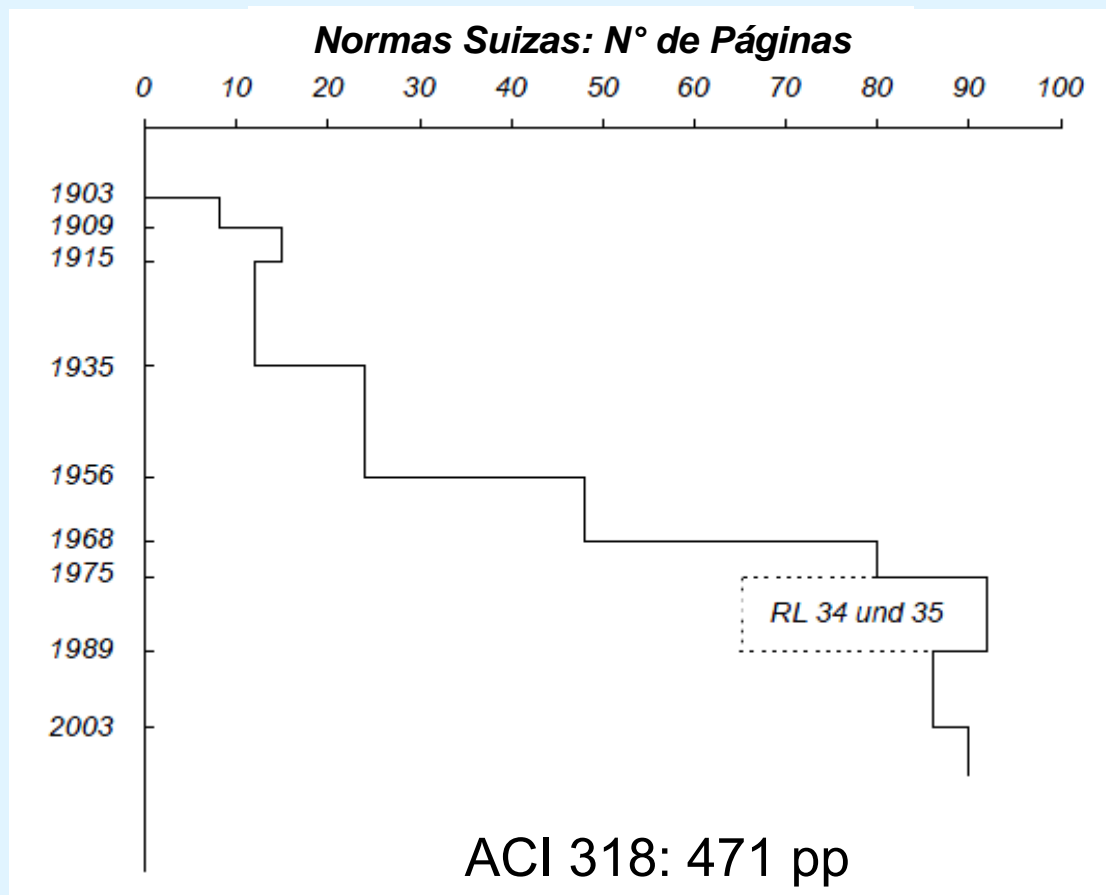




Tendencias en Normas de Hormigón: de Prescriptivas a Prestacionales

Roberto Torrent
Materials Advanced Services SRL
Buenos Aires, Argentina
www.m-a-s.com.ar
info@m-a-s.com.ar





Objetivos

- Análisis crítico de las Normas Prescriptivas
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
- Enfoques Prestacionales a la Durabilidad
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón
- Situación y tendencias en las Normas de Hormigón

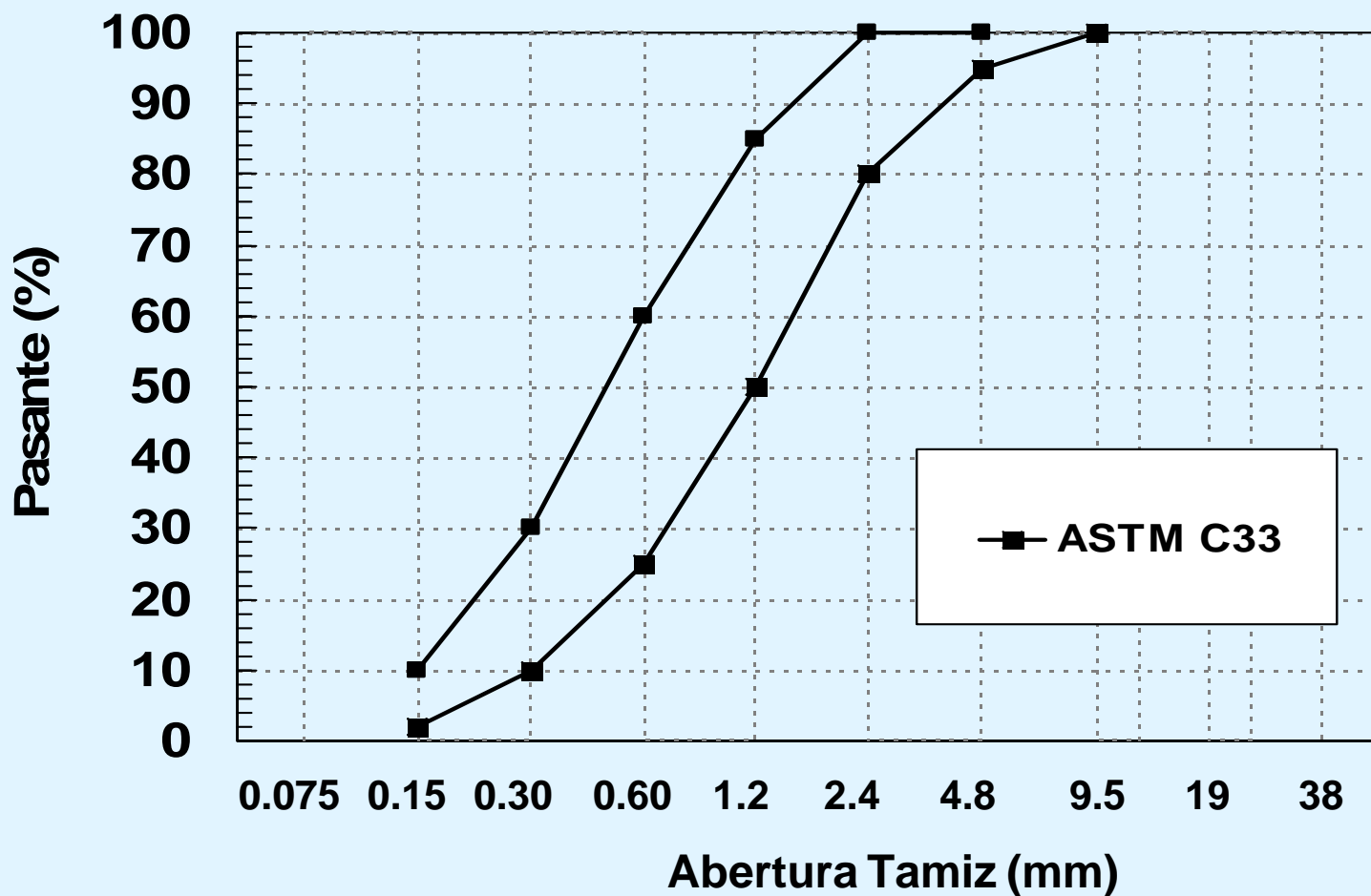


Objetivos

- **Análisis crítico de las Normas Prescriptivas**
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{max} para especificar Durabilidad
- Enfoques Prestacionales a la Durabilidad
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón
- Situación y tendencias en las Normas de Hormigón

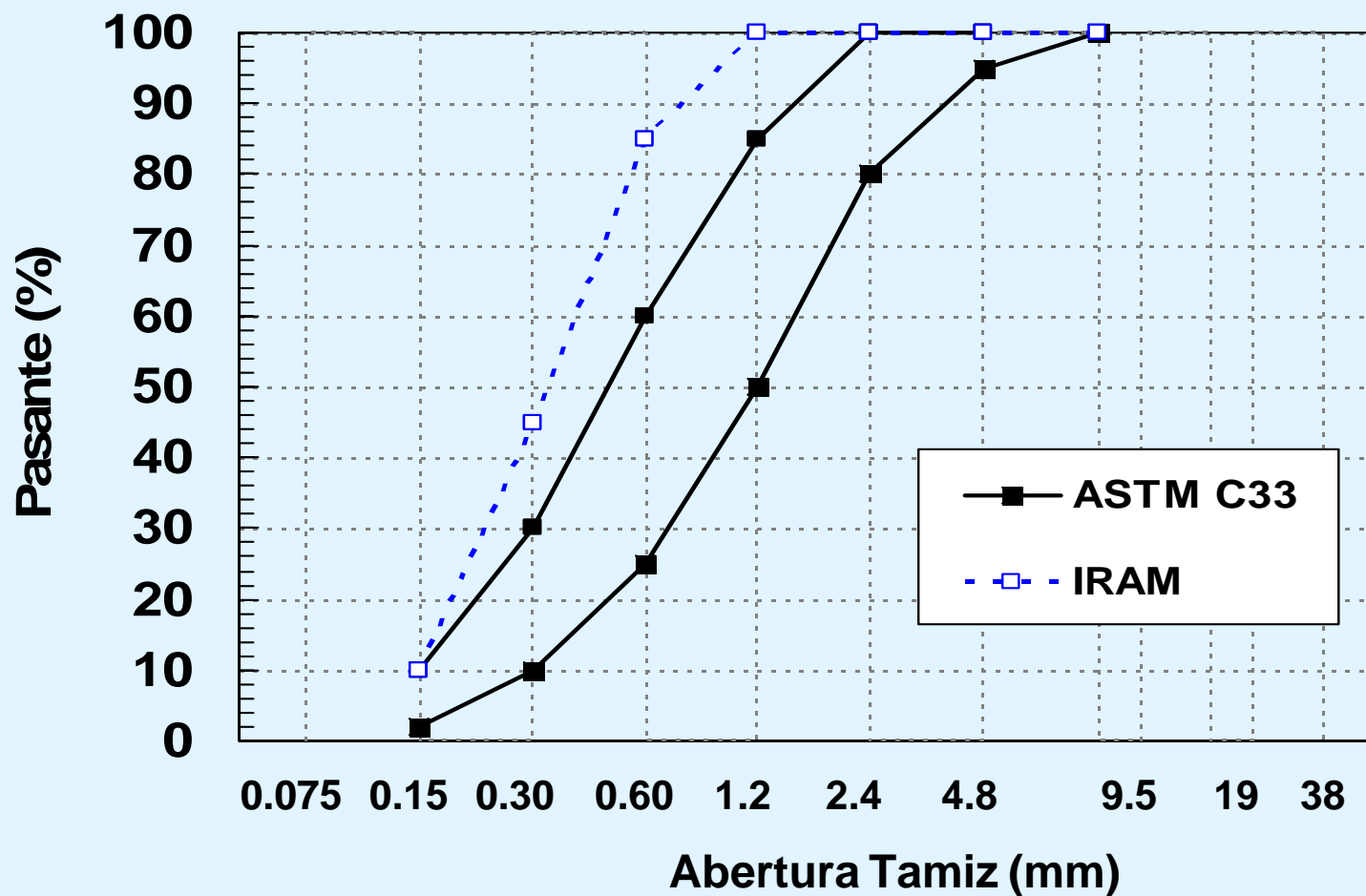


Un ejemplo simple de Normas Prescriptivas



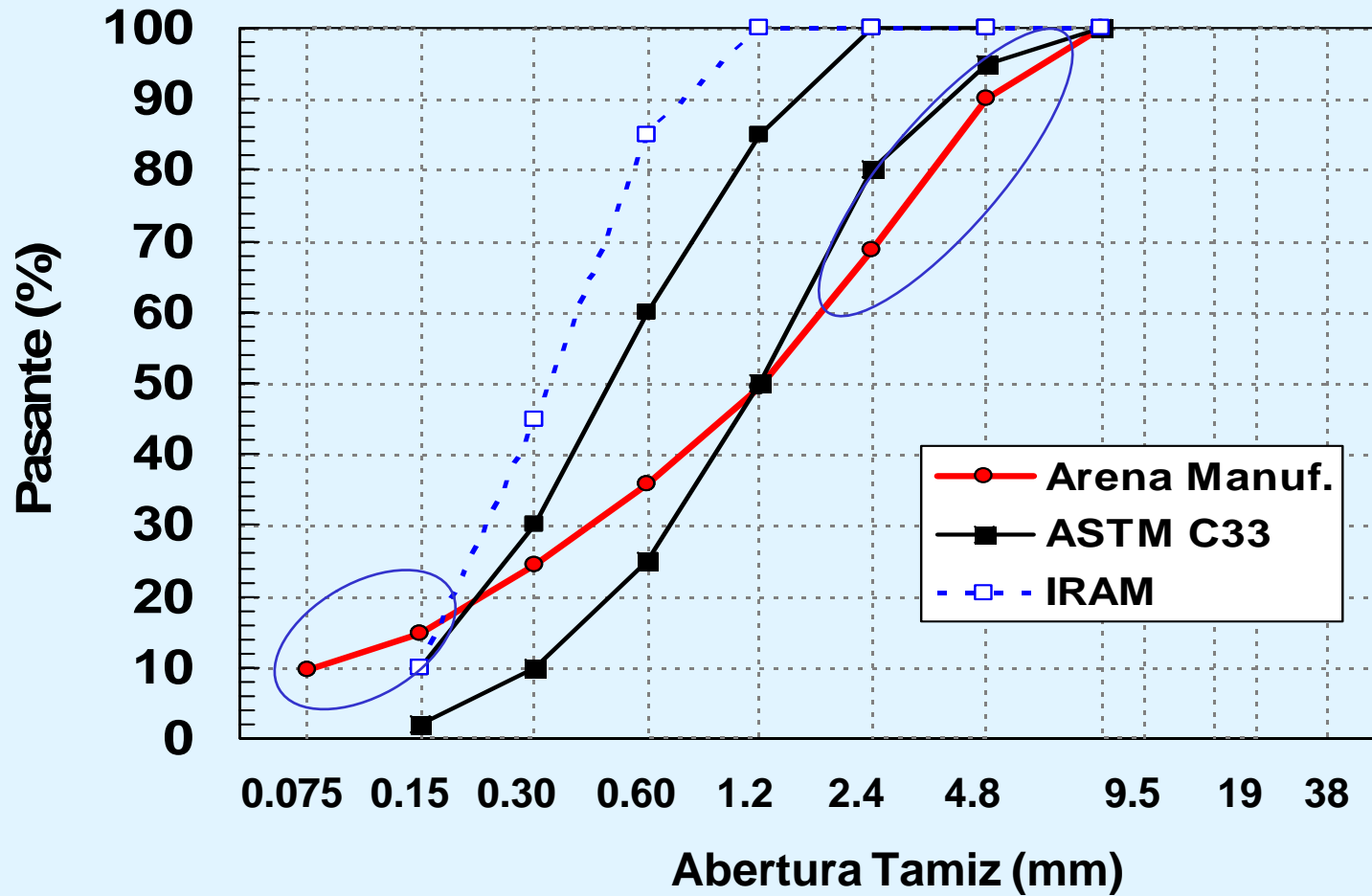


Un ejemplo simple de Normas Prescriptivas





Un ejemplo simple de Normas Prescriptivas





Límites al Contenido de Material $< 75 \mu\text{m}$

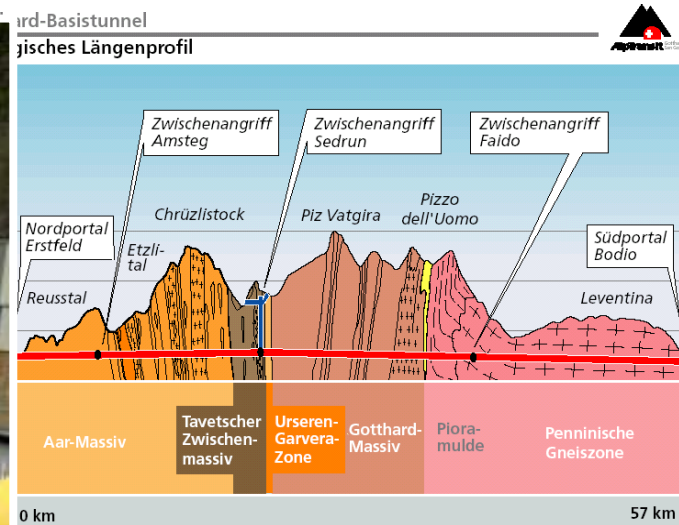
	Material que pasa el tamiz #200 - $75 \mu\text{m}$ (maximo % en masa)	
	Arenas naturales	Arenas Manufacturadas
Hormigón sujeto a abrasión	3.0	5.0
Todo otro hormigón	5.0	7.0

- Las arenas manufacturadas presentan altas proporciones de partículas finas, típicamente en el rango 10-25 %
- A pesar de que estos finos no son, en muchos casos, perjudiciales, se dificulta el uso de tales arenas por no conformidad con las normas
- Dado que cada vez es más difícil obtener permisos para explotar minas de agregados naturales y a que el lavado de arenas tiene consecuencias ambientales negativas, esto limita o encarece innecesariamente la producción de agregados y hormigones



Limitación al uso de arenas manufacturadas

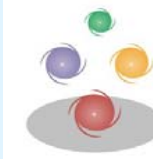
- El CIRSOC limita la proporción de arenas manufacturadas a 30% de la arena total.... porqué?, porqué 30%?.
- En Suiza se construye el túnel más largo del mundo (57 km), bajo severas condiciones y con una vida útil de 100 años, con hormigones compuestos 100% por áridos manufacturados....





Objetivos

- **Análisis crítico de las Normas Prescriptivas**
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
- **Enfoques Prestacionales a la Durabilidad**
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- **Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón**
- **Situación y tendencias en las Normas de Hormigón**



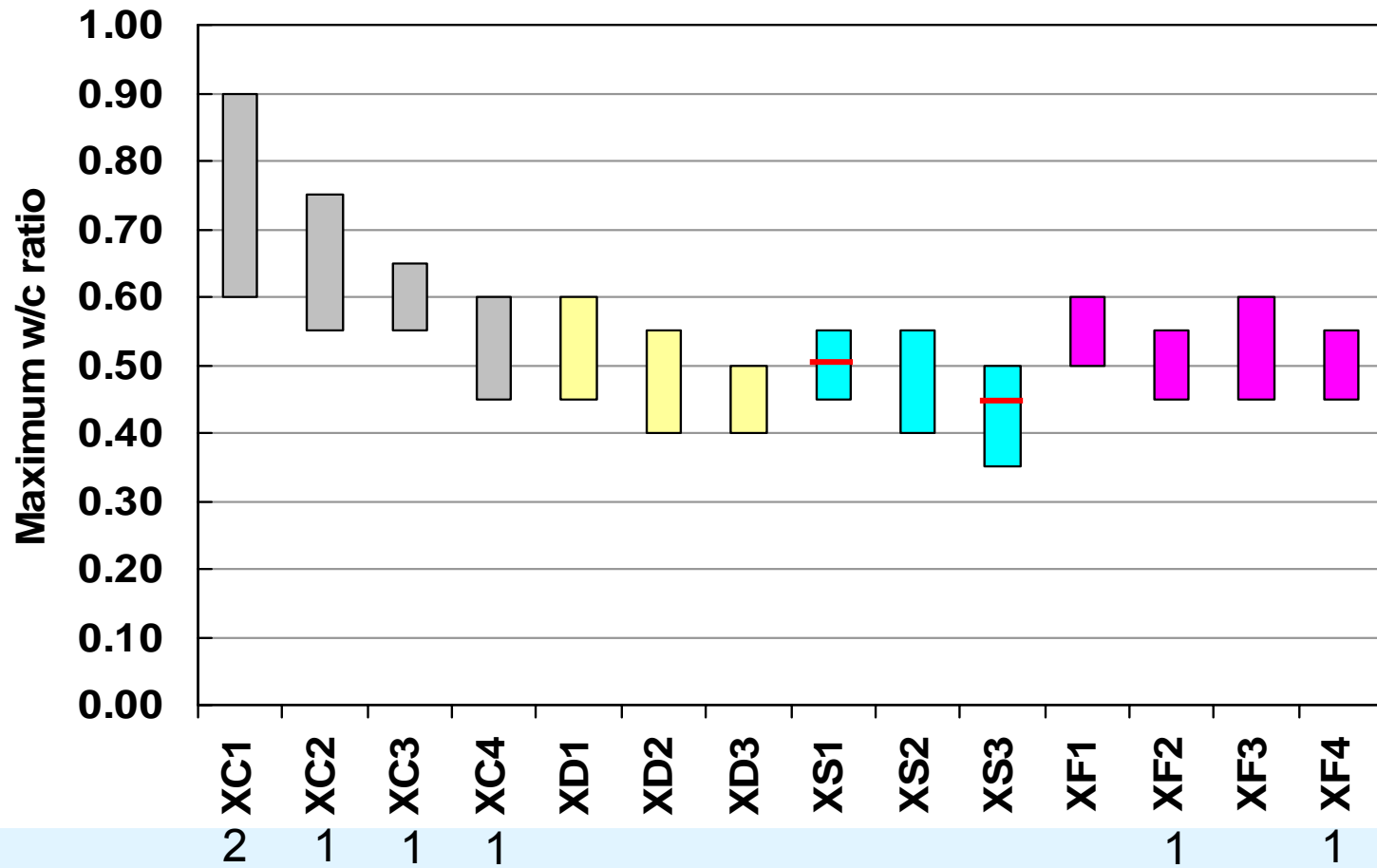
Normas Prescriptivas: Análisis Crítico

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

Norma	a/c Máx (kg/kg)	Cemento Mín (kg/m ³)	Resistencia Mín (N/mm ²)	
EN	0.50	300	30	Costa XS1
EN	0.45	320	35	Mareas XS3
ACI	0.40	---	35	
NMX	0.55	300	30	

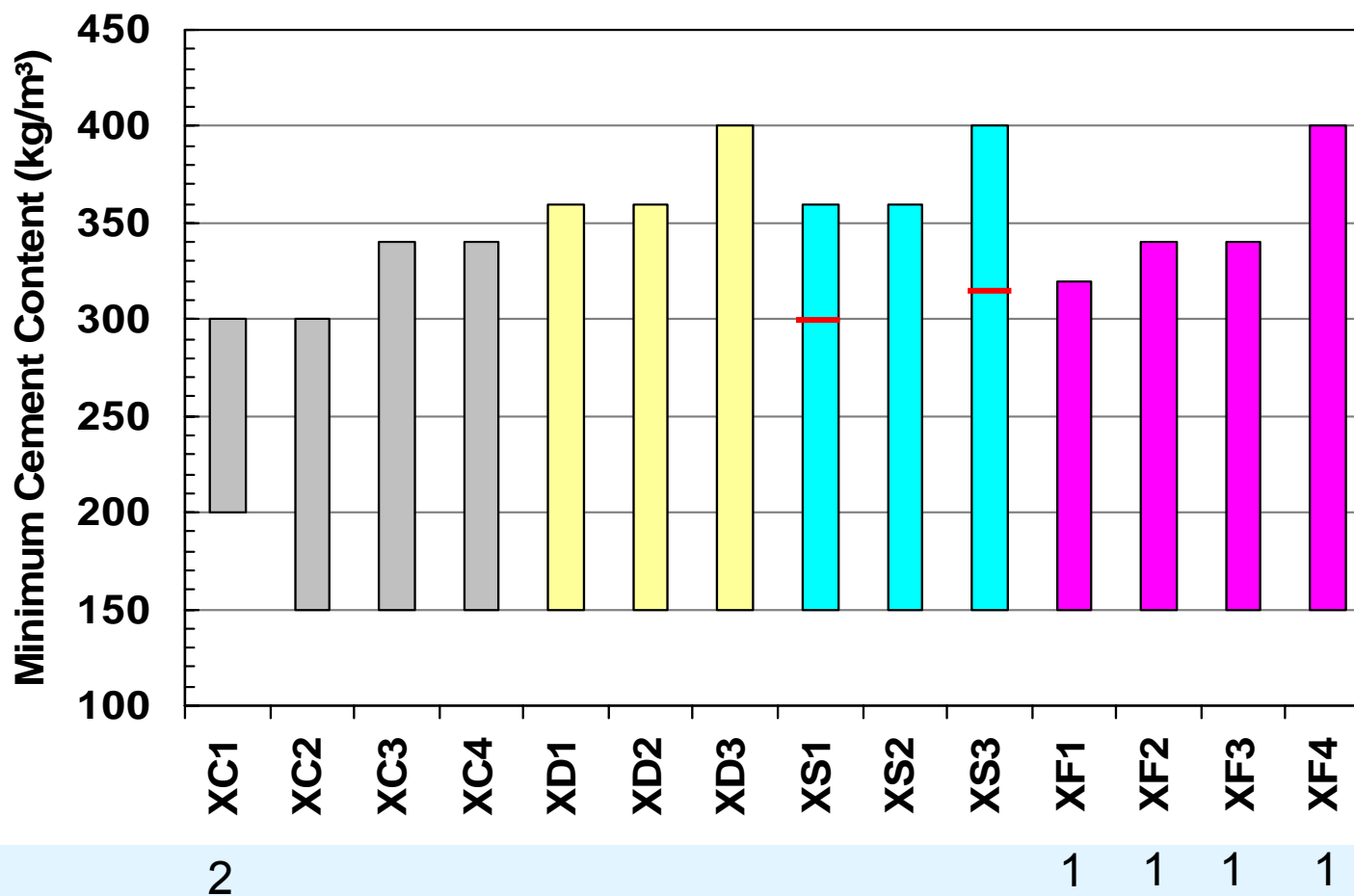


Máxima relación a/c para distintos países EN206-1



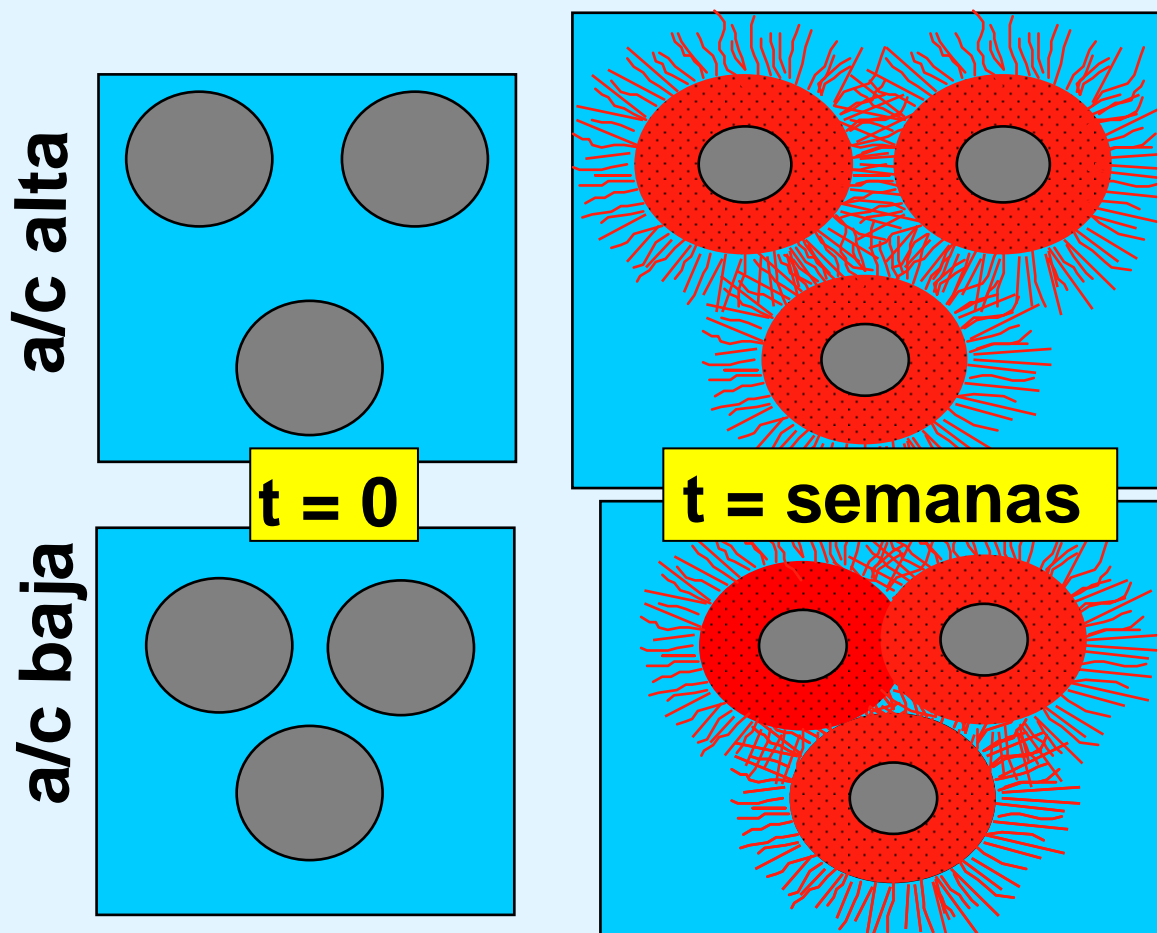


Mínimo Cemento para distintos países EN206-1



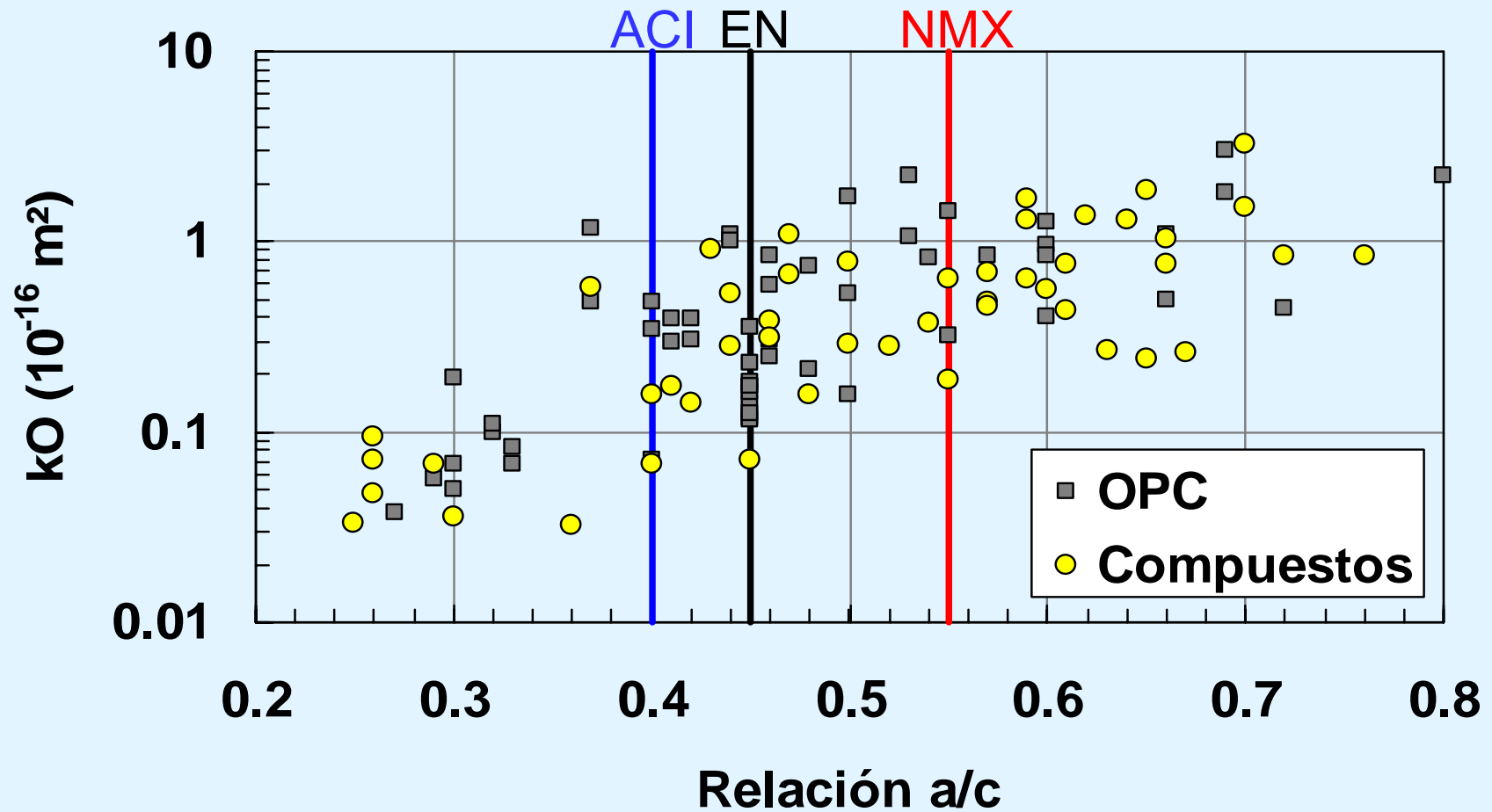


Porqué se usa la relación a/c como Indicador de Durabilidad?, qué mide?



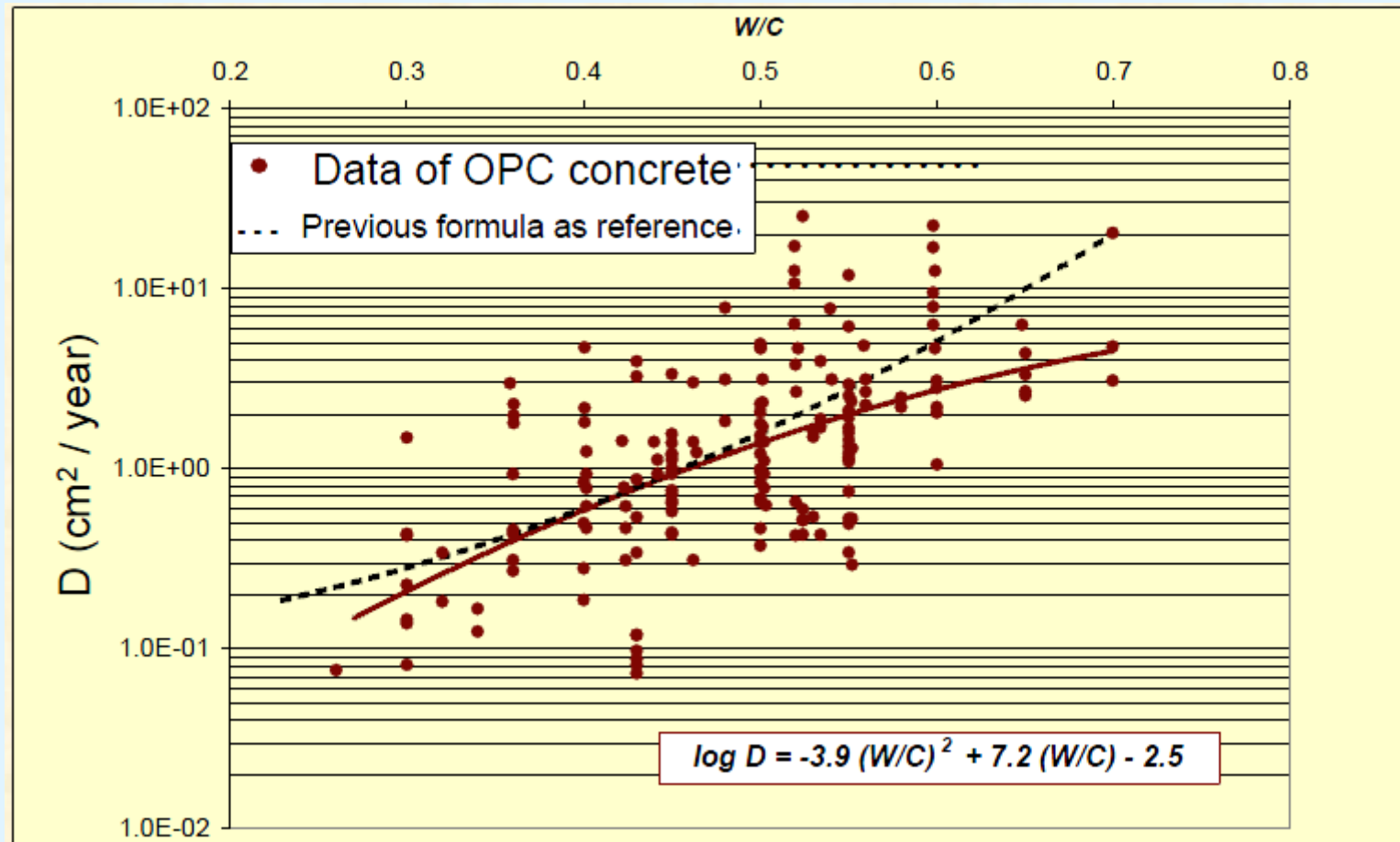


Permeabilidad al O₂ (kO) vs relación agua/cemento



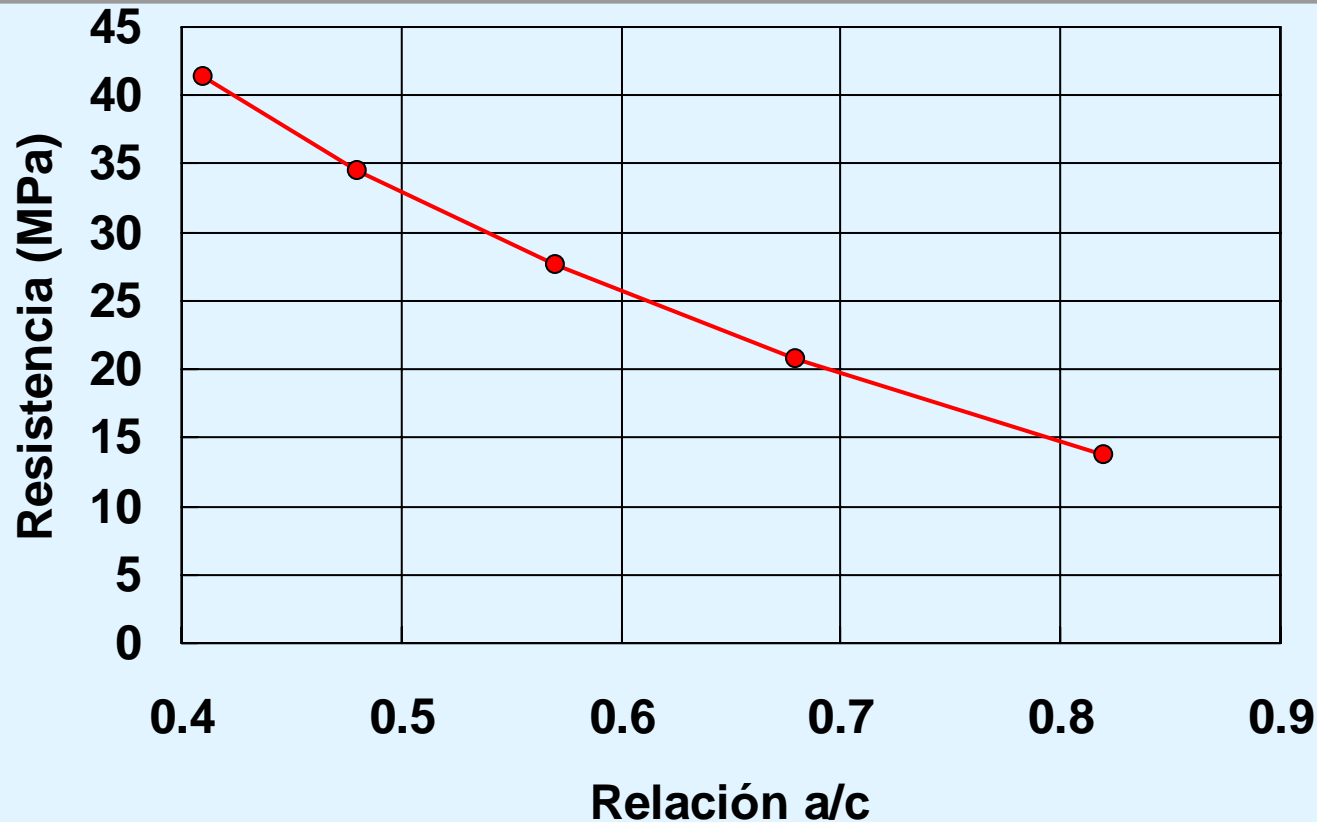


Difusión de Cl⁻ vs relación agua/cemento (JSCE)





Relación Resistencia vs a/c (ACI 211)



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



Métodos cubiertos por Normas o Recom. RILEM

Transporte	Estado	Duración	Método	Uso	Norma
Permeabilidad al O ₂	Estac.	1-5 horas	Cembureau	Lab	RILEM, SAfrica
Permeabilidad al Aire	Trans.	< 6 min	Torrent	Lab/Situ	SIA Suiza
Permeabilidad al H ₂ O	Trans.	4 días	Penetración de Agua	Lab	EN CIRSOC
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	AASHTO	Lab	AASHTO
Conductividad (RCI ⁻ PT)	Trans.	6 horas	Whiting	Lab	ASTM C1202, SAfrica
Migración de Cl ⁻	Trans.	24 horas	Tang y Nilsson	Lab	NT Escandinavia SIA Suiza
Resistividad (Migración)	Estac.	< 2 min	Wenner	Lab/Situ	RILEM



Normas Prescriptivas: Análisis Crítico

- Son predominantemente arbitrarias

Norma	a/c Máx (kg/kg)	Cemento Mín (kg/m ³)	Resistencia Mín (kgf/cm ²)	
EN	0.50	300	300	Costa
EN	0.45	320	350	Mareas
ACI	0.40	---	350	
NMX	0.55	300	300	

- Dan pocas oportunidades para innovar y agregar valor
- Tratan al hormigón y a los materiales componentes como *commodities*
- Cómo se controla la $a/c_{máx}$?; 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 hormigón fresco





¿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 especificador de durabilidad

- No hay ningún método normalizado para medir la relación a/c del hormigón
 - 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



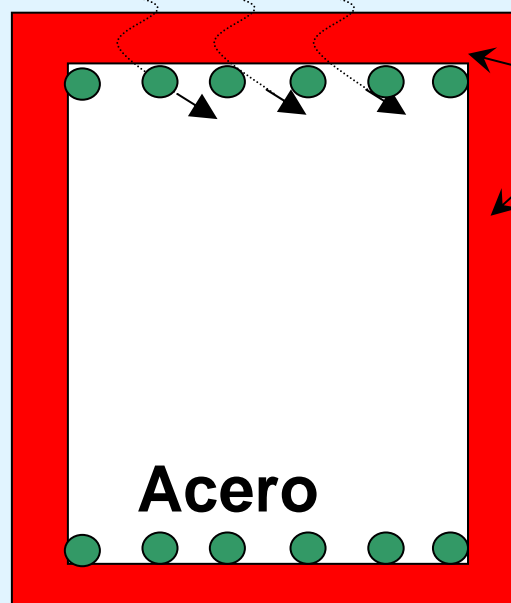
Objetivos

- Análisis crítico de las Normas Prescriptivas
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{max} para especificar Durabilidad
- Enfoques Prestacionales a la Durabilidad
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón
- Situación y tendencias en las Normas de Hormigón



Realidad: Calidad del Hormigón en la Estructura

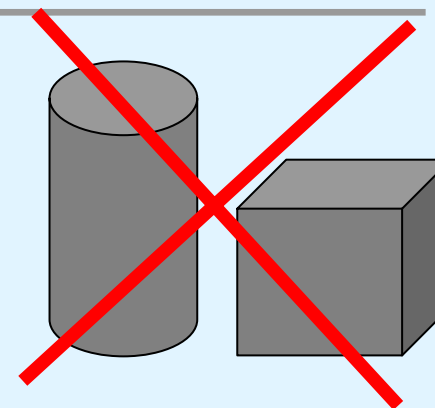
CO_2 Cl^- SO_4^{2-} , Abrasión, Hielo



**“Recubrimiento”
de Peor Calidad**

Debido a:

- Segregación
- Compactación
- **Curado**
- Exudación
- Acabado
- Microfisuras



Las probetas moldeadas y curadas en forma normalizada, **NO** representan la vital calidad del ‘recubrimiento’



Factores Vitales para la Durabilidad




La **Vida en Servicio** depende de:

1. la **'Penetrabilidad'** del Hormigón de Recubrimiento
y, para el caso de corrosión del acero
2. también del **Espesor** de dicho recubrimiento

AMBOS están primordialmente determinados por la correcta especificación y producción del hormigón, por una cuidadosa ejecución y por controles adecuados



Situación Presente de la normas ACI y EN

	PROYECTO	PRACTICA	CONTROL
<p>Calidad del Recubrimiento = K^{-1}</p> <p>K = Penetrabilidad</p>	<p>Especificación de Durabilidad: a/c_{max}</p> <p></p>	<p>Producción</p> <p>Ejecución: Colocación Compactación Acabado Curado</p>	<p>a/c (??)</p> <p></p> <hr/> <p>Inspección Visual</p> <p></p>



Situación Presente de la normas ACI y E

	PROYECTO	EJECUCIÓN	CONTROL
<p>Calidad del Recubrimiento = K</p> <p>K = Penetrabilidad</p>	<p>Especificación de Durabilidad</p> <p>☹️</p>	<p>Ejecución: Colocación Compactación Acabado Curado</p>	<p>a/c (??)</p> <p>☹️</p>
			<p>Inspección Visual</p> <p>☹️</p>

SE REQUIERE UN CAMBIO!!



Objetivos

- Análisis crítico de las Normas Prescriptivas
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{\max} para especificar Durabilidad
- Enfoques Prestacionales a la Durabilidad
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón
- Situación y tendencias en las Normas de Hormigón



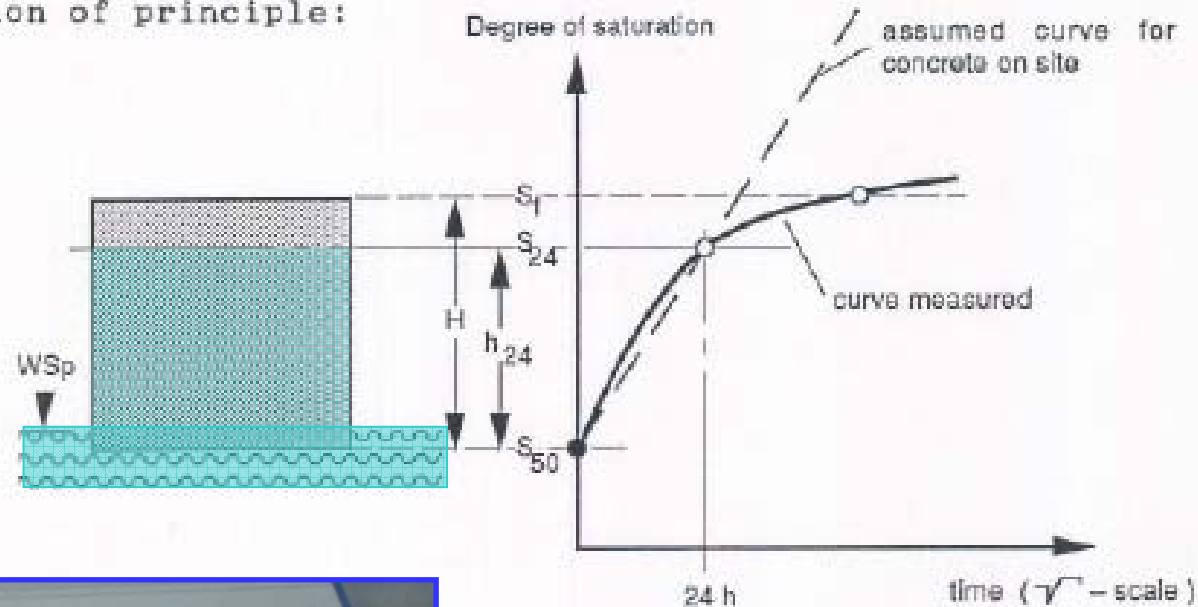
Ejemplo de P2P: Normas Suizas

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



Succión Capilar. Norma Suiza SIA 262/1A:2003

Illustration of principle:



Disco calado de hormigón (50x50 mm)

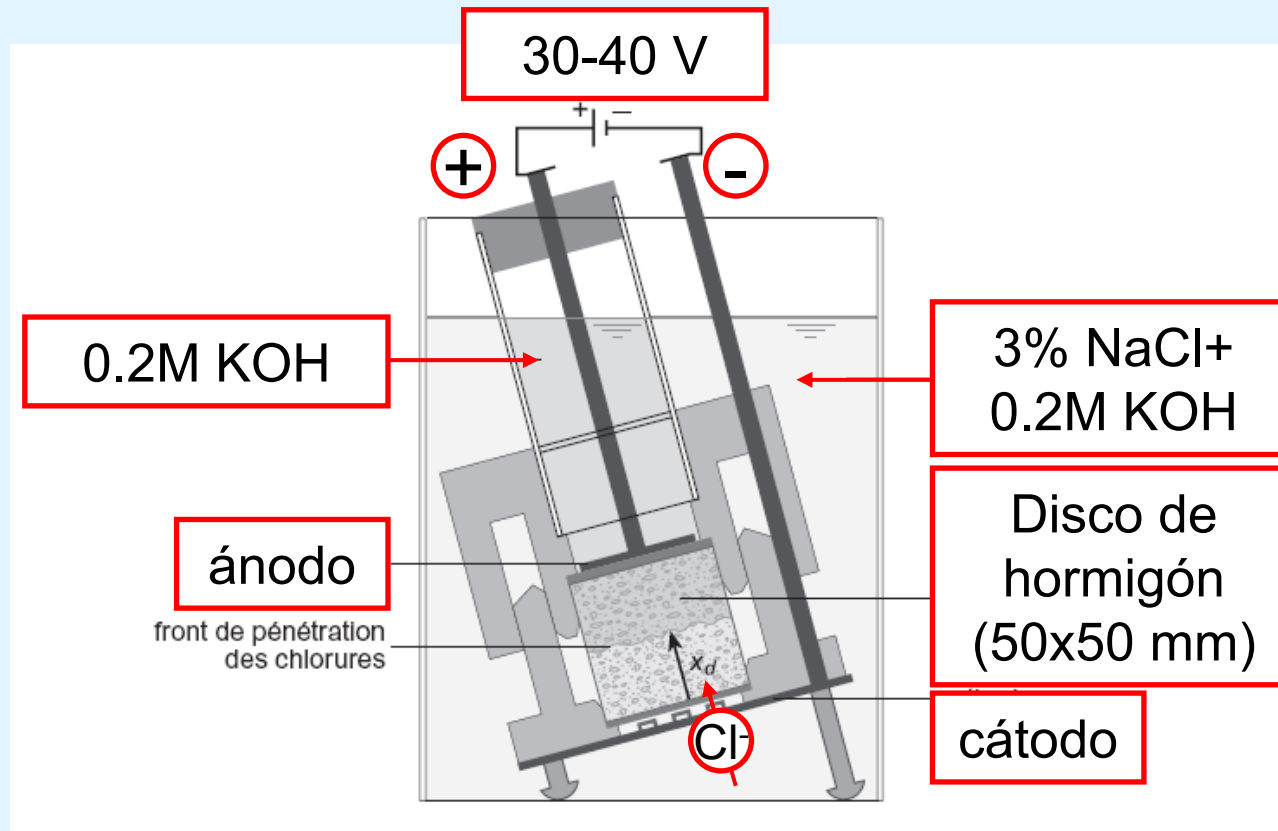


$$a_t = m_t / A / t^{0.5}$$

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



Migración de Cl⁻, Norma Suiza SIA 262/1B:2003 (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

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:</p> <p>K_{max}</p> <p>Medido sobre probetas moldeadas</p> <p>☹️</p>	<p>Producción</p> <p>Ejecución:</p> <p>Colocación Compactación Acabado</p> <p>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 hormigón 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”: Norma SIA 262/1E:2003

ANNEXE E: PERMÉABILITÉ À L’AIR DANS LES STRUCTURES

E.1 Domaine d’application

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer dans les structures, de façon non destructive, la perméabilité à l’air d’un béton conforme à la norme SN EN 206-1. La perméabilité à l’air permet de tirer des déductions prévisionnelles sur la durabilité du béton situé au voisinage de la surface.

E.2 Références

Aucune.

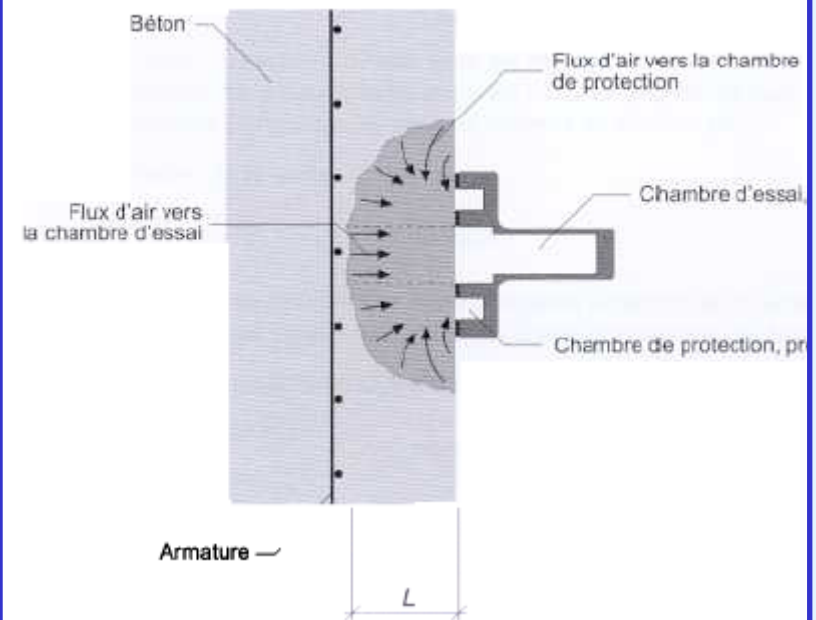
E.3 Définitions

k coefficient de perméabilité à l’air, ou en abrégé, perméabilité à l’air [m^2]

E.4 Principe

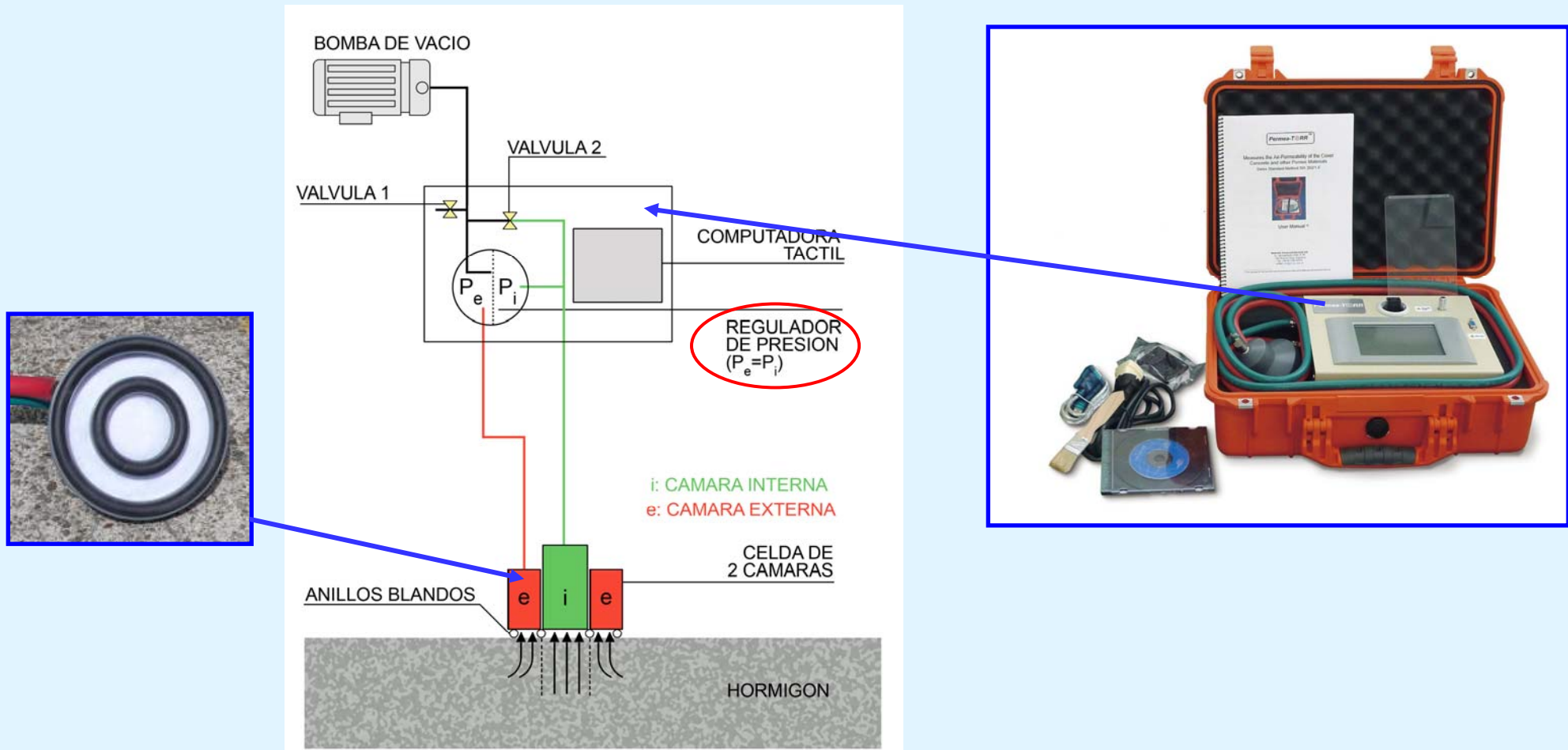
Au moyen d’une pompe à vide, on crée une dépression dans une chambre d’essai et dans une chambre de protection qui l’entoure, les deux chambres étant ouvertes contre la surface du béton. La liaison entre la chambre d’essai et la pompe à vide est ensuite hermétiquement fermée. Pendant la durée des mesures, la dépression de la chambre de protection est gérée de manière à être toujours égale à celle de la chambre d’essai. On mesure en fonction du temps la baisse de pression induite par le flux d’air traversant le béton. On calcule ensuite la perméabilité à l’air à partir de la variation de pression en fonction du temps et d’autres valeurs caractéristiques.

Figure 2: Principe de l’essai





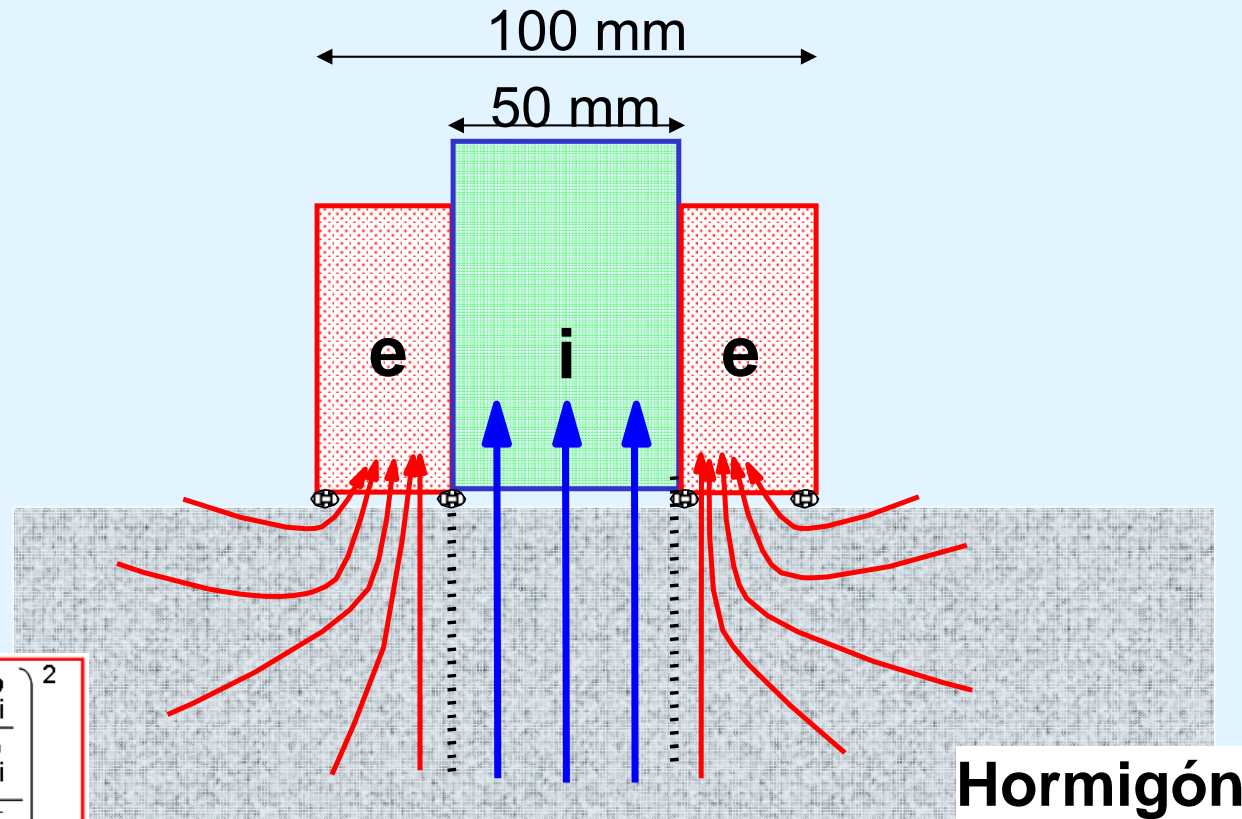
Permeabilidad al Aire “in situ”: SIA 262/1E:2003





Clave del método: dos cámaras y $P_e = P_i$

Celda de Vacío
c/ 2 cámaras



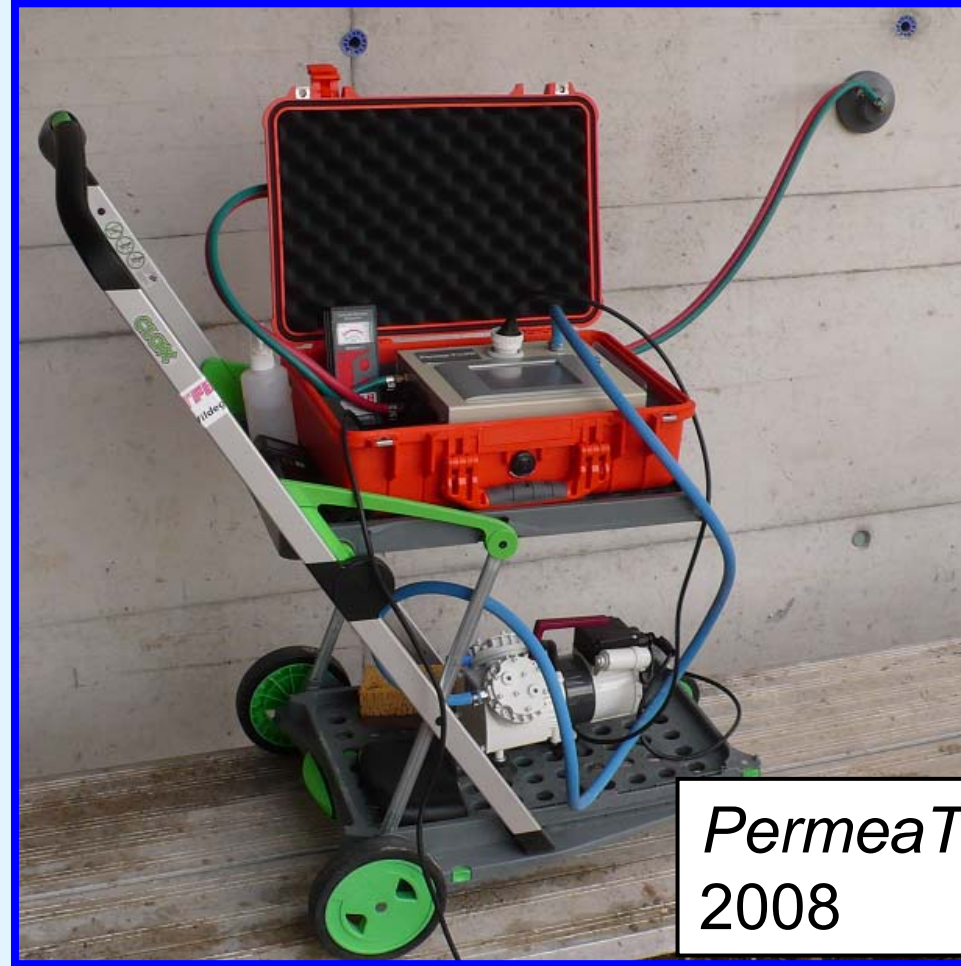
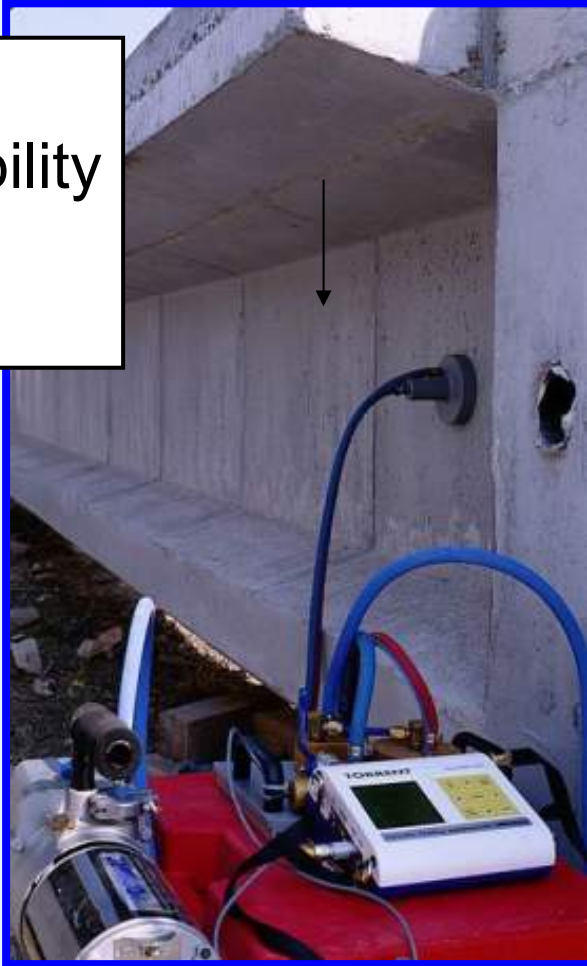
Flujo controlado de aire hacia la cámara de medición

$$kT = \left(\frac{V_c}{A} \right)^2 \frac{\mu}{2 \varepsilon P_a} \left(\frac{\ln \frac{P_a + \Delta P_i}{P_a - \Delta P_i}}{\sqrt{t_f} - \sqrt{t_o}} \right)^2$$



Equipos Comerciales

Torrent
Permeability
Tester
(~1995)



PermeaTORR
2008



Recomendaciones de Vialidad Federal Suiza

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen

Recommandations pour le contrôle de la qualité du béton au moyen de mesures de perméabilité à l'air

Recommendations for the quality control of concrete with air permeability measurements

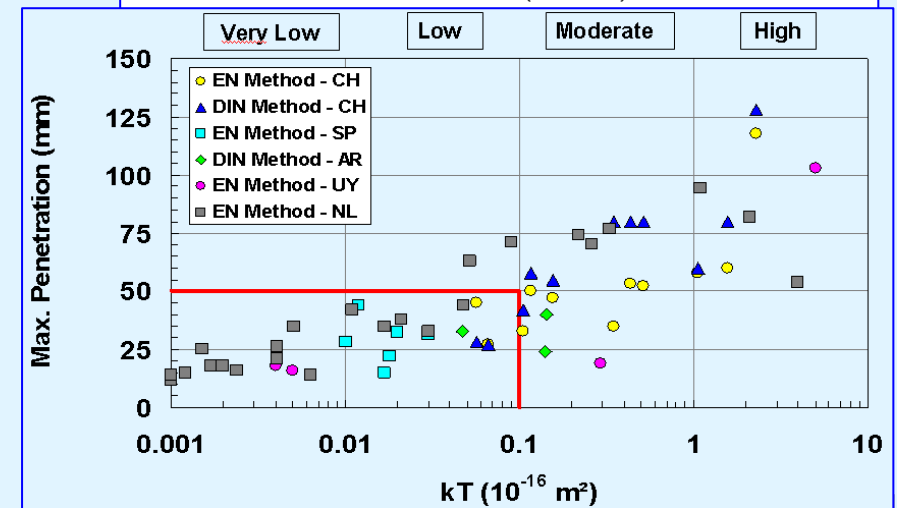
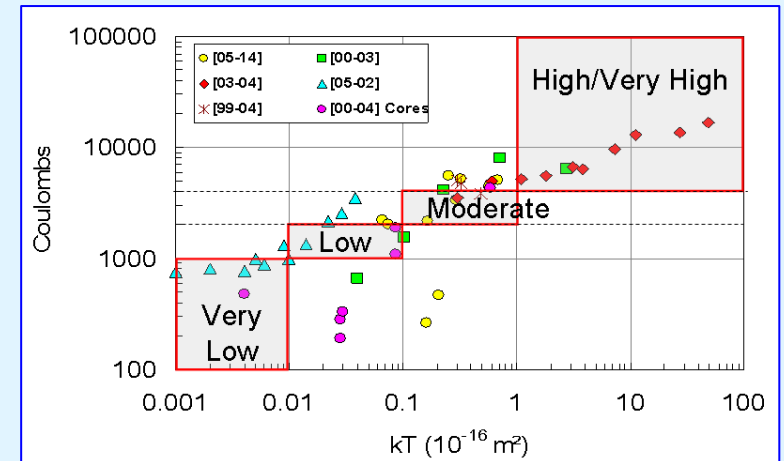
TFB, Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, Wildegg
F. Jacobs, Dr. sc. techn., Dipl.-Geol. BDG/SIA

EMPA, Dübendorf
A. Leemann, Dr. sc. nat.

EPFL, Laboratoire de Maintenance, Construction et Sécurité des ouvrages (MCS), Lausanne
E. Denarié, Dr. sc. techn., Dipl. Bauling. EPFL/SIA

SUPSI, Istituto Materiali e Costruzioni, Canobbio
T. Teruzzi, Dr. sc. nat., Dipl. Phys. ETHZ

Forschungsauftrag AGB 2007/007 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)
Dezember 2009 641





Ejemplo de P2P: Normas Suizas

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
2011 ?	kT_{\max} „in situ“ (10 ⁻¹⁶ m ²)	---	---	---	2.0	2.0	2.0	0.5	0.5



Algunos aspectos de las Recomendaciones

- **Edad de Ensayo:**
Entre 28 y 90 días
- **Temperatura**
Temperatura del Hormigón $\geq 5^{\circ}\text{C}$
- **Humedad del Hormigón**
Contenido de humedad $\leq 5.5\%$
ó Resistividad eléctrica $\geq 10 - 20 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$
Orientación sobre cuándo se alcanzan esas condiciones
- **Conformidad**
 ≤ 1 de 6 resultados por encima de kTs





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} 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>



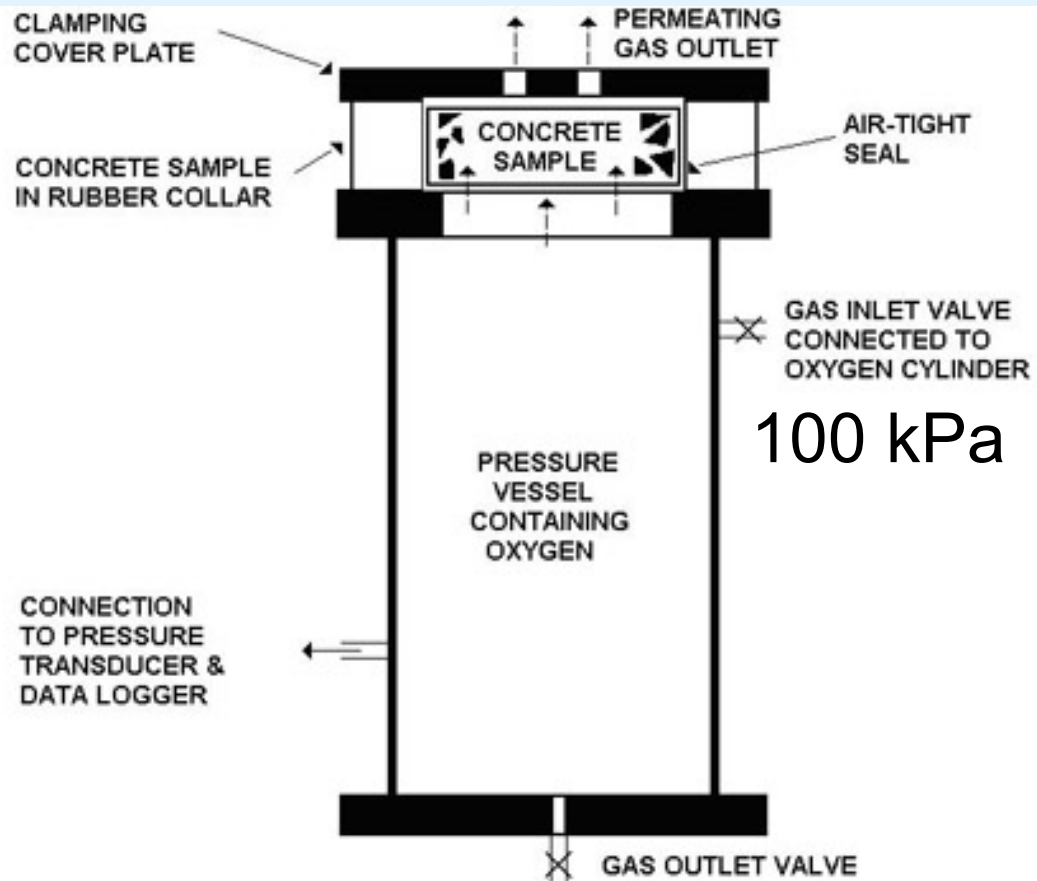
Otro Ejemplo: Indices de Durabilidad, Sudáfrica

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)



$$OPI = - \log (K)$$

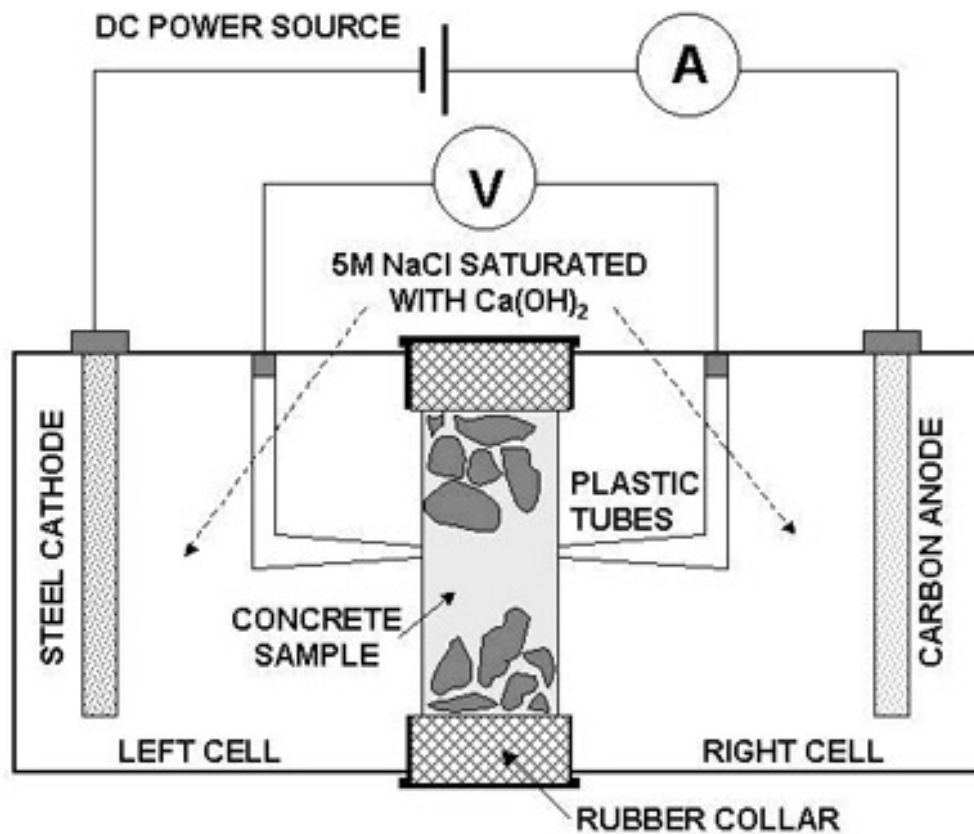


Requisitos para Carbonatación

	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



Objetivos

- **Análisis crítico de las Normas Prescriptivas**
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{max} para especificar Durabilidad
- **Enfoques Prestacionales a la Durabilidad**
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- **Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón**
- **Situación y tendencias en las Normas de Hormigón**



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 hormigón, 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



Objetivos

- Análisis crítico de las Normas Prescriptivas
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{max} para especificar Durabilidad
- Enfoques Prestacionales a la Durabilidad
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón
- Situación y tendencias en las Normas de Hormigón



Normas por Desempeño (p.ej. SIA 262)

- 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 hormigón (especificadores, proveedores de hormigón y de materiales, contratistas, etc.)
- Al controlar el producto terminado, impone una mentalidad orientada al desempeño en todos los actores, asegurando una competencia leal en:



Normas por Desempeño (p.ej. SIA 262)

- ✓ en los **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
- ✓ en los **Productores de Hormigón**, que deberán diseñar, producir y entregar, eficientemente, concretos que alcancen el desempeño requerido. Se erradicará la adición descontrolada de agua.
- ✓ en los **Proveedores de Materiales** (cementos, aditivos, áridos) que deben diseñar sus productos hacia un desempeño óptimo en el hormigón



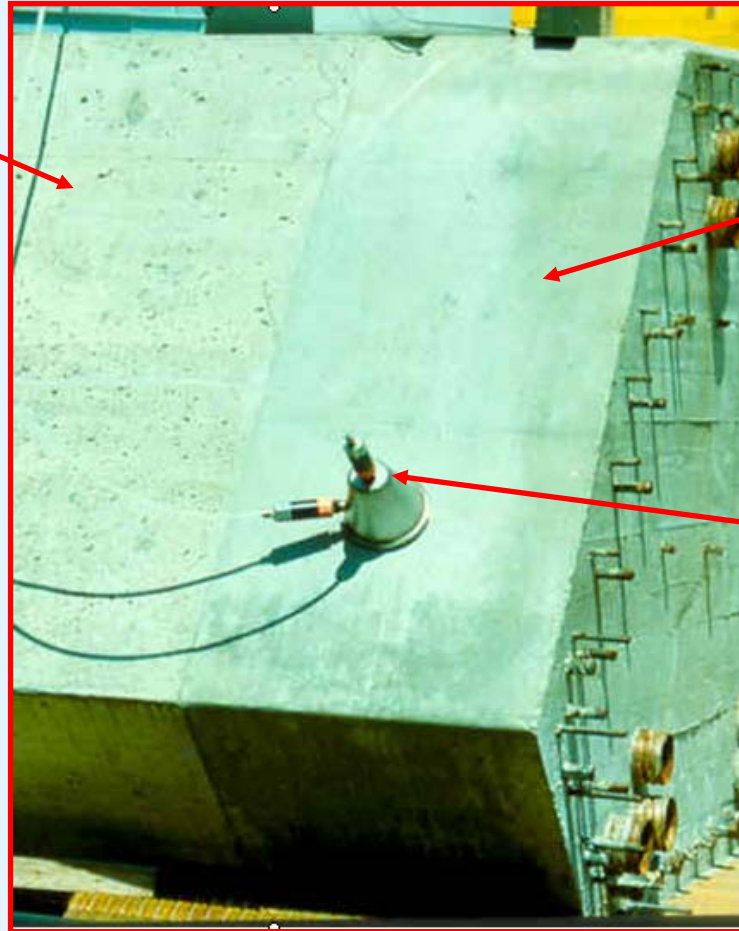
Normas por Desempeño (p.ej. SIA 262)

- 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”
 - Hormigones de Alto Desempeño
 - Compuestos de Ultra Alto Desempeño (selectivamente)
 - Hormigones de baja retracción y de retracción compensada



Uso de Membranas Permeables en los Moldes

Sin Membrana



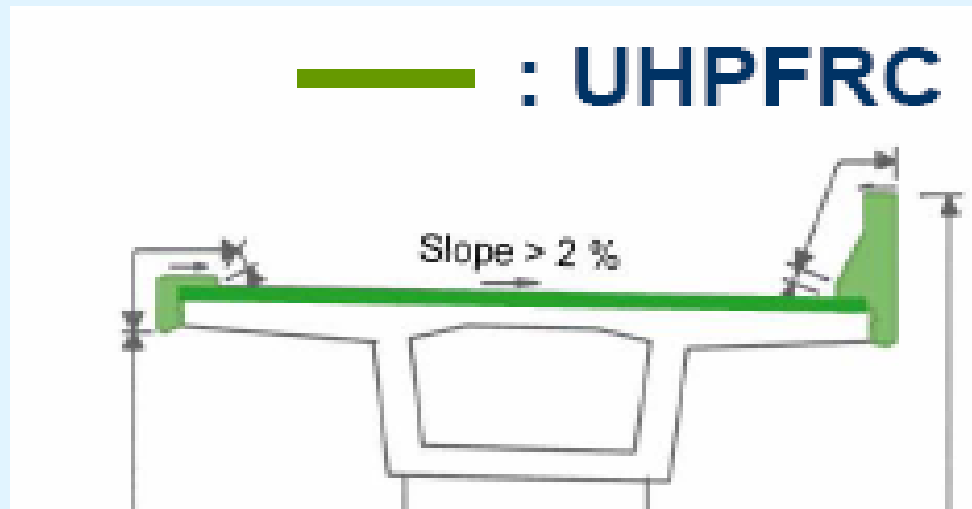
Con Membrana

$kT = 1/10$



Ejemplo de Uso Selectivo de UHPFRC

- Las estructuras de concreto tienen puntos débiles!



UHPFRC: Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Composite

- Idea: usar UHPFRC en partes específicas donde la exposición ambiental o mecánica sea más severa



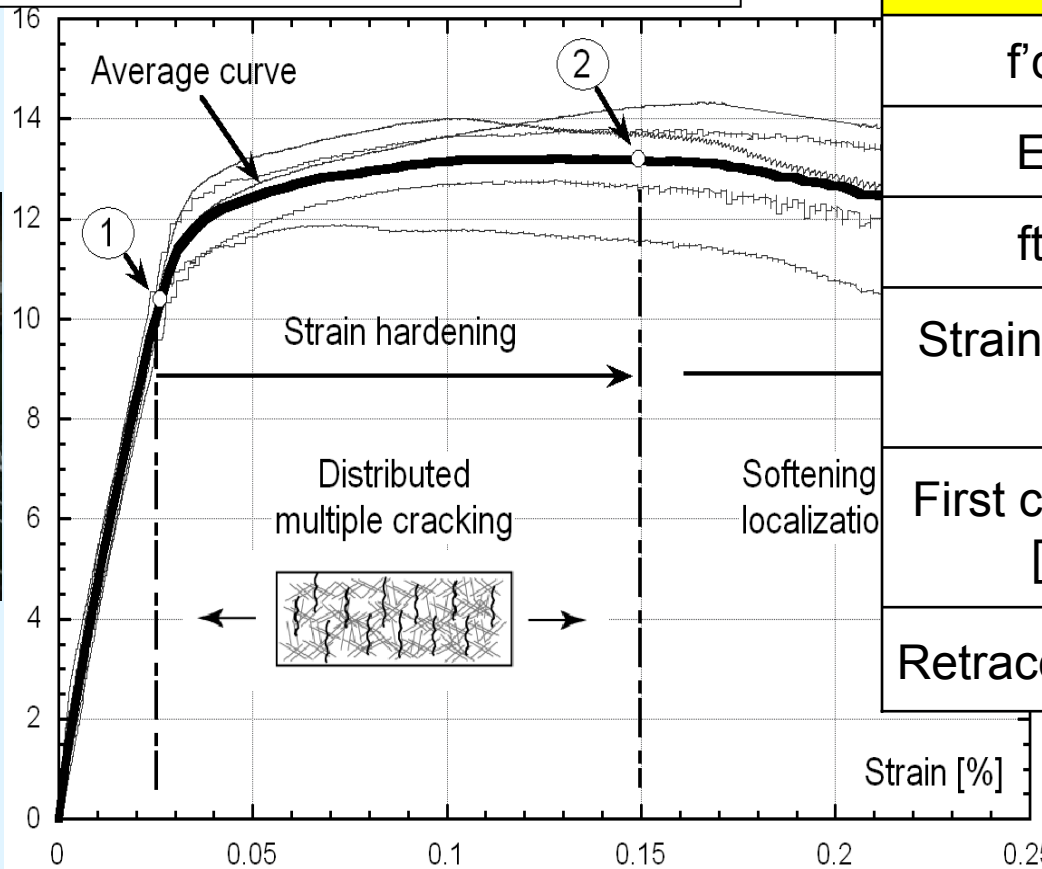
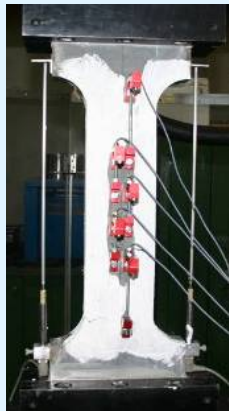
Colocación de UHPFRC





Propiedades Mecánicas de UHPFRC

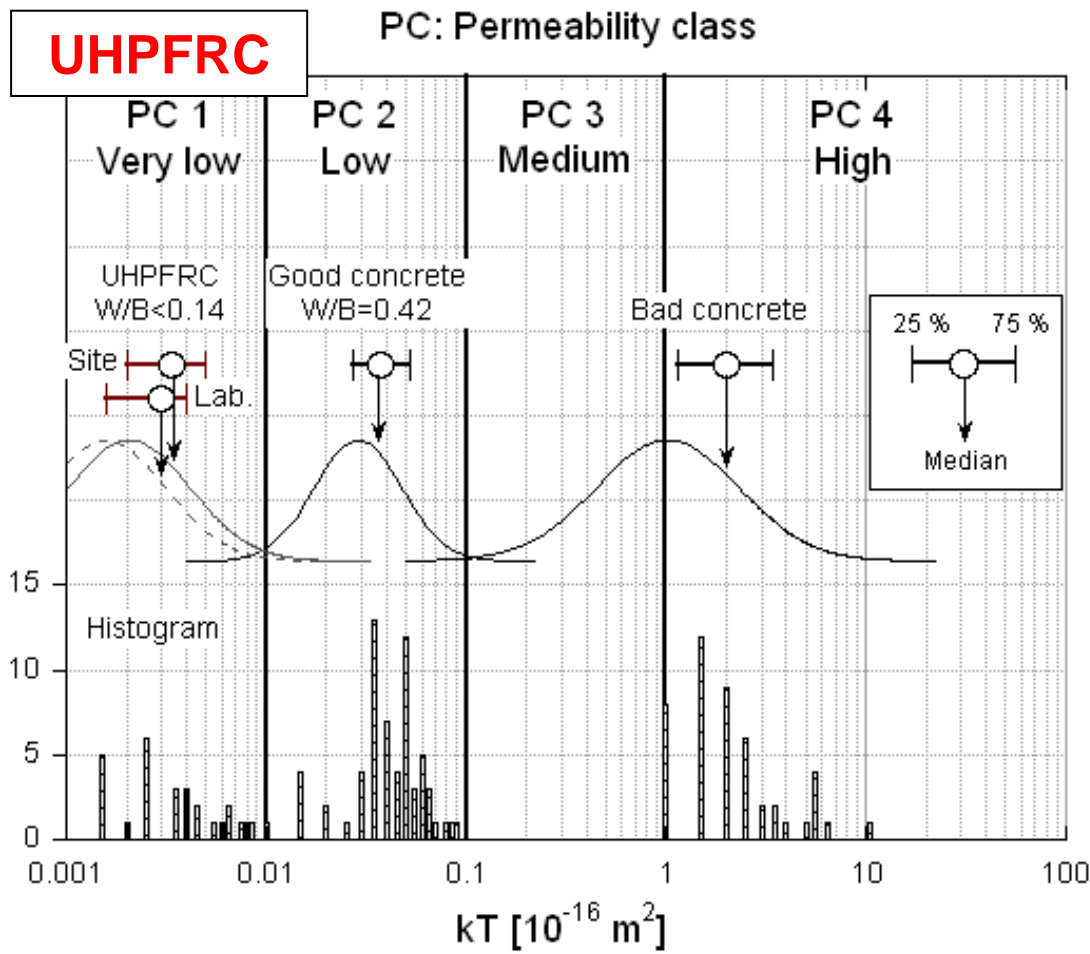
Comportamiento a tracción



Propiedad	UHPFRC	H°C
f'_c [MPa]	160 - 250	~ 40
E [GPa]	48 - 60	~ 35
f_t [MPa]	9 - 20	~ 3
Strain hardening [%]	0.05 - 0.2	0
First crack stress [MPa]	7 - 16	~ 3
Retracción [‰]	0.6 - 1.0	



Permeabilidad al Aire (SIA 262/1E) del UHPFRC





Objetivos

- Análisis crítico de las Normas Prescriptivas
 - ▶ Ejemplo cotidiano: normas sobre arenas para hormigón
 - ▶ “Desmitificación de una vaca sagrada”: la relación a/c_{max} para especificar Durabilidad
- Enfoques Prestacionales a la Durabilidad
 - ▶ Normas Suizas (las más avanzadas en su género)
 - ▶ Enfoque Sudafricano
- Consecuencias previsibles para la Industria de la Construcción en Hormigón
- Situación y tendencias en las Normas de Hormigón



Durabilidad: Situación y Tendencia Normativa

- Hoy la mayoría de las normas de hormigón 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

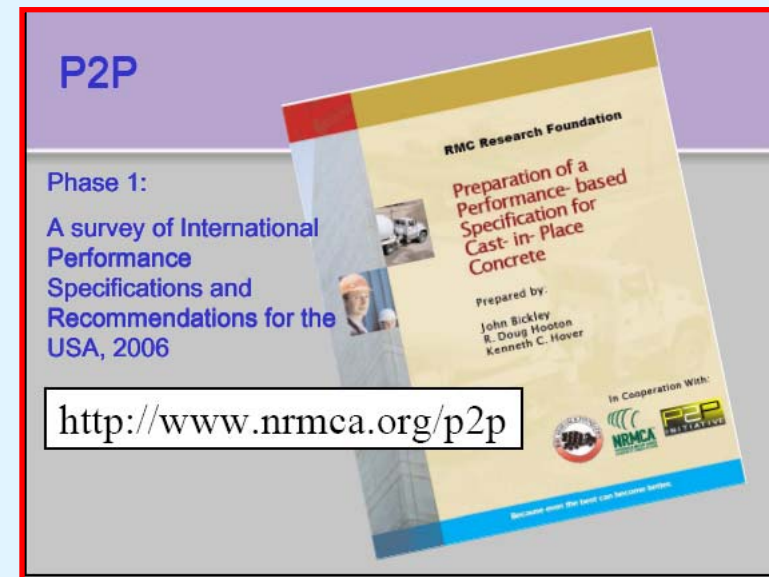
- Hay un creciente interés y demanda para materiales de construcción con una baja impronta ambiental, lo que pone en riesgo la competitividad del hormigón frente a otras soluciones
- Hormigones que cumplan con ensayos de desempeño con mejor impronta ambiental (bajo contenido de CO₂, conteniendo agua 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 hormigón, cemento, agregados y aditivos



Situación y Tendencia Normativa

Varias organizaciones están promoviendo Normas y Especificaciones basadas en el Desempeño del Hormigón o aún de las Estructuras mismas, especialmente en lo referido a su Durabilidad, ejemplos:

- NRMCA: Enfoque P2P (Prescription to Performance)



- RILEM: Comité Técnico 230-PSC "Performance-based Specification and Control of Durability"



Visión de un Consultor Internacional (K. Day)

P2P

Means **Prescription to Performance** as a specification basis

I like to think of it as **Purchaser to Producer** as to responsibility for mix design and QC

This change is now imminent

Prescription must involve a substantial additional margin which is wasteful and expensive

It also involves more knowledge of both technology and material cost and availability than most specifiers have
And more responsibility than most are prepared to accept



Visión de la Industria del Hormigón en USA

El SDC reúne a la industria del hormigón, 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 Hormigón, bajo el auspicio del Strategic Development Council.





Visión de la Industria del Hormigón en USA

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

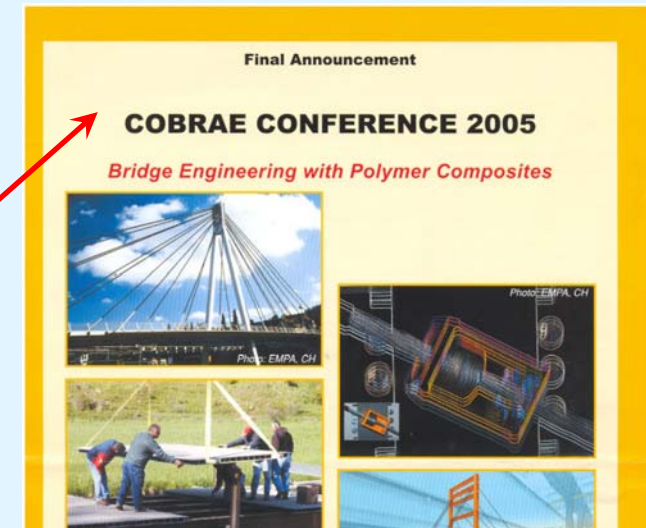
Meta: Trabajar para remover restricciones técnicas en los códigos de construcción, normas y especificaciones que puedan limitar al hormigón y las construcciones en alcanzar su pleno potencial sustentable





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 hormigón
- Es un reto para la Industria del Hormigón, 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 (2003), "Construction en béton – Spécifications complémentaires", Annexe A: ‘Perméabilité à l’eau’.
- Norma Suiza SIA 262/1 (2003), "Construction en béton – Spécifications complémentaires", Annexe B: ‘Résistance aux chlorures’
- Norma Suiza SIA 262/1 (2003), "Construction en béton – Spécifications complémentaires", Annexe H: ‘Teneur en eau du béton frais’.
- Norma Suiza SIA 262/1 (2003), "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
- Day, K., “Futurecrete”, Singapore 2009
- “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).



Acceso a la presentación

www.m-a-s.com.ar

Muchas Gracias!!