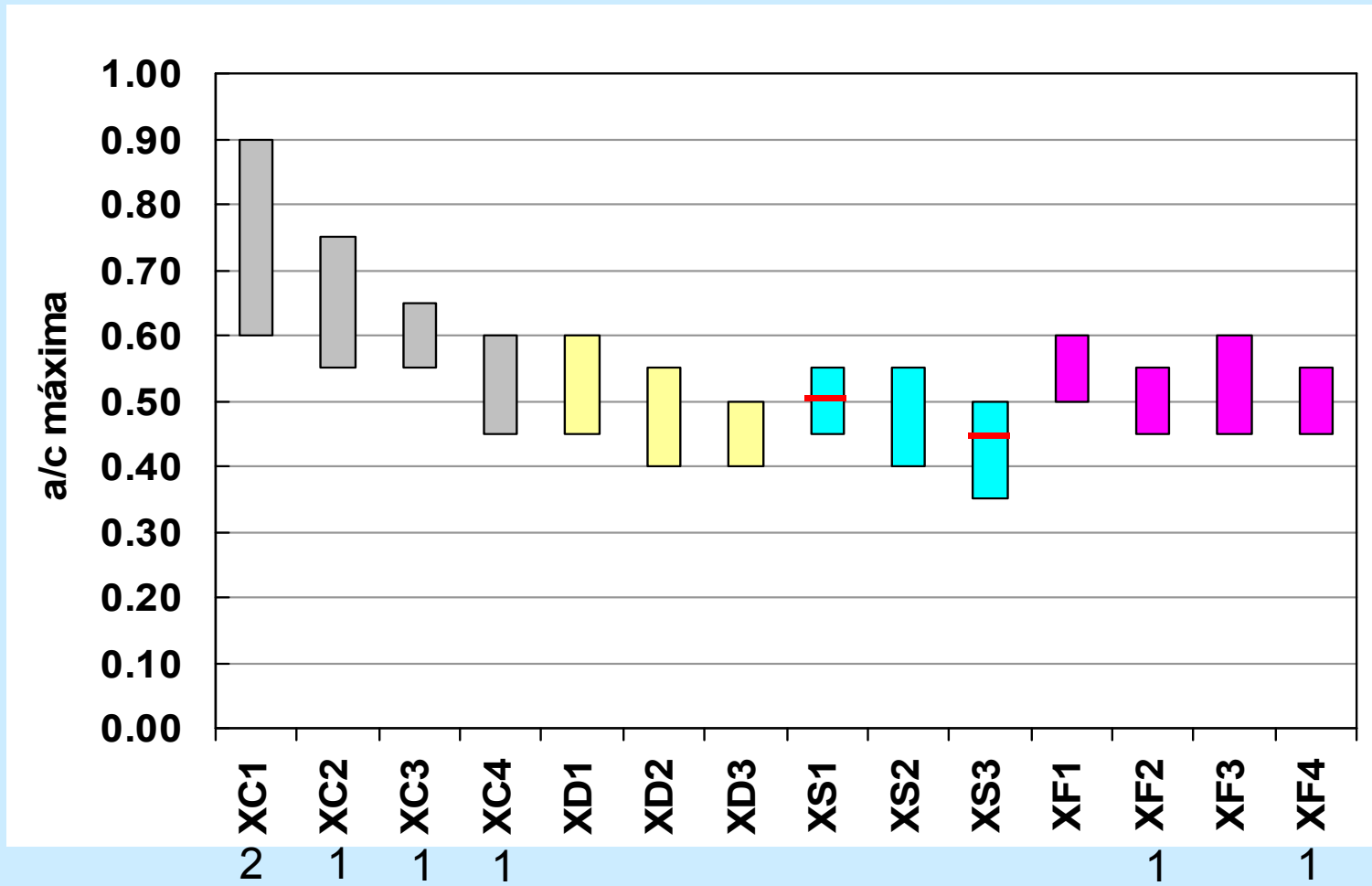
a/c _{máx} [-]	f'c _{min} [MPa]	d _{min} * [mm]
---	17.5	12.5 - 38
---	17.5	51 - 75
0.40	35.0	63 51 walls/slabs

Normas Prescriptivas: Análisis Crítico

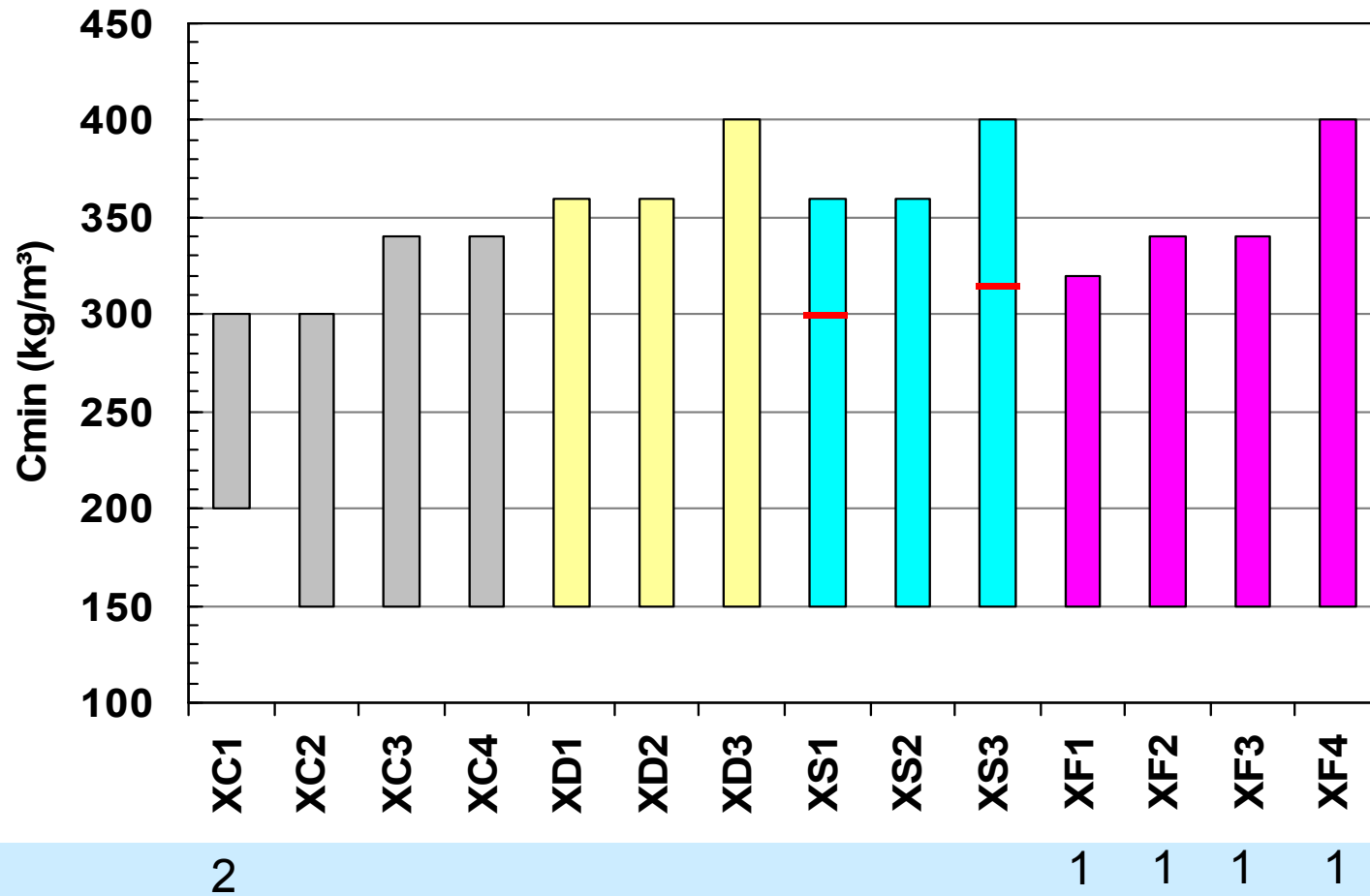
Requisitos prescriptivos para estructuras en ambiente marino según 3 normas de concreto: Norma Europea EN206-1, ACI 318, Norma Mexicana NMX C403.

Norma	a/cmax (kg/kg)	Cmin (kg/m ³)	f'cmin (MPa)	dmin (mm)	
EN	0.50	300	30	35	Costa XS1
EN	0.45	320	35	45	Mareas XS3
ACI	0.40	---	35	51-63	
NMX	0.55	300	30	70	

a/c_{máx} para distintos países EN206-1



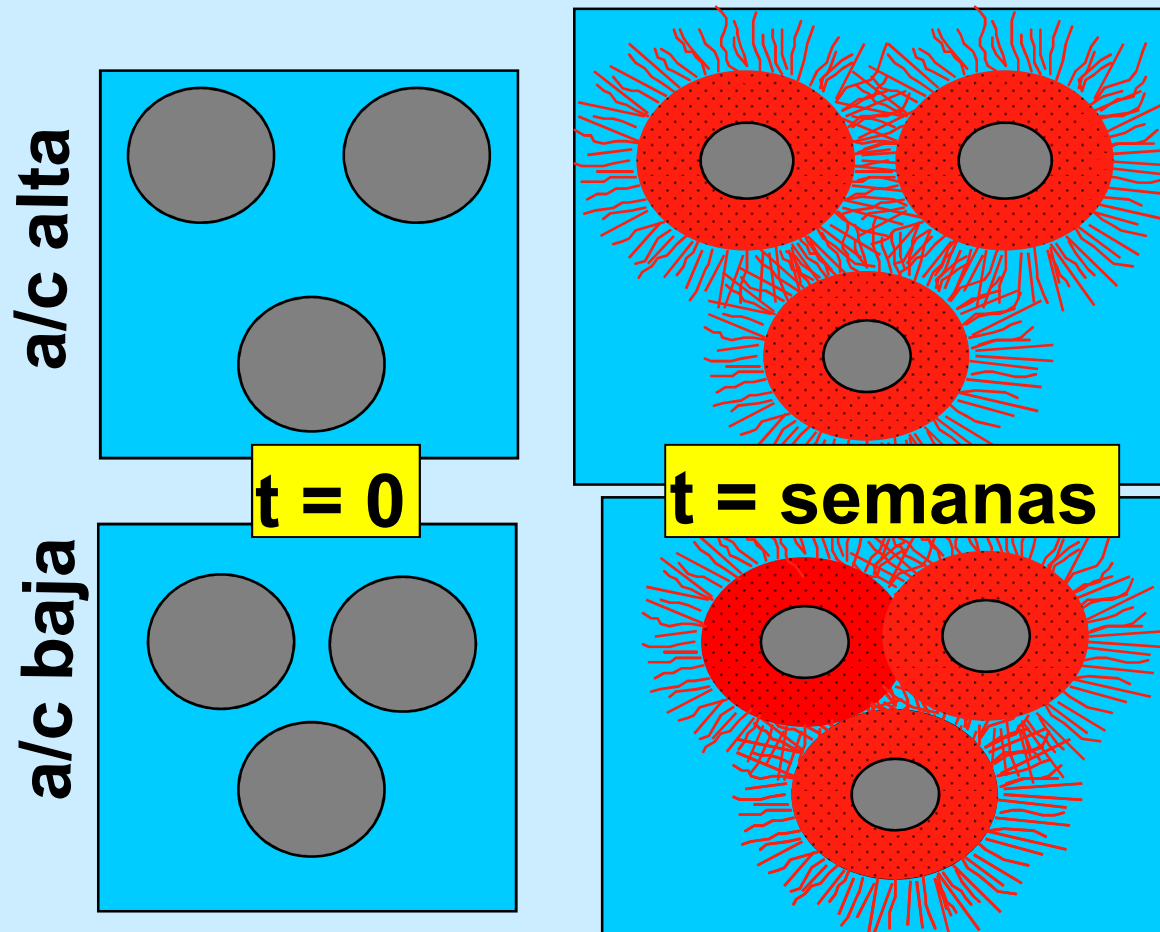
Mínimo Cemento para distintos países EN206-1



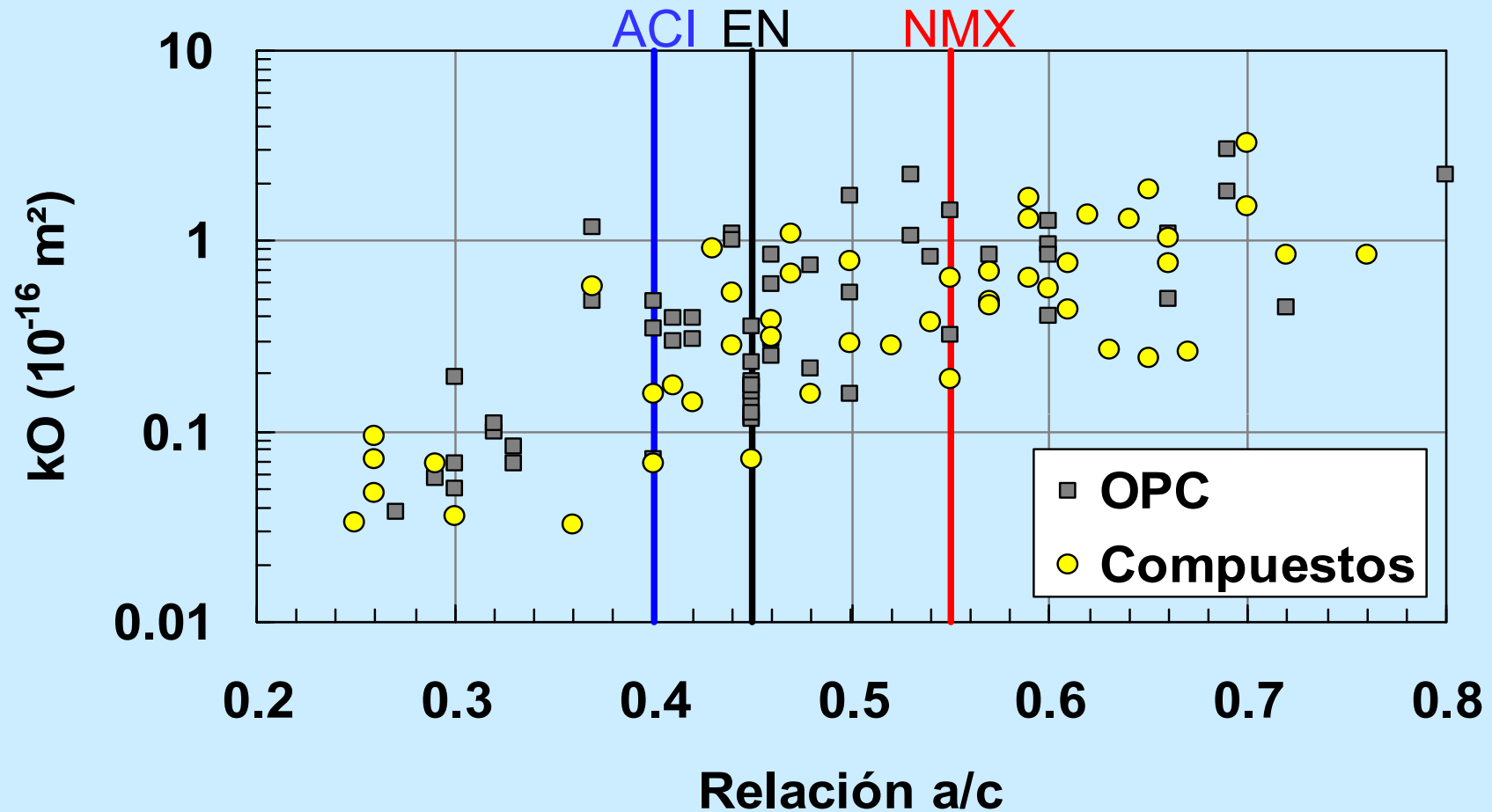
Temario

- Normas Prescriptivas y sus limitaciones (p.ej. EN 206-1 + Eurocode 2, ACI 318, NMX C403)
- Desmitificación de una vaca sagrada: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
- Iniciativas P2P (Prescriptivas a Prestacionales): NRMCA, ACI 329, RILEM 230-PSC, fib Task Group.
- Consecuencias para la Industria de la Construcción en Concreto

Porqué se usa la relación a/c como Indicador de Durabilidad?, qué mide?

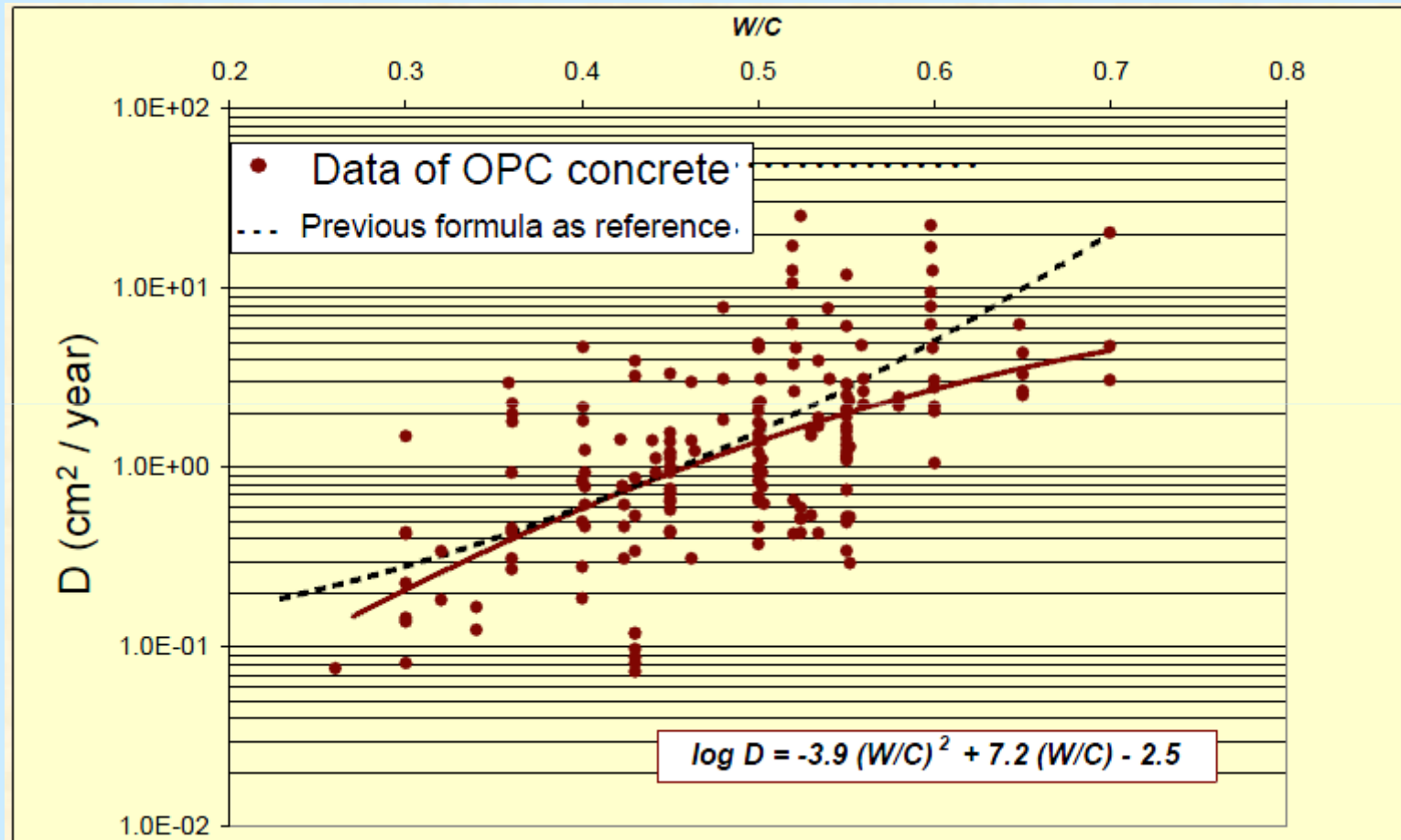


Permeabilidad al O₂ (kO) vs relación agua/cemento



Concretos hechos con los mismos agregados, en el laboratorio de Holcim Technology, con 7 días de curado húmedo

Difusión de Cl⁻ vs relación agua/cemento (JSCE)



Normas Prescriptivas: Análisis Crítico

- Son predominantemente arbitrarias

Norma	a/cmax (kg/kg)	Cmin (kg/m ³)	f'cmin (MPa)	dmin (mm)	
EN	0.50	300	30	35	Costa XS1
EN	0.45	320	35	45	Mareas XS3
ACI	0.40	---	35	51-63	
NMX	0.55	300	30	70	

- Dan pocas oportunidades para innovar y agregar valor
- Tratan al concreto y a los materiales componentes como *commodities*
- Cómo se controla la $a/c_{m\acute{a}x}$?; se cumple en la realidad?

¿Cómo se controla la conformidad con a/c_{\max} ?

EN 206-1:

1. Del protocolo de carga de la planta
2. Experimentalmente (no se dice cómo).
Hay un método en las Norma Suizas (SIA 262/1-H) para determinar el contenido de agua del concreto fresco



Se puede confiar en el protocolo de carga?

Ticket		Thursday, 12 February, 2009		Ordered 8.00m ³		Batched 8.00m ³	
Mix Code: 02-PC-305-PL		Route: Dry		Slump: 70mm		Wtr/Cem:0.440	
Type	Material	Moisture %	Target	Achieved	Error	% Error	
Aggregate	2/20 mm	0.00	8,152 kg	8,165 kg	13kg	0.16%	
	Sand	0.39	6,604 kg	6,601 kg	-3kg	-0.05%	26
Cement	OPC		2,440 kg	2,443 kg	3kg	0.10%	
Water	Recycled		1,331 ltr	1,049 ltr	-282ltr	-21.18%	1'049
Additive	WRDA90		14.64 ltr	14.66 ltr	0.02ltr	0.14%	
				Agua	1'075		

Humedad arena reportada = 0.39%

a/c reportada = $1'075 / 2'443 = 0.44$

Se puede confiar en el protocolo de carga?

Ticket		Thursday, 12 February, 2009		Ordered 8.00m ³		Batched 8.00m ³	
Mix Code: 02-PC-305-PL		Route: Dry		Slump: 70mm		Wtr/Cem:0.440	
						0.59	
Type	Material	Moisture %	Target	Achieved	Error	% Error	
Aggregate	2/20 mm	0.00	8,152 kg	8,165kg	13kg	0.16%	
	Sand	0.39	6,604 kg	6,601kg	-3kg	-0.05%	6
Cement	OPC		2,440 kg	2,443kg	3kg	0.10%	
Water	Recycled		1,331 ltr	1,049 ltr	-282ltr	-21.18%	1'049
Additive	WRDA90		14.64 ltr	14.66 ltr	0.02ltr	0.14%	
				Agua		1'445	

Humedad de la Arena: reportada = 0.39% → Real = 6%

a/c real = 1'445 / 2'443 = 0.59

a/c reportada = 0.44 → Real ~ 0.59 !!

¿Cómo se controla la conformidad con a/c_{\max} ?

ACI 318: a través de la resistencia!!!!

ACI 318 (R4.1.1.): *“Because it is difficult to accurately determine the w/cm of concrete, the $f'c$ specified should be reasonably consistent with the w/cm required for durability. Selection of an $f'c$ that is consistent with the maximum permitted w/cm for durability will help ensure that the maximum w/cm is not exceeded in the field.*

Limitaciones prácticas de la relación a/c como indicador de durabilidad

- No hay ningún método normalizado para medir la relación a/c del concreto
 - El contenido efectivo de agua registrado en el protocolo de carga es incierto:
 - ✓ eventual resto de agua de lavado no considerada
 - ✓ humedad de los agregados: registro \neq real
 - ✓ agua añadida para ajustar la consistencia, en planta o en obra, frecuentemente no registrada
- ¿Porqué toleramos la adición de agua en obra?**

Es virtualmente imposible controlar el cumplimiento de la a/c_{\max} especificada

Factores Vitales: Tratamiento Reglamentario

Recubrimiento	DISEÑO	PRACTICA	CONTROL
<p>Espeesor</p>	<p>Especific. de Recubrimien- to mínimo</p> <p>☺</p>	<p>Ubicación y fijación cuidadosa de las barras</p>	<p>Conformidad? (pachómetro)</p> <p>☹</p>
	<p>Especific. Prescriptiva (a/c max)</p> <p>☹</p>	<p>Producción de concreto</p> <p>Ejecución:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocac. • Compact. • Acabado • Desmolde • Curado 	<p>Relación a/c?</p> <p>☹</p> <p>Ensayos "in situ" de permeabilidad</p> <p>☹</p>

K = 'Penetrabilidad'

Calidad = K⁻¹

Factores Vitales: Tratamiento Reglamentario

Recubrimiento	DISEÑO	PRACTICA	CONTE
<p>Espesor</p>	<p>Especific. de Recubrimien- to mínimo</p> <p>☹️</p>	<p>Ubicación y fijación cuidadosa (metro)</p> <p>☹️</p>	<p>Relación a/c?</p> <p>☹️</p>
<p>Calidad = K^{-1}</p>	<p>Especifi- Pres</p> <p>☹️</p>	<p>de concreto</p> <p>Ejecución:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colado • Compact. • Acabado • Desmolde • Curado 	<p>Ensayos "in situ" de permeabilidad</p> <p>☹️</p>

SE REQUIERE UN CAMBIO!!

Temario

- Normas Prescriptivas y sus limitaciones (p.ej. EN 206-1 + Eurocode 2, ACI 318, NMX C403)
- Desmitificación de una vaca sagrada: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
- Iniciativas P2P (Prescriptivas a Prestacionales): NRMCA, ACI 329, RILEM 230-PSC, fib Task Group.
- Ejemplo Normas Suizas SIA 262 y 262/1
- Consecuencias para la Industria de la Construcción en Concreto

Durabilidad: Situación y Tendencia Normativa

- Hoy la mayoría de las normas de concreto siguen un enfoque prescriptivo para la durabilidad, fijando relaciones a/c máximas (a veces en combinación con contenidos mínimos de cemento)
- Se nota una tendencia hacia Especificaciones Basadas en el Desempeño (EBD), donde se establece una prestación mínima, en base a ensayos normalizados

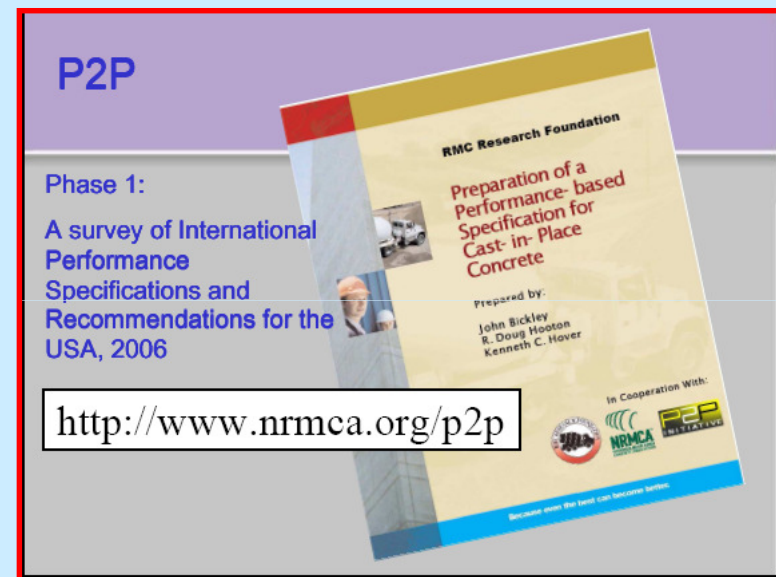
Situación y Tendencia Normativa

- Hay un creciente interés y demanda para materiales de construcción con una baja impronta ambiental, lo que pone en riesgo la competitividad del concreto frente a otras soluciones
- Concretos que cumplan con ensayos de desempeño con menor impronta ambiental (bajo contenido de CO₂, conteniendo agua y agregados reciclados, etc.) tendrán preferencia en el mercado
- Con mayor libertad, los productores podrán desarrollar mejores soluciones, optimizando los diseños de sus mezclas
- Se estima que estos cambios tendrán lugar en un plazo de 10 años
- Esto entraña desafíos, oportunidades y riesgos para los productores de concreto, cemento, agregados y aditivos

Situación y Tendencia Normativa

Varias organizaciones están promoviendo Normas y Especificaciones basadas en el Desempeño del Concreto:

- NRMCA: Enfoque P2P (Prescription to Performance)
- ACI 329: “Performance Criteria for Ready Mixed Concrete”
- RILEM: Comité Técnico 230-PSC “Performance-based Specification and Control of Durability”
- *fib* Task Group 8.10: “Performance based Specifications for Concrete”



Visión de la Industria del concreto en USA

El SDC reúne a la industria del concreto, junto con el gobierno, academia y clientes, para focalizarse en resolver conjuntamente problemas que generen avances relevantes en la tecnología. El resultado deberá ser un movimiento expeditivo hacia soluciones innovadoras, de uso comercial, a través de procesos normativos.

Algunos Miembros Industriales: Italcementi, BASF, Boral, Euclid, Heilderberg, Holcim (US), Lafarge NA, Mapei, Sika, Grace

“Concrete Sustainability: a Vision for Sustainable Construction with Concrete in North America” documento producido por y para la Industria del concreto, bajo el auspicio del Strategic Development Council.



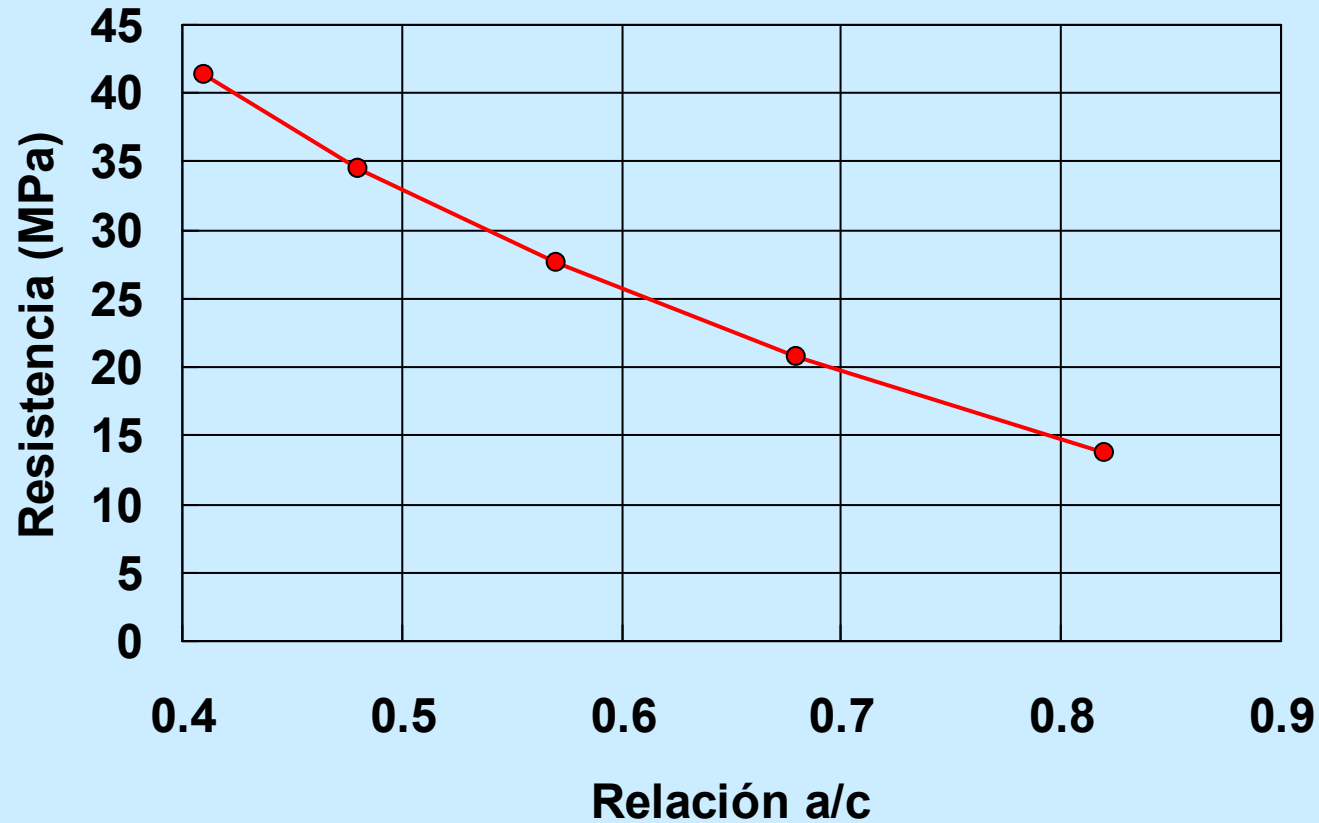
Visión de la Industria del concreto en USA

Objective 2020: Mejorar las características sustentables de las construcciones, a través del uso eficiente y efectivo del concreto en construcciones “verdes”, mejorando el diseño para extraer el máximo beneficio de los atributos del concreto y **adoptando especificaciones que faciliten la innovación en el diseño de productos.**

Meta: Trabajar para remover restricciones técnicas en los códigos de construcción, normas y especificaciones que puedan limitar al concreto y las construcciones en alcanzar su pleno potencial sustentable



Relación Resistencia vs a/c (ACI 211)



Porqué no especificamos $a/c_{\max} = 0.50$ para $f'c = 25$ MPa?

Porque acordamos un ensayo para $f'c$

El ensayo dista de ser perfecto, porque depende de:

- La esbeltez de la probeta (cilindro, cubo), muy diferente a la real
- El tamaño de la probeta, órdenes de magnitud menor que la real
- El material de encabezado de los cilindros, ausente en la realidad
- La velocidad de carga, mucho mayor que la real
- El contenido de humedad, muy superior al típico en la realidad

Y sin embargo, nos hemos acostumbrado a aceptar sus resultados como buen indicador de la resistencia, apto para ser usado en el diseño estructural.

Por ello, acordar sobre ensayo(s) adecuados de durabilidad es crucial en el tránsito P2P. Como veremos, esto se ha logrado en Suiza.

Métodos de Ensayo Normalizados para “Durabilidad”

Transporte	Estado	Duración	Método	Uso	Norma
Permeabilidad al O ₂	Estac.	1-5 horas	Cembureau	Lab	RILEM, España
Permeabilidad al Aire	Trans.	< 6 min	Torrent	Lab/Situ	SIA Suiza
Permeabilidad al H ₂ O	Trans.	4 días	Penetración de Agua	Lab	EN, España, Argentina
Succión Capilar	Trans.	1-7 días	Fagerlund	Lab	ASTM, SAfrica, RILEM SIA Suiza, IRAM
Succión Capilar	Trans.	2 horas	ISAT	Lab/Situ	BS
Difusión de Cl ⁻	Trans.	> 90 días	Ponding	Lab	AASHTO
Difusión de Cl ⁻	Trans.	> 35 días	Inmersión	Lab	NordTest, ASTM
Conductividad (RCPT)	Trans.	6 horas	Whiting	Lab	ASTM C1202, SAfrica
Migración de Cl ⁻	Trans.	24 horas	Tang y Nilsson	Lab	NordTest, SIA Suiza, AASHTO
Resistividad (Migración)	Estac.	< 2 min	Wenner	Lab/Situ	RILEM

Temario

- Normas Prescriptivas y sus limitaciones (p.ej. EN 206-1 + Eurocode 2, ACI 318, NMX C403)
- Desmitificación de una vaca sagrada: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
- Iniciativas P2P (Prescriptivas a Prestacionales): NRMCA, ACI 329, RILEM 230-PSC, fib Task Group.
- Ejemplo Normas Suizas SIA 262 y 262/1
- Consecuencias para la Industria de la Construcción en Concreto

Ejemplo de P2P: Normas Suizas

En 2003 Suiza adopta la Norma EN206-1 con sus propios requerimientos: 100% Prescriptiva

Año	Clase de Exposición	Carbonatación				Cloruros			
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2a	XD2b	XD3
2003	$f'_{c_{min}}$ (MPa)	25	25	25	30	25	25	30	30
	C_{min} (kg/m ³)	280	280	280	300	300	300	320	320
	a/c_{max}	0.65	0.65	0.60	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45

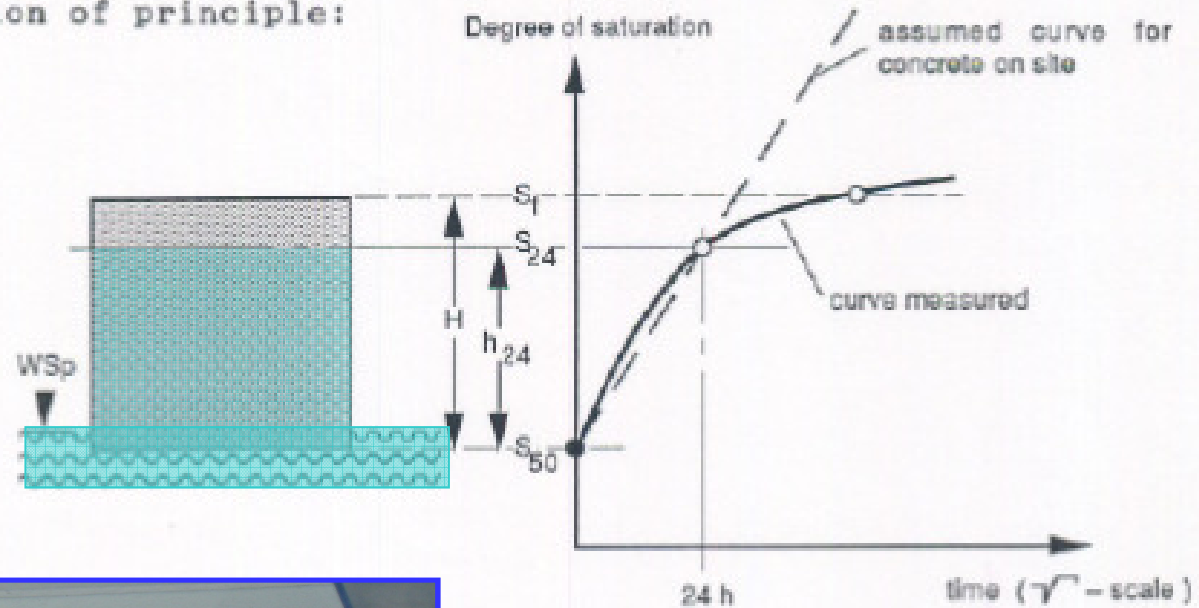
En 2003 Suiza también normaliza tres ensayos de desempeño para medir la 'Penetrabilidad':

- succión capilar y migración de cloruros en laboratorio
- permeabilidad al aire "in situ"

No se establecen límites a cumplir

Succión Capilar. Norma Suiza SIA 262/1A:2013

Illustration of principle:



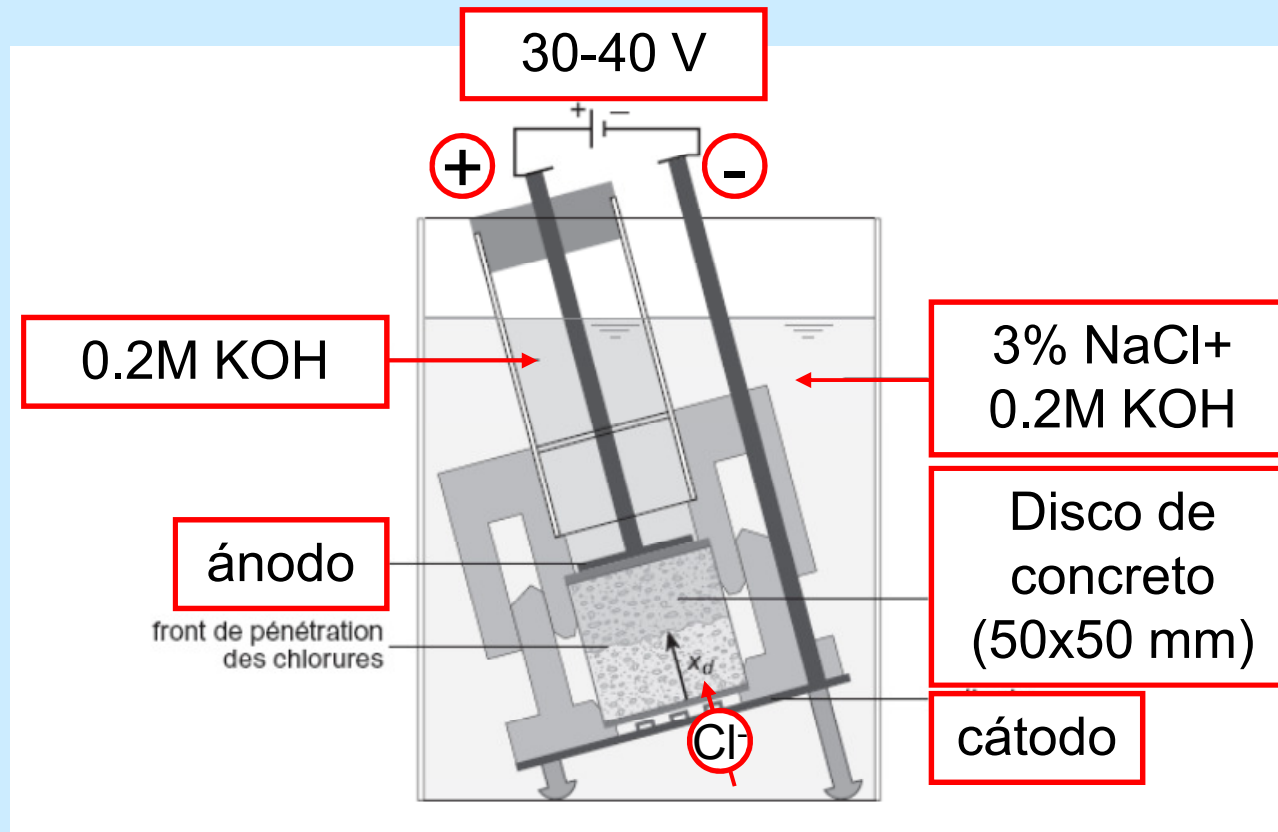
Disco calado de concreto (50x50 mm)



$$a_t = m_t / A / t^{0.5}$$

a_t = coeficiente de succión capilar ($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}^{0.5}$)

Migración de Cl^- , Norma Suiza SIA 262/1B:2013 (NordTest NT BUILD 492:1999)



Migración de Cl⁻, Norma Suiza SIA 262/1B:2003 (NordTest NT BUILD 492:1999)

- Después del ensayo (16 ó 24 h) se parte el disco mediante el ensayo brasileño y se aplica un reactivo a base de AgNO₃ para revelar la zona de la probeta penetrada por los Cl⁻ (x_d).
- El coeficiente de migración de cloruros D_{Cl} es, en función de x_d :

$$D_{Cl} = \frac{z}{t} (x_d - 1,5462 \sqrt{z x_d}) \quad [m^2/s]$$
$$\text{avec } z = 8,619 \cdot 10^{-5} \frac{hT}{U} \quad [m]$$

h= espesor del disco (m)

T= temperatura media de ambas soluciones durante el ensayo (°C)

U= valor medio del voltaje al inicio y al final del ensayo (V)

t = duración del ensayo (s)

Ejemplo de P2P: Normas Suizas

En 2008 Suiza fija límites a los ensayos de laboratorio, que deben ser cumplidos por los productores de hormigón, en base a programas de muestreo definidos

Año	Clase de Exposición	Carbonatación				Cloruros			
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2a	XD2b	XD3
2003	$f'_{c_{min}}$ (MPa)	25	25	25	30	25	25	30	30
	C_{min} (kg/m ³)	280	280	280	300	300	300	320	320
	a/c_{max}	0.65	0.65	0.60	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45
2008	$q_{w_{max}}$ (g/m ² .h) Succión Capilar	---	---	---	10	10	10	---	---
	$D_{Cl_{max}}$ (10 ⁻¹² m ² /s) Migración de Cl ⁻	---	---	---	---	---	---	10	10

Situación Normas Suizas en 2008

	PROYECTO	EJECUCION	CONTROL
<p>Calidad del Recubrimiento = K^{-1}</p> <p>K = Penetrabilidad</p>	<p>Especificación de Durabilidad: K_{max} Medido sobre probetas moldeadas</p> <p>☹️</p>	<p>Producción</p> <p>Ejecución: Colocación Compactación Acabado Curado</p>	<p>Ensayos de "K" sobre probetas moldeadas</p> <p>😊</p> <p>Inspección Visual</p> <p>☹️</p>

Norma Suiza SIA 262:2003

“Concrete Construction”

2.4 Durability

2.4.1 General

2.4.1.1 Measures for ensuring the durability shall be specified in the basis of design and in the maintenance plan.

2.4.1.2 With regard to durability, the quality of the cover concrete is of particular importance (see Section 6.4.2).

Respecto a la durabilidad, la calidad del concreto de recubrimiento es de particular importancia

Norma Suiza SIA 262:2003

“Concrete Construction”

§.4.2 Production of an impermeable cover concrete

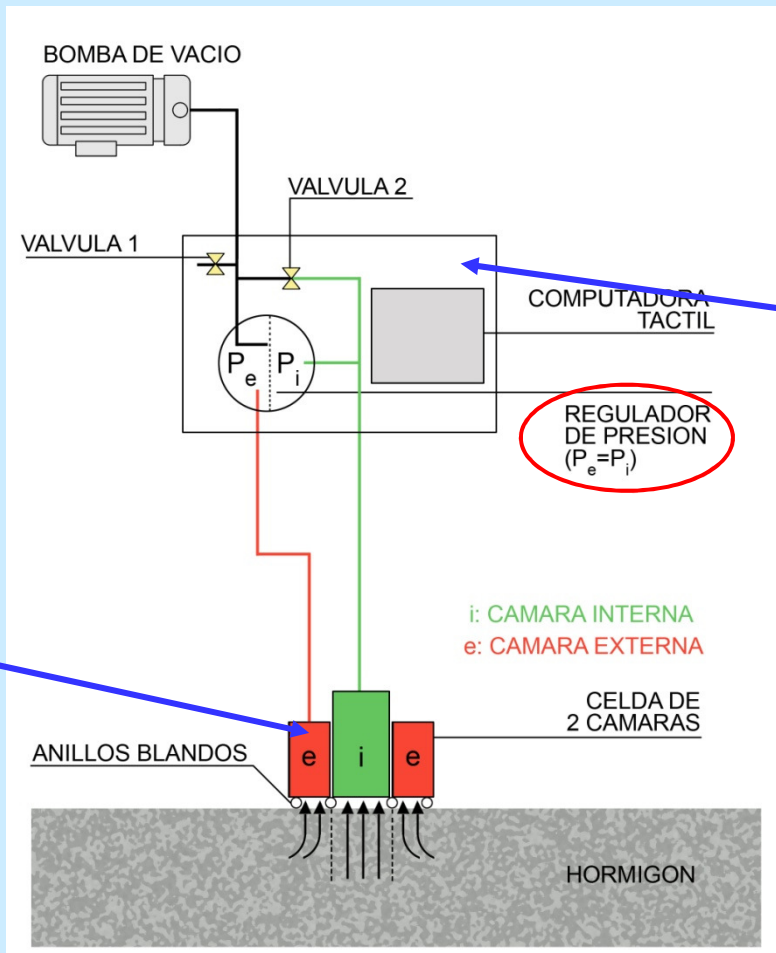
§.4.2.1 The quality of the cover concrete is influenced, among others, by the:

- composition of the concrete
- shape and dimensions of the structural member
- reinforcement content and the arrangement of the reinforcement
- type and pretreatment of the formwork
- type of processing of the concrete
- duration and type of curing
- corrosion-resistance of the reinforcement.

§.4.2.2 The impermeability of the cover concrete shall be checked by means of permeability tests (e.g. air permeability measurements) on the structure or on core samples taken from the structure.

Se verificará la impermeabilidad del concreto de recubrimiento, mediante ensayos de permeabilidad **in situ** (p.ej. mediciones de permeabilidad al aire) o sobre núcleos extraídos de **la estructura**

Permeabilidad al Aire "in situ": SIA 262/1E:2003



Ejemplo de P2P: Normas Suizas

En 2013 Suiza fija límites a la permeabilidad “in situ”, a ser cumplidos por los constructores en base a muestreos y criterios de conformidad definidos

Año	Clase de Exposición	Carbonatación				Cloruros			
		XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2a	XD2b	XD3
2003	$f'_{c_{\min}}$ (MPa)	25	25	25	30	25	25	30	30
	C_{\min} (kg/m ³)	280	280	280	300	300	300	320	320
	a/c_{\max}	0.65	0.65	0.60	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45
2008	$q_{w_{\max}}$ (g/m ² .h) Succión Capilar	---	---	---	10	10	10	---	---
	$D_{Cl_{\max}}$ (10 ⁻¹² m ² /s) Migración de Cl ⁻	---	---	---	---	---	---	10	10
2013	kT_{\max} „in situ“ (10 ⁻¹⁶ m ²)	---	---	---	2.0	2.0	2.0	0.5	0.5

Situación Normas Suizas en 2013

	PROYECTO	EJECUCION	CONTROL
<p>Calidad del Recubrimiento = K^{-1}</p> <p>K = Penetrabilidad</p>	<p>Especificación de Durabilidad: K_{max} sobre probetas moldeadas e "in situ"</p> <p>☺</p>	<p>Producción</p> <p>Ejecución: Colocación Compactación Acabado Curado</p>	<p>Ensayos de "K" sobre probetas moldeadas</p> <p>☺</p> <p>Ensayos de "K" in situ</p> <p>☺</p>

Temario

- Normas Prescriptivas y sus limitaciones (p.ej. EN 206-1 + Eurocode 2, ACI 318, NMX C403)
 - Desmitificación de una vaca sagrada: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
 - Iniciativas P2P (Prescriptivas a Prestacionales): NRMCA, ACI 329, RILEM 230-PSC, fib Task Group.
 - Ejemplo Normas Suizas SIA 262 y 262/1
- Consecuencias para la Industria de la Construcción en Concreto

Normas Clásicas (Prescriptivas)

- especifican indicadores de Durabilidad (a/c) que:
 - ✓ tienen una relación débil con los parámetros de desempeño
 - ✓ son difíciles o imposibles de medir en la práctica
- desalientan la innovación
- el punto de control es la planta de concreto, ignorando lo que sucede después
- no incorporan la calidad de la ejecución
- por lo tanto, no garantizan la durabilidad, como lo atestiguan abundantes malos ejemplos

Normas por Desempeño (p.ej. SIA 262)

- La adopción de requisitos de desempeño mediante ensayos sobre probetas moldeadas es un avance pero no controla la labor del contratista
- El enfoque de la Norma Suiza SIA 262 de establecer como Indicador de Durabilidad la permeabilidad del recubrimiento, medida **en la estructura**, apunta a controlar el producto terminado
- Así, mide el resultado de la contribución de todos los actores en la cadena de construcción en concreto (especificadores, proveedores de concreto y de materiales, contratistas, etc.)

Normas por Desempeño (p.ej. SIA 262)

Al controlar el producto terminado, impone una mentalidad orientada al desempeño en todos los actores, asegurando una competencia leal en:

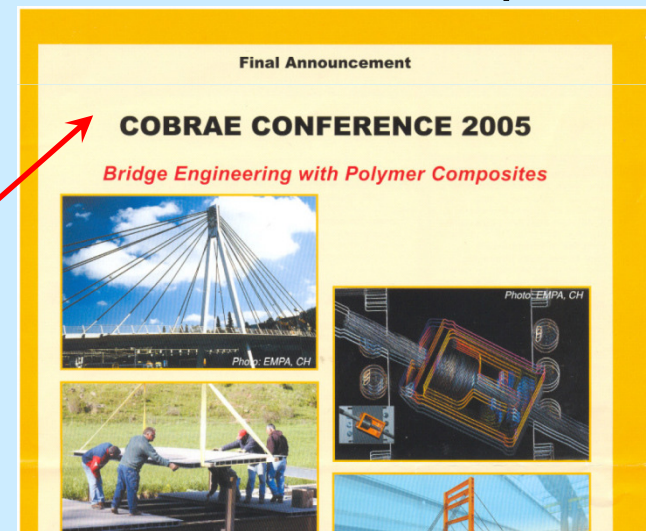
- ✓ **Contratistas** , que entregan el producto a ser controlado; quienes no apliquen buenas prácticas (p.ej. curado adecuado) serán penalizados usando mezclas más caras o aplicando medidas curativas
- ✓ **Productores de concreto** , que deberán diseñar, producir y entregar, eficientemente, concretos que alcancen el desempeño requerido. Se erradicará la adición descontrolada de agua.
- ✓ **Proveedores de Materiales** (cementos, aditivos, áridos) que deben diseñar sus productos hacia un desempeño óptimo en el concreto

Normas por Desempeño (p.ej. SIA 262)

- Incentiva la innovación fomentando el uso de:
 - SCC, que crea un recubrimiento más compacto y uniforme que el concreto vibrado
 - Membranas permeables en los encofrados
 - Compuestos de curado más eficientes y/o de concretos “autocurantes”
 - Concretos de Alto Desempeño
 - Compuestos de Ultra Alto Desempeño (selectivamente)
 - Concretos de baja retracción y de retracción compensada

Durabilidad?, porqué debemos ocuparnos?

- Porque las reparaciones (hoy superan el 50% de los fondos dedicados a Construcción en Europa y Norte América), en el que la Industria del Concreto Premezclado participa poco, nos quitan mercado y atentan contra la “sustentabilidad” del producto
- Porque esos recursos, de aumentarse la vida en servicio, podrían dedicarse a nuevas obras de infraestructura y vivienda, tan necesarias en países emergentes
- Porque es un talón de Aquiles que puede ser explotado por materiales competitivos



Mensaje Final

- El pasaje de Normas Prescriptivas hacia Normas basadas en Desempeño es un hecho irreversible
- Esto conducirá a estructuras más durables, liberando recursos, hoy dedicados a la reparación, para nuevas obras
- Fomentará la creatividad en la búsqueda y aplicación de nuevas soluciones
- Conducirá a un uso más racional de los recursos y al desarrollo de soluciones más sustentables en concreto
- Es un reto para la Industria del Concreto, pero que ofrece enormes oportunidades y la hará más competitiva frente a materiales/soluciones alternativos

Bibliografía

- CEN/TC 104/SC 1, “Survey of national provisions for EN 206-1”, N 485, 30 Jan 2007, 148 p.
- Norma Suiza SIA 262/1 (2013), "Construction en béton – Spécifications complémentaires", Annexe A: ‘Perméabilité à l’eau’.
- Norma Suiza SIA 262/1 (2013), "Construction en béton – Spécifications complémentaires", Annexe B: ‘Résistance aux chlorures’
- Norma Suiza SIA 262/1 (2013), "Construction en béton – Spécifications complémentaires", Annexe H: ‘Teneur en eau du béton frais’.
- Norma Suiza SIA 262/1 (2013), "Concrete Construction – Complementary Specifications", Annex E: Air-Permeability on the Structures.
English Translation: www.m-a-s.com.ar
- Jacobs F., Denariè E., Leemann A., Teruzzi T., “Recommendations for Quality Control of Concrete with Air-Permeability Measurements”, Office Fédéral des Routes, Bern, December 2010,(en Alemán)
Traducción al inglés de los capítulos 1 y 2 en: www.m-a-s.com.ar

Bibliografía

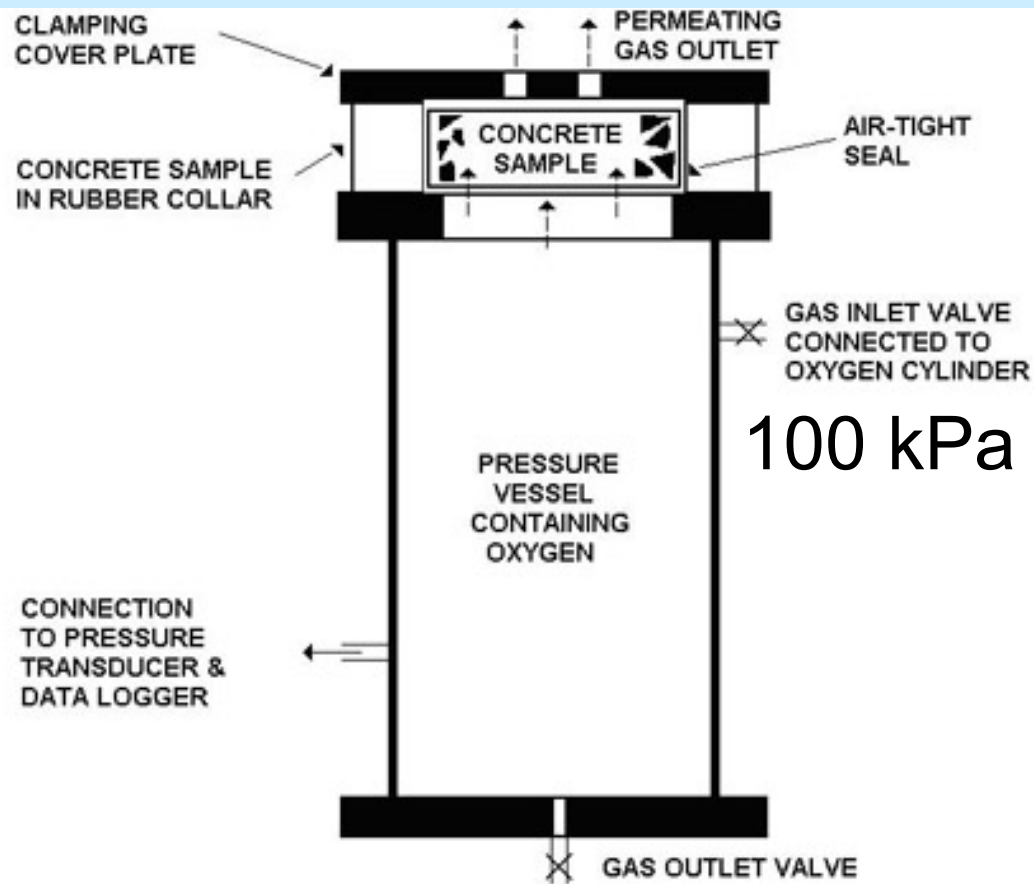
- Alexander M., Ballim Y., Stanish K., “A framework for use of durability indexes in performance-based design and specifications for reinforced concrete structures”, Mater. & Struct., v.41, 2008, 921-936.
- Blair, B., “Lafarge North America's Perspective on Performance Specifications”, Anna Maria Workshop VIII, “Performance Specifications & Standards: Current Practice”, Nov. 7-9, 2007, Holmes Beach, Anna Maria Island, Florida, USA
- “Concrete Sustainability: a Vision for Sustainable Construction with Concrete in North America” document produced by and for the concrete industry under the auspices of SDC.
[www. concretesdc.org/index.htm](http://www.concretesdc.org/index.htm).

Otro Ejemplo: Indices de Durabilidad, Sudáfrica

Ensayos sobre testigos de \varnothing 68 mm x 25-30 mm, extraídos de la estructura, para medir:

- Permeabilidad al Oxígeno
- Conductividad a Cloruros
- Succión Capilar

Indice de Permeabilidad al O₂ (OPI)

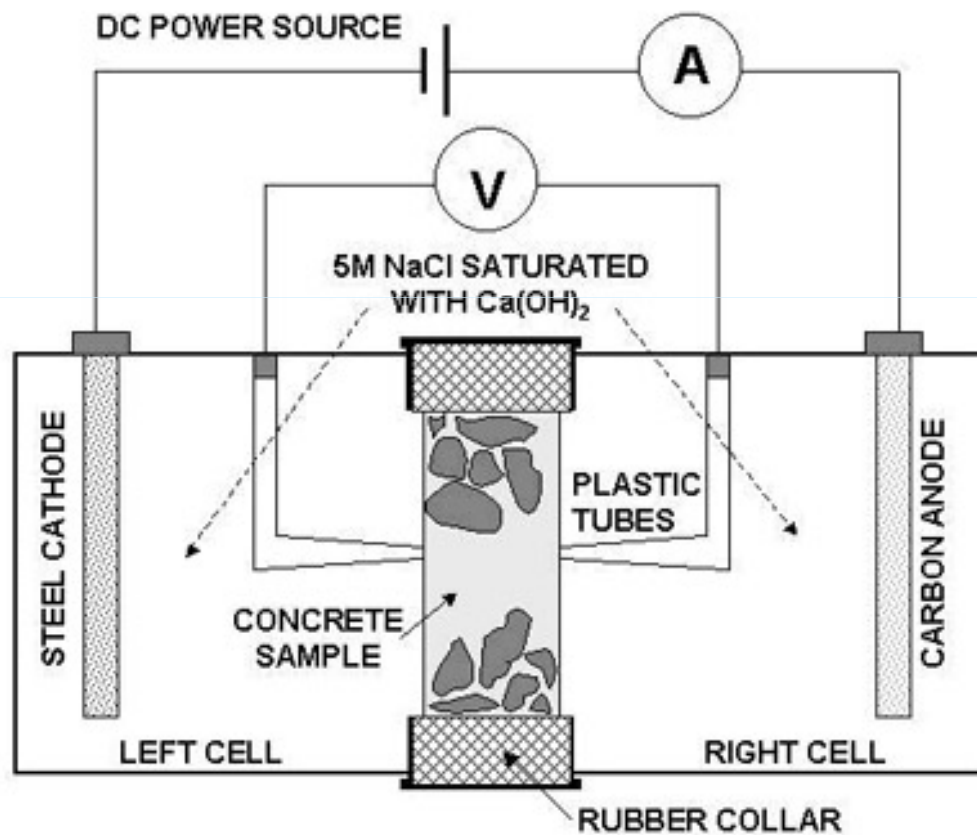


$$\text{OPI} = -\log(K)$$

Requisitos para Carbonatación

	Estructuras Comunes	Edificios Monumentales	
Vida Util (años)	50	100	100
Recubrimiento Mínimo (mm)	30	30	40
OPI_{min}	9.70	9.90	9.70

Conductividad a Cloruros



Probeta pre-saturada al vacío con 5M NaCl

V=10 Volt

Requisitos para Cloruros Marinos

Valores máximos de conductividad a cloruros (mS/cm), para estructuras comunes: 50 años y 50 mm de recubrimiento

Clase de Exposición	70 OPC: 30 PFA	50 OPC: 50 GGBS	90 OPC: 10 CSF
XS1	3.00	3.50	1.20
XS2a	2.45	2.60	0.85
XS2b, XS3a	1.35	1.60	0.45
XS3b	1.10	1.25	0.35