

Predicción de la vida útil de las estructuras

Cartagena , septiembre 2004

Carlos Arcila
Paulo Helene

1

Introducción

La historia de los materiales cementosos se remonta a los romanos..



Coliseo Romano

2

Introducción

*Estructuras sin
acero de refuerzo
han sobrevivido
hasta nuestros
días*



Faro de Eddystone

3

Introducción

*Pero con estructuras de
hormigón reforzado la
historia ha sido otra.*

*El deterioro se presenta
implacablemente, excepto
en estructuras masivas con
grandes recubrimientos
sobre el acero.*



4

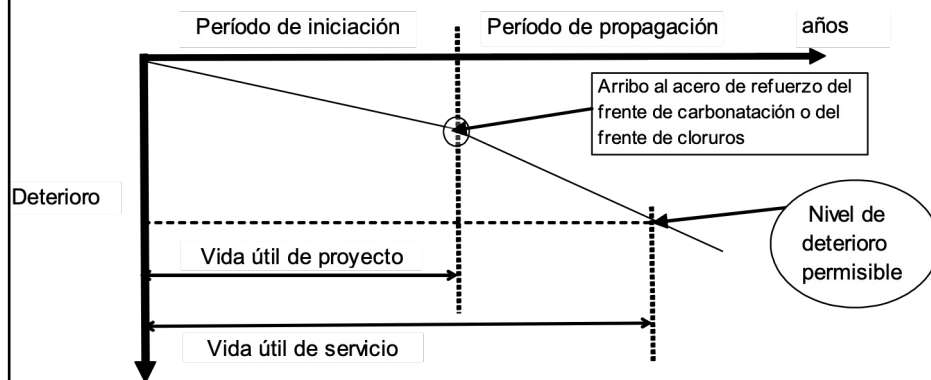
Introducción

- Es muy difícil mantener el concreto reforzado inalterado por largos períodos y sin deterioro, debido a la inestabilidad del acero, particularmente en medios agresivos.



5

Vida útil de las estructuras



El deterioro inesperado de estructuras que fueron construidas para durar “toda la vida” obligó a los investigadores a acuñar el término “vida útil” que *Tuuti* representó con fortuna en este sencillo gráfico.

6

Nivel de deterioro permisible



Cuándo se alcanza el final de la vida útil de servicio de una estructura?

Vida de servicio técnica: tiempo en servicio hasta que es alcanzado un estado límite inaceptable (definido previamente): fisuramiento, deflexiones, nivel de seguridad, falla de elementos, etc.

Vida de servicio funcional: tiempo en servicio hasta que la estructura no es capaz, ya más, de cumplir con los requerimientos funcionales o se vuelve obsoleta.

Vida de servicio económica: tiempo en servicio hasta que el reemplazo de la estructura o parte de ella es más económico que mantenerla en servicio.

7

Bases del diseño estructural

Hasta ahora las estructuras han sido diseñadas y se siguen diseñando de acuerdo con los lineamientos de códigos nacionales o internacionales:

- **ACI 318 (NSR-98)**
- **Eurocode 2**
- **Comité Euro Internacional du Béton**

Los procedimientos de diseño actuales están dominados por determinaciones y análisis que se basan en los principios de resistencia.

8

Consideraciones de diseño

Mecánica del diseño: Consta de dos acciones:

1. Las cargas de servicio son mayoradas para cobijar las incertidumbres en los cálculos.
2. La resistencia de la estructura es reducida mediante un factor de resistencia que refleja la variación en la resistencia de los materiales de construcción, las tolerancias y , también, los efectos de los errores en las fórmulas de predicción y las posibles consecuencias de una falla.

Calibración de los factores:

- La calibración de los factores de carga y resistencia es hecha teniendo en cuenta exclusivamente cálculos de resistencia.
- La vida en servicio, excepto en lo que tiene que ver con recubrimientos y resistencias, generalmente no es incluida en el proceso de calibración.

9

Consideraciones de diseño

De acuerdo con lo expuesto, la selección de los factores de cargas y resistencia, como se formula comúnmente, no cobija ningún criterio de desempeño a largo plazo de la estructura.

Por eso, cada vez, y con mayor insistencia, se invita al diseñador a que involucre los requerimientos de durabilidad para cumplir con una **vida útil proyectada** para la estructura.



10

Vida útil de las estructuras

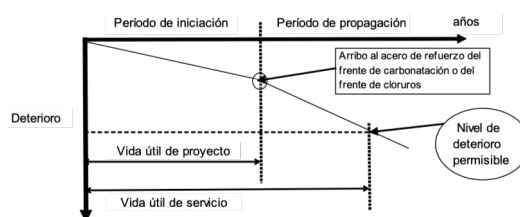
- No hay normativa en nuestro medio, generalmente el dueño de la estructura no expresa un valor de vida útil como requerimiento de diseño!
- Y cuando ésta se define, los programas de cálculo no tienen donde introducir dicho valor y así modificar la estructura de acuerdo con la nueva exigencia!

Entonces es lo mismo diseñar para la isla de San Andrés que para Bogotá, o lo mismo para la zona industrial de Mamonal que para Palmira...



11

Normativa Española



Tipo	Clase	Vida útil de proyecto (años)
1	Estructuras temporales	3-10
2	Partes estructurales reemplazables	25
3	Estructuras Marítimas	50
4	Edificaciones Vivienda y Oficinas	50
5	Edificaciones Salud y educación	100
6	Puentes long>10 m y otras estructuras de repercusión económica alta	100

Nota: estas vidas útiles aparecerán en la nueva especificación EHE en redacción actualmente.

12

Normativa Colombiana

Hasta ahora en el país se ha hecho uso de requerimientos mínimos que debe cumplir el concreto para ciertos ambientes (marino, humedad, sulfatos), pero a manera de *prevención* del deterioro y no de *control del ataque*.

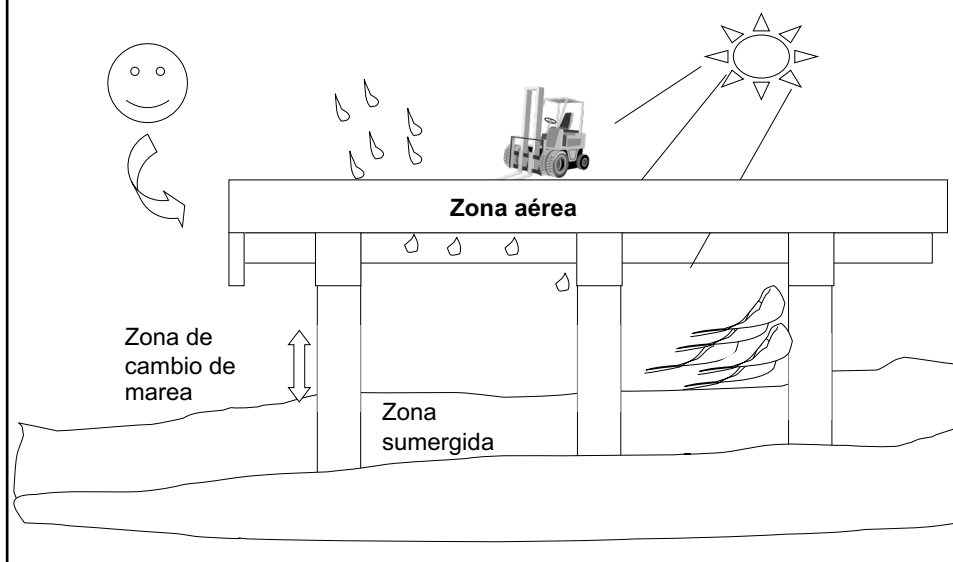
Capítulo C.4 de la NSR-98 el 80% esta dedicado a luchar contra el hielo-deshielo y contra las sales de deshielo, lo que podría cobijar indirectamente estructuras en medio marino, pero que deja de lado otros ambientes.

El comité de normalización de **Icontec** redactó una **Guía de Durabilidad** para estructuras de concreto reforzado, pero está aún a la espera de que sea revisada por el Comité permanente del Código, con miras a que en el futuro reemplace el capítulo de durabilidad existente en la **NSR-98**.

Guía de durabilidad-Icontec

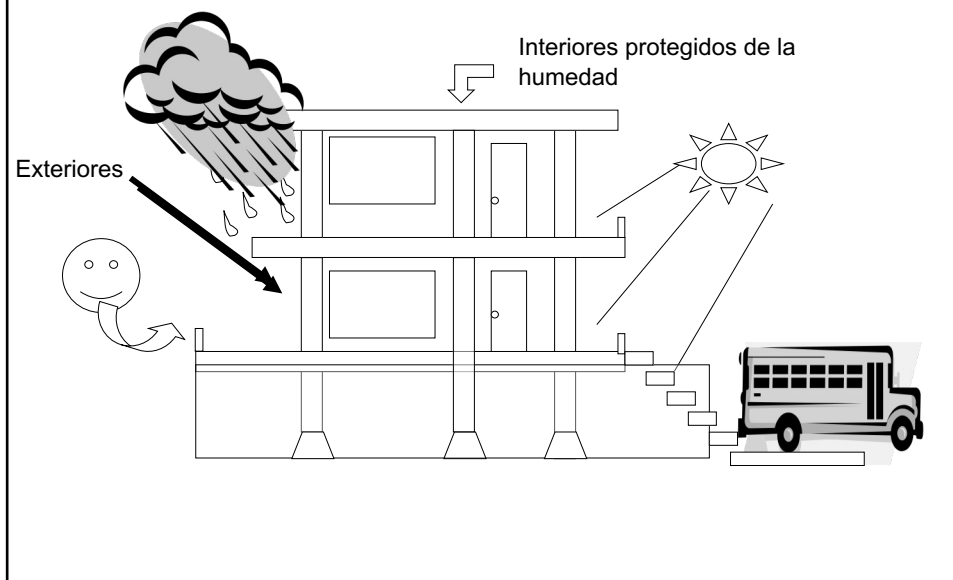
CLASES GENERALES DE EXPOSICION AL MEDIO AMBIENTE		
Clase	Subclase	Tipo de proceso
1		Ningún riesgo de corrosión
2		Corrosión inducida por carbonatación
	2.1	Humedad media
	2.2	humedad alta
	2.3	Ciclos de humedecimiento - secado
3		Corrosión inducida por cloruros del agua de mar
	3.1	Aérea
	3.2	Sumergida
	3.3	En zona de marea
4		Corrosión inducida por cloruros de otro origen
5		Ataque de hielo-deshielo
6		Ataque químico
	6.1	Débil
	6.2	medio
	6.3	Fuerte
7		Desgaste por Erosión-Abrasión

Subclases: Dentro de una misma estructura cambia la exposición y el tipo de ataque



15

Subclases: Dentro de una misma estructura cambia la exposición y el tipo de ataque



16

		CLASE															
		1		2			3			4			5	6			7
PARÁMETRO	Subclases	1	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3		6.1	6.2	6.3		
Máxima relación a/m.c.	Concreto no reforzado	0.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.45	0.5	0.5	0.45	0.5	
⇒ Máxima relación a/m.c.	Concreto reforzado	0.65	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45	0.4	0.55	0.55	0.45	0.45	0.5	0.45	0.45	0.5	
Máxima relación a/m.c.	Concreto preesforzado	0.6	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45	0.4	0.5	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.5	
⇒ Resistencia especificada mínima a compresión MPa		—	24	28	28	28	35	35	28	28	35	31	31	35	35	28	
Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)	Concreto no reforzado	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	275	275	300	325	275	
⇒ Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)	Concreto reforzado	250	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300	
Contenido mínimo de material cementante (kg/m³)	Concreto preesforzado	275	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300	
Contenido de aire incorporado mínimo (%)									**	**	**	**	**	**	**		
Otros requerimientos													*	*	*		

* Cemento resistente a sulfatos (Tipo II, Tipo V) o una adecuada dosis de microsilica o cemento adicionado que cumpla con las normas.

** Según Tabla 4

relación a/m.c. = relación agua / material cementante

Requisitos mínimos para el concreto

17

Tratamiento actual

Las acciones anteriormente mostradas, sirven para **prevenir** el deterioro de las estructuras:

1. Definiendo la clase de ambiente
2. Definiendo la subclase
3. Definiendo los requisitos mínimos del concreto

A esto habría que sumarle las recomendaciones de buena práctica constructiva (colocación, compactación y curado) y darle a la estructura un adecuado espesor de recubrimiento de concreto, denso y sin fisuras, sobre el acero de refuerzo.

Pero se puede hacer un poco más:

4. Definir la vida útil de la estructura
5. Obtener los parámetros de durabilidad de los concretos
6. Usar los modelos de predicción del avance del ataque
7. Diseñar con esos parámetros

18

Predicción de la vida útil en servicio

Podemos predecir la vida útil en servicio de una **estructura nueva** si conocemos:

- Proporciones de las mezclas
- Características de los componentes del concreto
- Ambiente esperado en servicio (ataque crítico)
- Detalles estructurales (ej: recubrimiento previsto o estipulado)
- Métodos de construcción
- Proyecciones de cargas en servicio
- Nivel de deterioro admisible (estados límite)

Experiencia previa en estructuras del mismo tipo!

19

Predicción de la vida útil en servicio

La corrosión es el deterioro más común en las estructuras en el mundo entero.

Mientras otros tipos de ataque (sulfatos, temperatura, ataque de ácidos) se controlan totalmente mediante una adecuada especificación, la lucha contra los dos fenómenos que causan despasivación del refuerzo (carbonatación y cloruros) es un poco más complicada.



20

Mecanismos de transporte

Los procesos de deterioro químico y físico del concreto dependen generalmente del transporte de sustancias deletéreas a través de él.

El agua o algún otro fluido están involucrados en la mayoría de las formas de deterioro del concreto.

Los mecanismos de transporte en el concreto se definen a continuación:

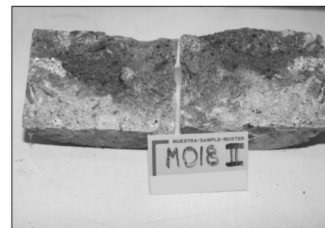


Absorción: fenómeno físico en el que un líquido penetra en un cuerpo sólido debido a la fuerza de succión generada por la tensión superficial en los capilares del sólido.

21

Mecanismos de transporte

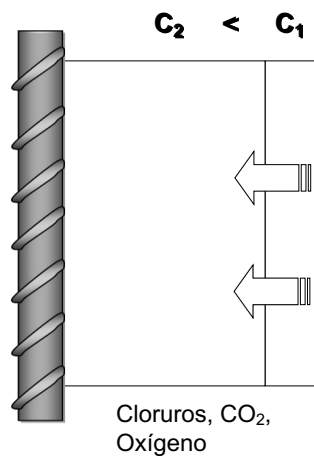
Permeabilidad: facilidad con la cual un líquido o un gas pueden fluir a través de un sólido poroso (involucra presión).



22

Mecanismos de transporte

Difusión: Movimiento de una sustancia de un medio a otro (motivado generalmente por las diferencias de concentración)



Es por esta razón que en la predicción de la vida útil de una estructura ocupa un lugar especial el cálculo de coeficientes de difusión al CO_2 y a los cloruros

23

Modelos de predicción de la vida útil

Carbonatación

Mecanismo preferente de despasivación en ciudades y polos industriales.

Su velocidad de avance es función de :

- Porosidad del concreto (a/c, compactación, tipo de curado)
- Tipo y cuantía de cementante (% adición, C, %CaO)
- Humedad relativa del medio ambiente
- Nivel de CO_2 en el ambiente C_s
- Edad de la estructura (t)
- Tipo de exposición al medio ambiente

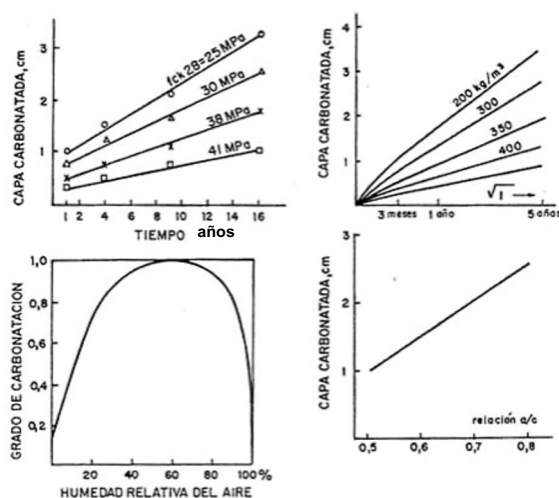


24

Modelos de predicción de la vida útil

Carbonatación

Variación del espesor carbonatado con la resistencia, el contenido de cemento, la relación a/c y la humedad ambiental



Manual de Inspección de obras dañadas por Corrosión (Ietcc)

25

Modelos de predicción de la vida útil

Cálculo de la profundidad de carbonatación (CEB)

$$e = k_{CO_2} \cdot \left(\frac{t_0}{t} \right)^n \cdot \sqrt{t}$$

Tipo de exposición	n
Interior	0,0
Exterior protegida	0,1
Exterior no protegida	0,4

Posición del elemento en la estructura	Calidad del curado	$K_1 \cdot K_2$
Interior	Bueno	1,0
Interior	Malo	2,0
Exterior	Bueno	0,5

$$k_{CO_2} = \frac{2 \cdot D_{CO_2} \cdot C_s \cdot K_1 \cdot K_2}{a}$$

$$D_{CO_2} = 10^{-(7+0,025 f'c/10)}$$

Datos de la mezcla:

$$a = C_s \cdot \frac{\%CaO}{100} \cdot \frac{(50 \cdot a/c + 40)}{100} \cdot 0,8$$

26

Comparativo D_{CO_2} y K_{CO_2} varios autores

Datos de la mezcla			Coeficiente de Difusión		Velocidad de carbonatación		
			D_{CO_2} (m ² /s)		K_{CO_2} (mm/año ^{1/2})		
f_{ck} (Mpa)	a/c	Cemento (kg/m ³)	CEB	TUUTTI	CEB	TUUTTI	HELENE
20	0,65	250	$8,9 \cdot 10^{-8}$	$9,9 \cdot 10^{-8}$	5,7	6,0	6,0
25	0,60	300	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	5,2	5,0	5,0
35	0,45	400	$8,2 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$	4,7	4,0	3,0

Cálculo de K_{CO_2} Manual SIPUCOL

$$K_{CO_2} = 72 \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{f_c}} - 0,126 \right]$$

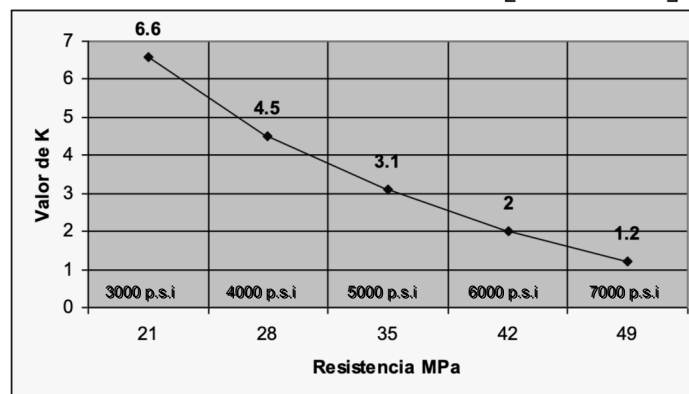
Resistencia (f'_c) Mpa	K_{CO_2}
20	7.0
25	5.3
35	3.1

27

Cálculo del coeficiente de carbonatación K_{CO_2}

Manual SIPUCOL

$$K_{CO_2} = 72 \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{f_c}} - 0,126 \right]$$

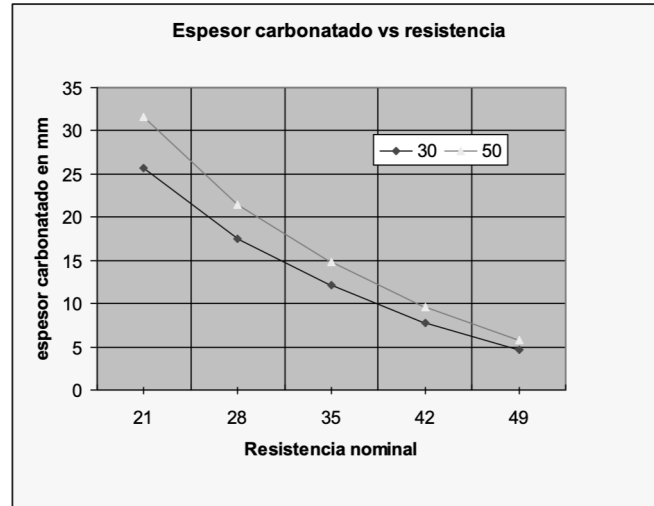


Pseudo-Velocidad de carbonatación

28

Cálculo de espesor carbonatado

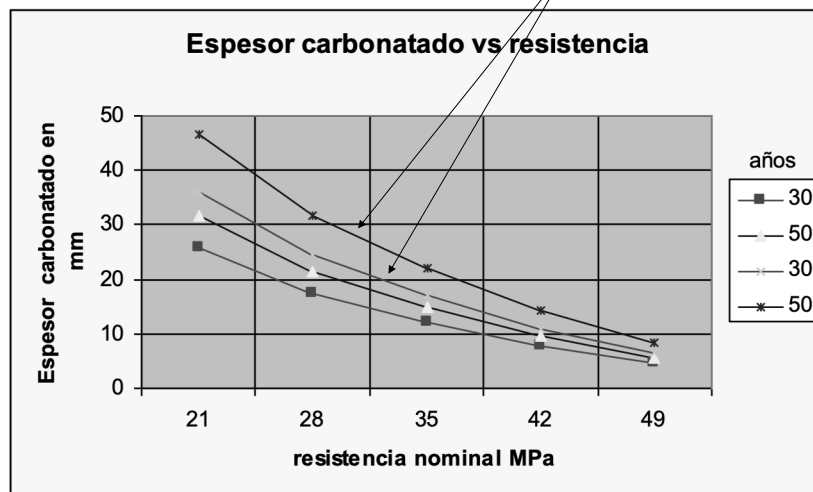
$$e = k_{CO_2} \cdot \left(\frac{t_0}{t} \right)^n \cdot t$$



29

Cálculo del espesor carbonatado

$$e = k_{CO_2} \cdot \sqrt{t}$$



30

Calibración de los modelos de predicción

Los modelos no son exactos, de ahí la necesidad de efectuar calibraciones

1. Efectuando ensayos de carbonatación acelerada
2. Evaluando estructuras de las que se conozca al menos la edad

Medir espesor
carbonatado



Medir recubrimientos
(flejes, barras ppales)

Con la edad de la estructura calcular
el coeficiente de difusión de CO_2

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{e}{\sqrt{t}}$$

Pseudo-velocidad de
carbonatación

31

Calibración de los modelos de predicción



Edad=35 años

Puente Oriental Calle 26 Av 68			
Elemento	Espesor Carbonatado (mm)	K_{CO_2}	Proyección Sipucol
Columnas	25,8	4,4	7,5
Vigas Cabezales	20,7	3,5	7,0
Vigas Long	17,9	3,0	3,3

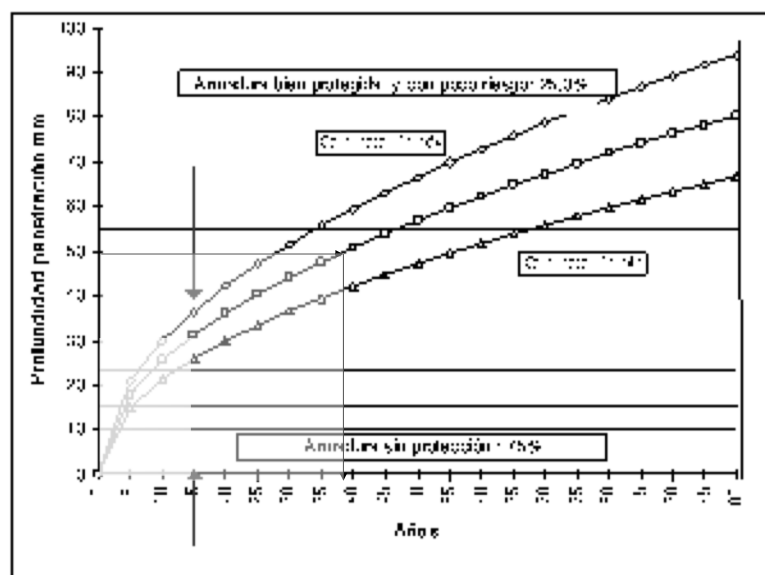


Edad=14 años

Puente Occidental Calle 26 Av 68			
Elemento	Espesor Carbonatado (mm)	K_{CO_2}	Proyección Sipucol
Columnas	19,8	5,3	6,4
Vigas Cabezales	17,9	4,8	5,5
Vigas Long	17,6	4,7	3,2

32

Predicción vida útil



33

Modelos de predicción de la vida útil

Transporte de cloruros

Mecanismo preferente de despasivación en muelles y edificaciones en ambiente marino

La velocidad de ingreso dependerá de :

- Porosidad del concreto (a/c, compactación, tipo de curado)
- Grado de saturación de los poros
- Tipo y cuantía de cementante (% adición, C, %C3A)
- Ancho y número de fisuras existentes
- Temperatura
- Tiempo

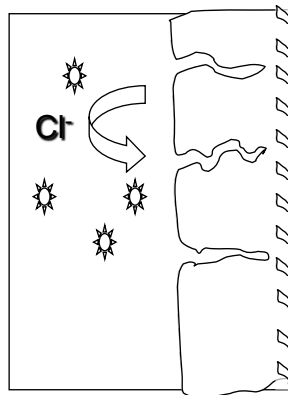


34

Modelos de transporte de cloruros

Modelar el ingreso de cloruros es más complicado que establecer modelos de carbonatación, ya que se generan varios fenómenos particulares:

- Los cloruros ingresan al concreto a través de su red porosa por absorción capilar
- Además penetran también por difusión
- La naturaleza del agua de poros influye en el transporte de los iones (alcalinidad, viscosidad)
- Los cementos tienen cierto poder de fijación de cloruros (C_3A, C_4AF)
- No basta con que el cloruro arribe al acero, debe acumularse hasta llegar a la cuantía crítica (0,4% del peso del cemento) para causar la disolución de la capa pasiva.



35

Cálculo del coeficiente de difusión de Cloruros

Debido al gran número de factores que influyen en el transporte de iones cloruro, es necesario hacer algunas simplificaciones y por esta razón se ha diseñado ensayos que cobijan los mecanismos de transporte más importantes.

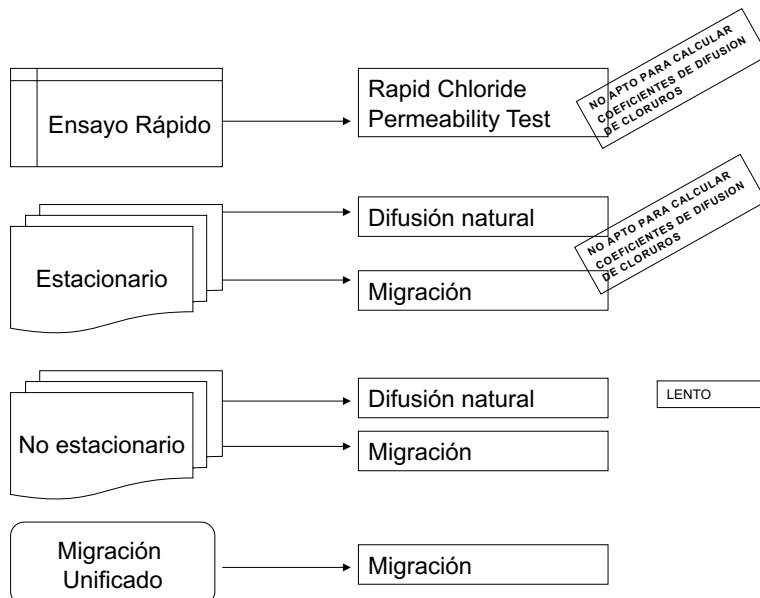
Se distinguen dos tipos de coeficiente de difusión:

- Coeficiente de difusión **efectivo** o de estado estacionario: sólo tiene en cuenta el transporte de iones a través de la fase sólida
- Coeficiente de difusión **aparente** o de estado no estacionario: considera tanto el transporte como la interacción con la fase sólida.

De éstos dos, sólo el último (Coeficiente de difusión No estacionario) sirve para modelar y predecir vida útil de una estructura.

36

Cálculo del coeficiente de difusión de Cloruros



37

Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Rapid Chloride Permeability Test

Tradicionalmente se han efectuado ensayos de *difusión natural* para determinar los coeficientes de difusión de cloruros.

Pero el principal problema es que tardan meses hasta que se obtienen resultados precisos, por eso se hace uso de pruebas aceleradas. A continuación se exponen los sistemas existentes:

ASTM 1202-97 "Electrical indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Penetration"

Ensayo indicado, por su rapidez de ejecución (6h), para hacer comparativos entre diferentes diseños de concretos y evaluar la influencia de adiciones, inhibidores, etc.



38

Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

ASTM 1202-97 "Electrical indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Penetration"

Carga que pasó (Coulombios)	Facilidad de penetración de cloruros
>4000	Alta
2000-4000	Moderada
1000-2000	Baja
100-1000	Muy Baja
<100	Despreciable

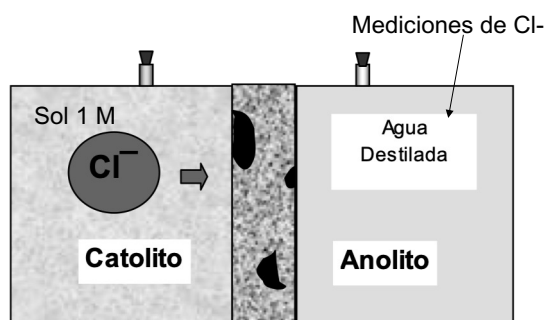
Calificación del Ensayo Rápido de Permeabilidad a Cloruros

39

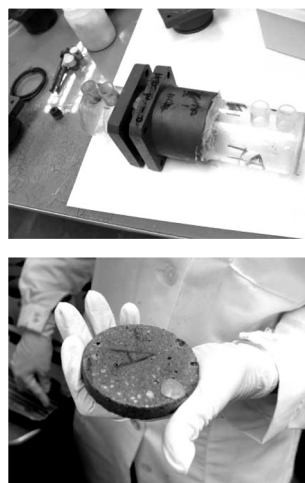
Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Ensayos en estado estacionario:

- Difusión natural



Probeta saturada, no ingresan cloruros por absorción, sólo por difusión.



40

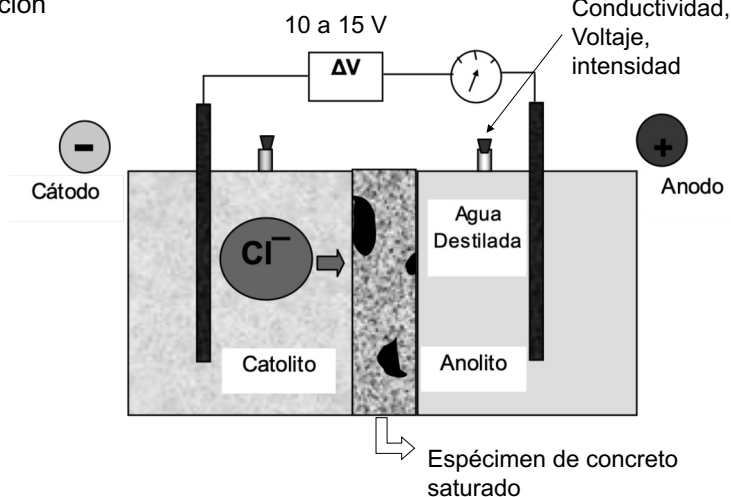
Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Ensayos en estado estacionario:

- Migración

Mediciones:

Conductividad,
Voltaje,
intensidad



41

Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Ensayos en estado NO- estacionario:

- Difusión natural (ASTM C-1556-03)

El concreto saturado se somete a la acción de una solución salina (semi-inmerso) y 35 días después se toman muestras para determinar los D_{Cl} .

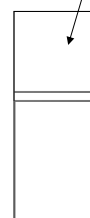
$$C(x,t) = C_s - (C_s - C_o) \cdot \text{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{4 \cdot D_{\text{Cl}} \cdot t}}\right)$$

C_s : se determina mediante un análisis de regresión lineal (mínimos cuadrados).

C_o : contenido de ión cloruro inicial en el concreto

t : tiempo de exposición (s)

Solución de Cl^-

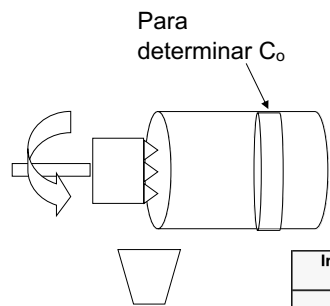


42

Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Ensayos en estado NO- estacionario:

- Difusión natural (ASTM C-1556-03)



Se toman muestras a las profundidades recomendadas (ASSHTO T-259) y se determina contenido de Cl^-

Luego se procesa la información de distancias vs concentraciones mediante una regresión lineal apropiada

Intervalos de profundidad recomendados para tomar la muestra (mm)			
a/cm	0,40	0,50	0,60
No.1	0-1	0-1	0-1
No.2	1-3	1-3	1-3
No.3	3-5	3-5	3-6
No.4	5-7	5-8	6-10
No.5	7-10	8-12	10-15
No.6	10-13	12-16	15-20
No.7	13-16	16-20	20-25
No.8	16-20	20-25	25-30

43

Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Ensayos en estado NO- estacionario:

- Difusión natural (ASTM C-1556-03)

De igual manera se puede procesar información de cloruros de una estructura existente, conociendo simplemente la edad.

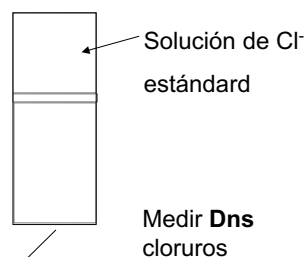
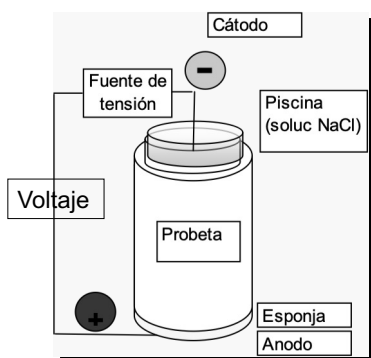


44

Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Ensayos en estado NO- estacionario:

- Migración (acelerado con voltaje)



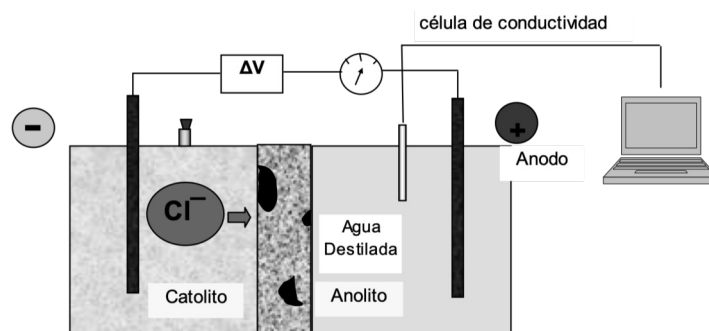
Se puede correlacionar un ensayo de migración (ayudado por voltaje) contra la determinación por difusión natural, y así poder determinar el tiempo de difusión equivalente

45

Ensayos para el estudio del transporte de cloruros

Ensayo de migración unificado:

- A partir de un ensayo de migración en estado estacionario y con la ayuda de un medidor de conductividad en la solución



Permite calcular el coeficiente de difusión aparente

46

Cálculo del Coeficiente de Difusión de Cloruros

Modelo del ACI 365:

$$C_x = C_o + (C_s - C_o) \left(\frac{t_o}{t} \right)^{n_s} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2 \sqrt{D_{Cl} t. \left(\frac{t_o}{t} \right)^{n_D}}} \right] \right\}$$

Función de error de Gauss

Concentración de cloruros a la distancia x

Coef Difusión determinado en laboratorio a la edad t_o

Factor de edad (t : edad del cálculo)

Concentración de Cl^- en la superficie

Concentración inicial de Cl^-

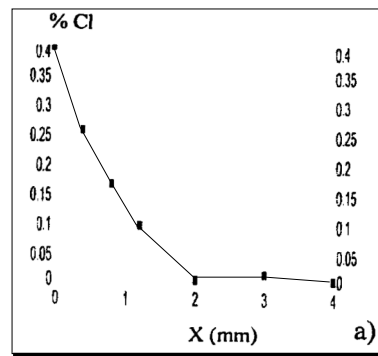
n_s : factor de corrección de la concentración superficial con el tiempo (>1)

n_D : factor de corrección del coeficiente de difusión con la edad (<1)

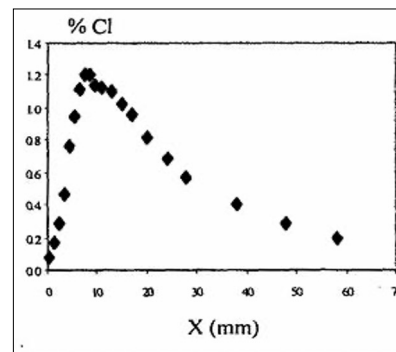
47

Concentración superficial de Cloruros

Contrario a lo que se espera la concentración superficial de cloruros puede ser menor a la que se encuentra en el interior (efecto piel):



Perfil teórico

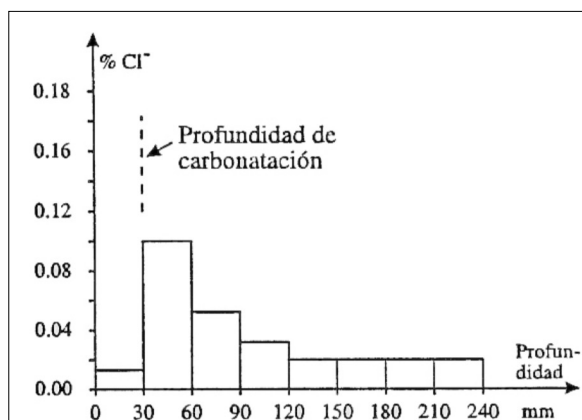


Perfil real

48

Concentración superficial de Cloruros

Helene explica la influencia de la carbonatación en la concentración superficial de cloruros



49

Coeficientes de difusión

Varios investigadores a nivel mundial han trabajado en el tema, veamos sus conclusiones:

Caracterización de variables propuestas por Da Silva

Variable	Unidades	Media	V(%)
$D_{Cl} (a/c=0,4)$	m^2/s	$5,74 \cdot 10^{-12}$	16
$D_{Cl} (a/c=0,5)$	m^2/s	$8,31 \cdot 10^{-12}$	21
$D_{Cl} (a/c=0,6)$	m^2/s	$1,16 \cdot 10^{-11}$	20
$D_{Cl} (a/c=0,7)$	m^2/s	$1,50 \cdot 10^{-11}$	17
$D_{Cl} (a/c=0,8)$	m^2/s	$1,77 \cdot 10^{-11}$	24
$D_{Cl} (a/c=0,9)$	m^2/s	$1,82 \cdot 10^{-11}$	16

Coeficiente de difusión en función de la relación agua/cemento

50

Coeficientes de difusión

Cálculos de Izquierdo

Caracterización de variables propuestas por Izquierdo et al			
Variable	Unidades	Media	V(%)
D_{Cl} (zona de salpique)	m^2/s	$5,27 \cdot 10^{-13}$	90
D_{Cl} (zona de marea)	m^2/s	$5,45 \cdot 10^{-13}$	51
D_{Cl} (zona aérea)	m^2/s	$4,44 \cdot 10^{-13}$	100

Coeficientes de difusión para diferentes tipos de exposición en una estructura en medio marino

51

Coeficientes de difusión

Resultados de la investigación de Mc Gee de puentes de Tasmania:

Caracterización de variables propuestas por McGee					
Variable	Distancia al mar (Km)	Altura sobre el mar (m)	Unidades	Media	V(%)
C_s	0	<2	% concreto	0,464	54,5
C_s	0	2-4	% concreto	0,207	71,5
C_s	>0,1	>4	% concreto	0,287	47,4
C_s	>0,5	>4	% concreto	0,135	17,8
C_s	Todos los datos		% concreto	0,384	65,3

Concentración de cloruros en la superficie de una estructura para diferentes distancias y alturas sobre el nivel del mar

52

Coeficientes de difusión

Resultados de la investigación de Mc Gee de puentes de Tasmania:

Caracterización de variables propuestas por McGee					
Variable	Distancia al mar (Km)	Altura sobre el mar (m)	Unidades	Media	V(%)
D_{Cl}	0	<2	m^2/s	$1,25 \cdot 10^{-12}$	48
D_{Cl}	0	2-4	m^2/s	$6,30 \cdot 10^{-13}$	43
D_{Cl}	>0,1	>4	m^2/s	$6,30 \cdot 10^{-14}$	47
D_{Cl}	>0,5	>4	m^2/s	$6,30 \cdot 10^{-15}$	41
D_{Cl}	Todos los datos		m^2/s	$1,10 \cdot 10^{-12}$	60

Coeficiente de difusión de cloruros de una estructura para diferentes distancias y alturas sobre el nivel del mar

53

Coeficientes de difusión

Figuras izquierdo
Christian

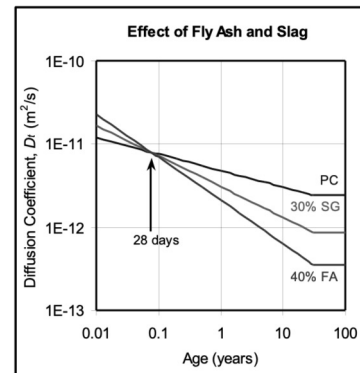
54

Influencia de las adiciones en la penetración de cloruros (Life- 365 Prediction)

$$D_{Cl_{28d}} = 10^{(-12,06+2,4.a/c)} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

$$D(t) = D_{ref} \cdot \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m \quad \text{m}^2/\text{s}$$

$$m = 0,2 + 0,4 \cdot \left(\frac{\%FA}{50} + \frac{\%SG}{70} \right)$$

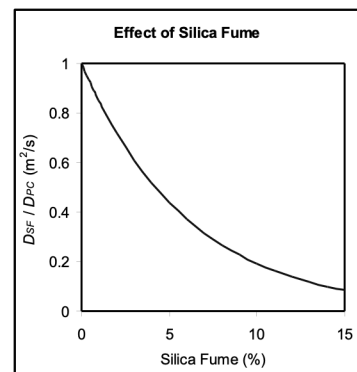


55

Influencia de las adiciones en la penetración de cloruros (ACI 365)

$$D_{Cl_{28d}} = 10^{(-12,06+2,4.a/c)} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$D_{SF} = D_{PC} \cdot e^{-0.165 \cdot SF} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$



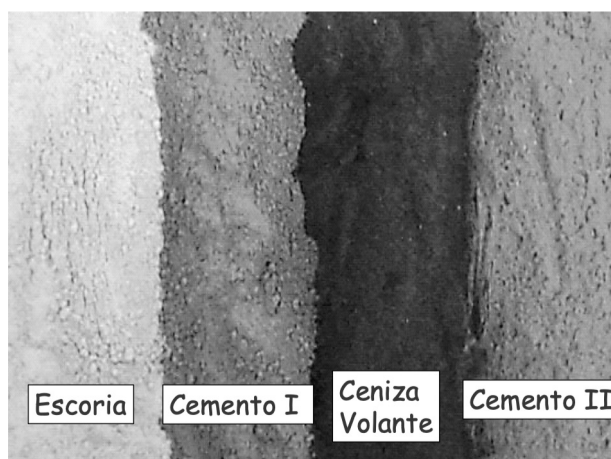
56

Modelos de predicción en nuestro medio

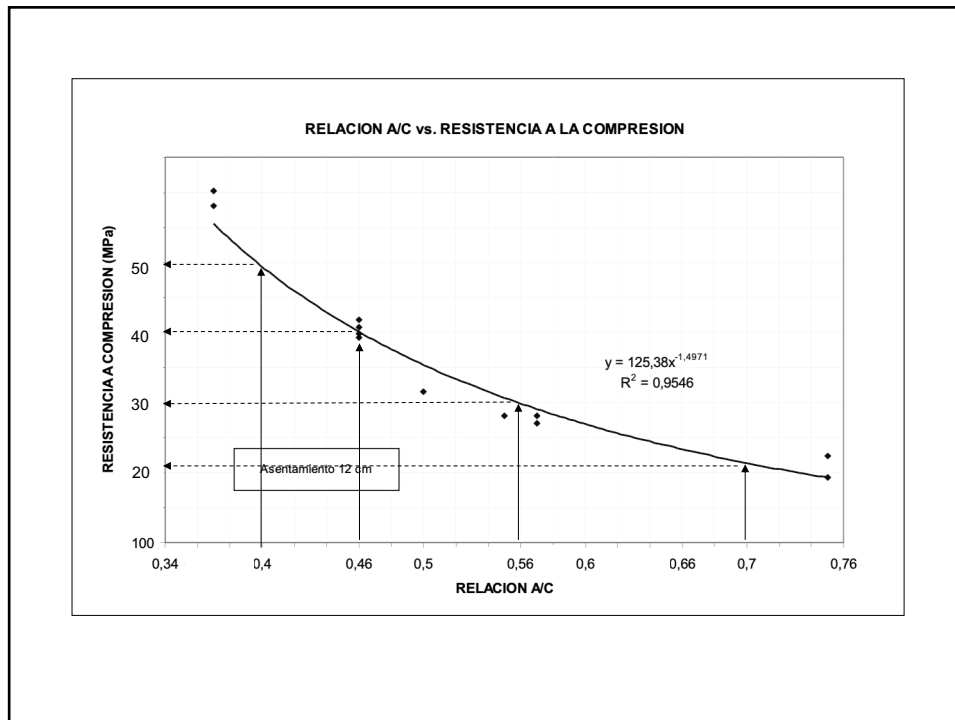
Para el empleo de estos modelos en nuestro medio hace falta:

- El estudio de diseños de mezclas de concreto con y sin adición puzolánica y la determinación de los parámetros esenciales para introducir en los modelos de carbonatación y de penetración de cloruros.
- Evaluaciones de estructuras cada vez más completas, donde el presupuesto destinado a las mismas permita hacer un buen estudio por parte de investigadores con alguna experiencia.
- Guardar además de las memorias técnicas de los proyectos, la información sobre los concretos empleados (cemento, % de adición y tipo, cuantía de cemento, resistencia característica), de manera que al hacer monitoreos de estructuras se cuente con los datos necesarios para ajustar los modelos a nuestro medio.
- Con estas tres acciones se podrá tener en un futuro no muy lejano la información necesaria para que el diseñador proyecte su estructura para enfrentar con éxito el ambiente y los agresores del medio.

57



58



59

Predicción de la vida útil en servicio

En estructuras **en servicio** la predicción de la vida residual se basa en el conocimiento de:

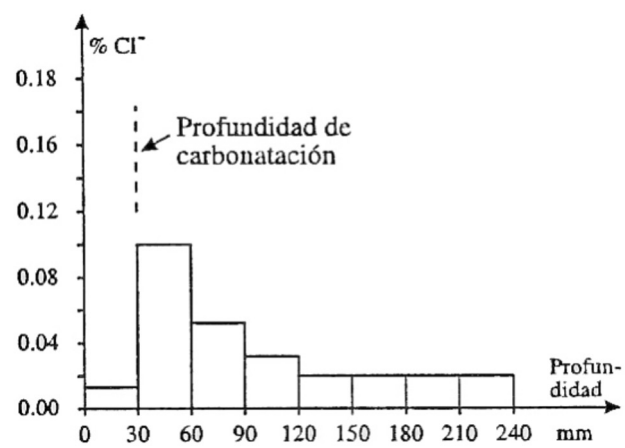
- Condiciones actuales de la estructura
- Velocidad de degradación
- Cargas pasadas y futuras previstas
- Definición del fin de la vida de servicio (estados límite)

Aquí se hace uso de los modelos de deterioro existentes!

60



61



62