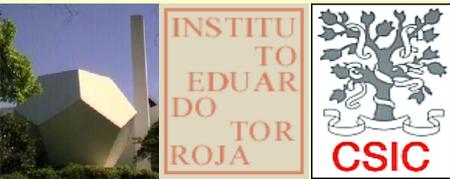


VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Carmen Andrade

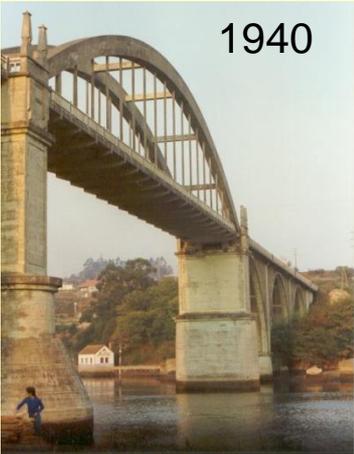
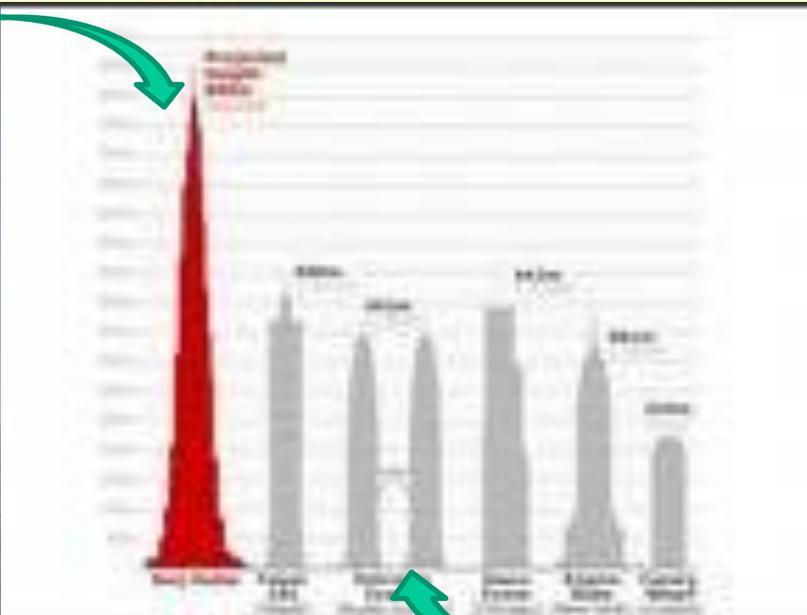
**Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja”-CSIC
España**



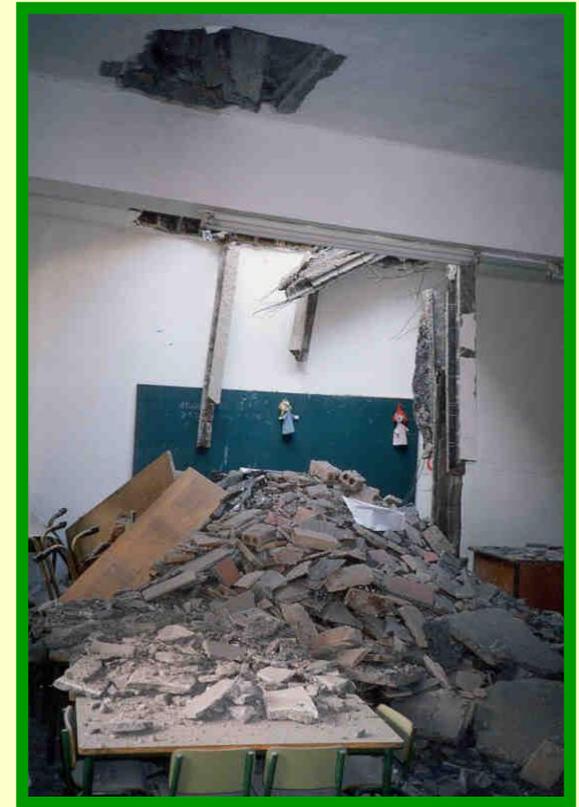
II Simposio sobre a Durabilidade das estruturas de concreto



ESTRUCTURAS SIN LIMITES DE CALCULO



EL HORMIGÓN SE DETERIORA CORROSION DE LA ARMADURA



II Symposio sobre a Durabilidade das
estruturas de concreto

Un ejemplo

ESTADIO DE MARACANA 1950

la marquesina ha tenido que ser demolida pues la armadura estaba corroída o desaparecida a pesar de que nos e apreciaba ninguna fisuración externa



Maracana del siglo XXI



simposio sobre a Durabilidade das estruturas de concreto

DEFINICION

VIDA UTIL Y DE DURABILIDAD

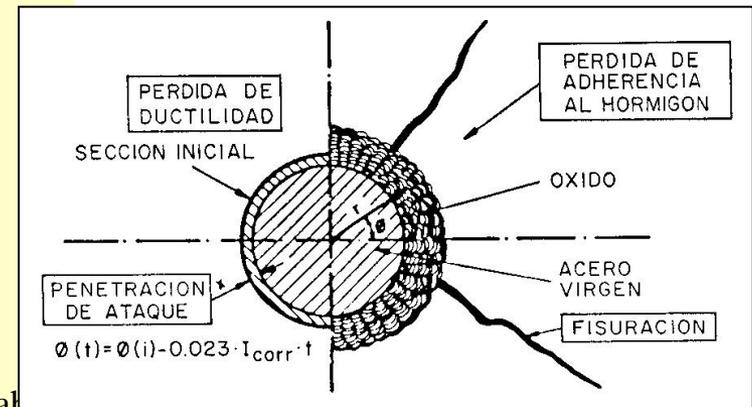
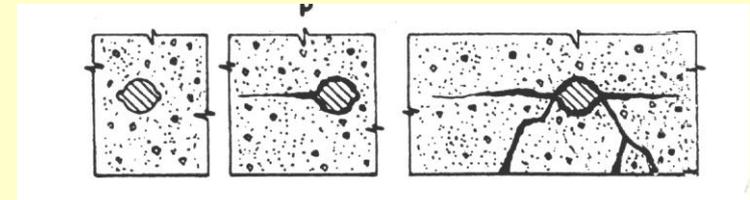
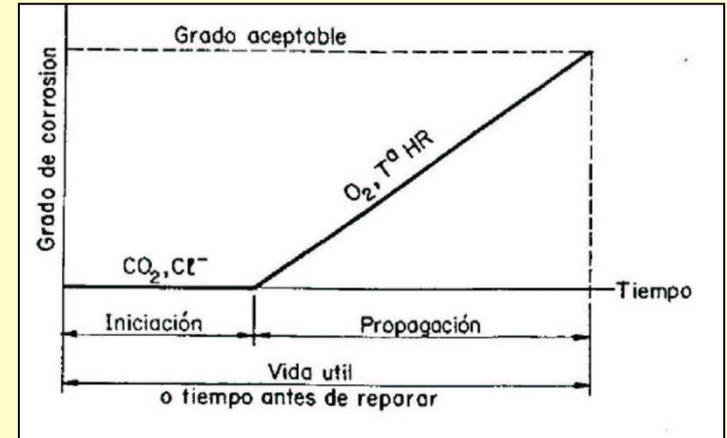
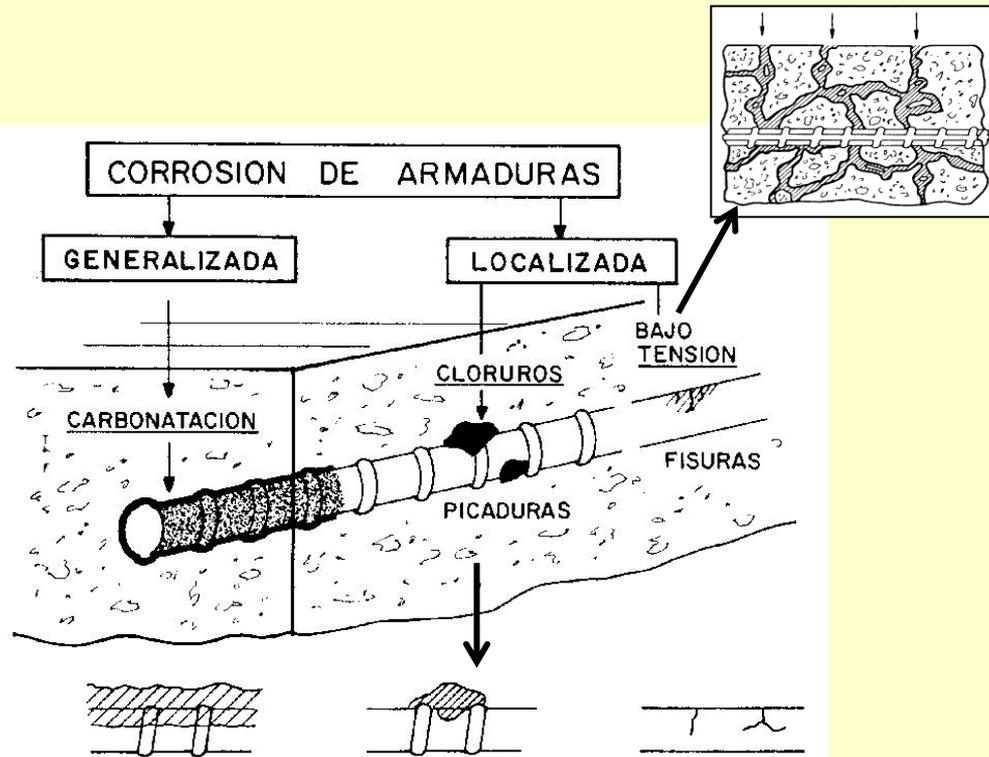
Vida Útil

- Es el periodo de tiempo en el que la estructura conserva su
 - **Seguridad, Funcionalidad y Estética**en los niveles definidos en el proyecto sin costes inesperados de mantenimiento

Durabilidad

La durabilidad de una estructura de hormigón es su **capacidad para soportar**, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

MODELO VIDA UTIL



PRESCRIPCIONES PARA DURABILIDAD

En códigos actuales

SEGÚN CLASES DE EXPOSICION

Clase de exposicion	
interior	
carbonatacion	
Cloruros marinos	
Cloruros no marinos	

PRESCRIPCIONES PARA DURABILIDAD SEGÚN CLASES DE EXPOSICIÓN

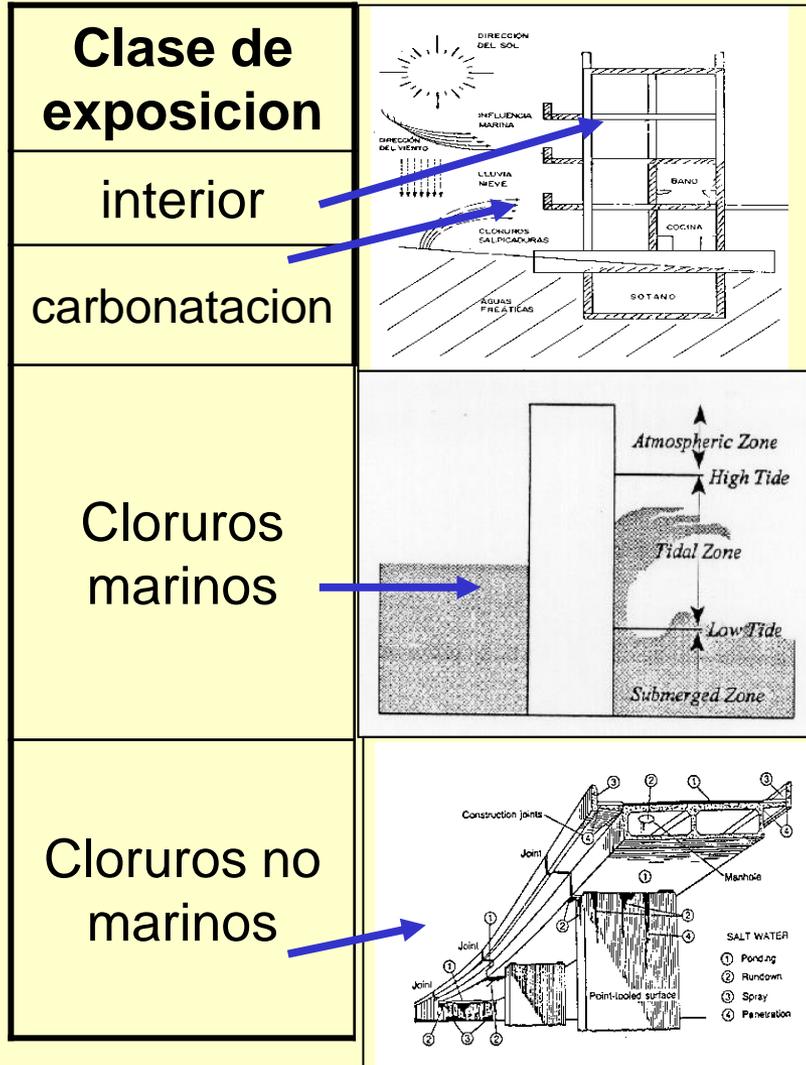


Tabla 37.3.2.a Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	Illa	Illb	Illc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima Relación a/c	masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	pretensado	0,60	0,60	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Tabla 37.3.2.b Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad (*)

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	Illa	Illb	Illc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
resistencia	masa	20	-	-	-	-	-	-	30	30	35	30	30	30
Mínima (N/mm ²)	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

PRESCRIPCIONES PARA DURABILIDAD SEGÚN CLASES DE EXPOSICIÓN

Clase de exposición interior	
carbonatacion	
Cloruros marinos	
Cloruros no marinos	

Tabla 37.3.2.a Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	Illa	Illb	Illc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Máxima Relación a/c	masa	0,65	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	pretensado	0,60	0,60	0,55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	masa	200	-	-	-	-	-	-	275	300	325	275	300	275
	armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Tabla 37.3.2.b Resistencias mínimas recomendadas en función de los requisitos de durabilidad (*)

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	Illa	Illb	Illc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
resistencia (N/mm ²)	masa	20	-	-	-	-	-	-	30	30	35	30	30	30
	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

Tabla 37.2.1.a Recubrimientos mínimos (mm) para las clases generales de exposición I y II

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t _p), (años)	
			50	100
I	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
II a	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	20	30
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	20	30
II b	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30



para las clases generales de exposición III y IV

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto (t _p) (años)	Clase general de exposición			
			IIIa	IIIb	IIIc	IV
Armado	CEM IIIA, CEM IIIB, CEM IV, CEM IIIS, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
		Resto de cementos utilizables	50	45	40	-
Pretensado	CEM IIIA, D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45

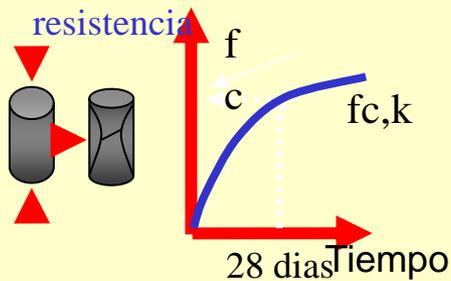
Tabla 37.1.2

Clase de exposición según artículo 9 ^o	Hormigón armado (para la combinación cuasipermanente de acciones)	Hormigón pretensado (para la combinación frecuente de acciones)
I	0,4	0,2
IIa, IIb, H	0,3	0,2 ⁽¹⁾
IIa, IIb, IV, F, Qa ⁽²⁾	0,2	Descompresión
IIIc, Qb ⁽²⁾ , Qc ⁽²⁾	0,1	

⁽¹⁾ Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección, bajo la combinación cuasipermanente de acciones.
⁽²⁾ La limitación relativa a la clase Q sólo será de aplicación en el caso de que el ataque químico pueda afectar a la armadura. En otros casos, se aplicará la limitación correspondiente a la clase general correspondiente.

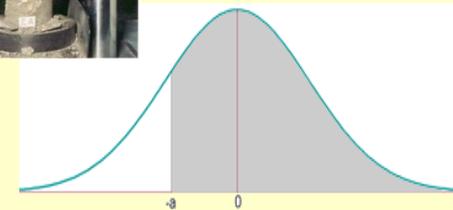
PARA CAMBIAR A UN METODO BASADO EN DESEMPEÑO (performance)

- *Es necesario parámetros como la resistencia del hormigón que se comprueba para cumplir una probabilidad de fallo.*



“Valor característico”

5% of probability of failure



Hay que aplicar los mismos conceptos a la predicción de la Durabilidad

(Proyecto DURACRETE y Model Code 2010)

FORMATOS COMPROBACION DURABILIDAD

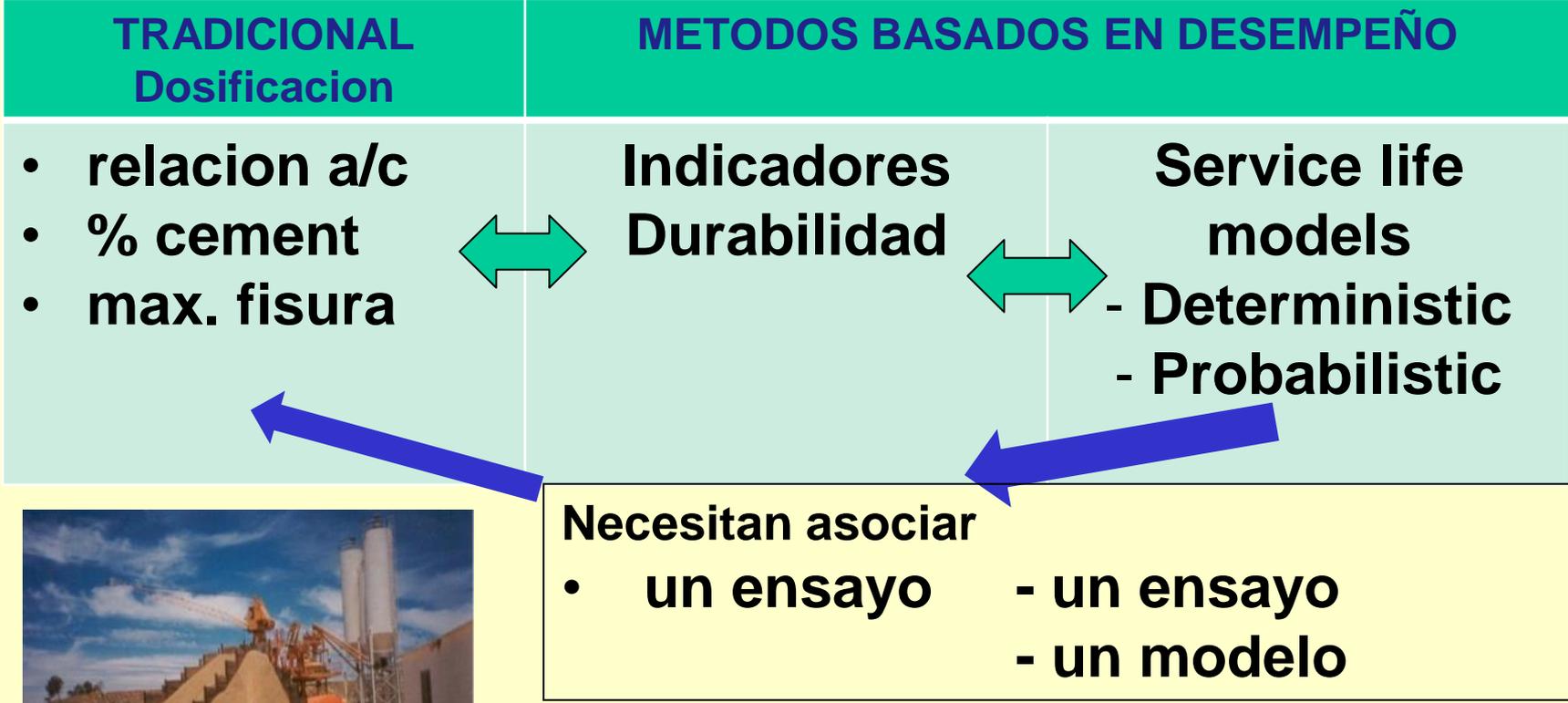
deben ser coherentes entre si

TRADICIONAL Dosificacion	METODOS BASADOS EN DESEMPEÑO	
<ul style="list-style-type: none">• relacion a/c• % cement• max. fisura	Indicadores Durabilidad	Service life models - Deterministic - Probabilistic

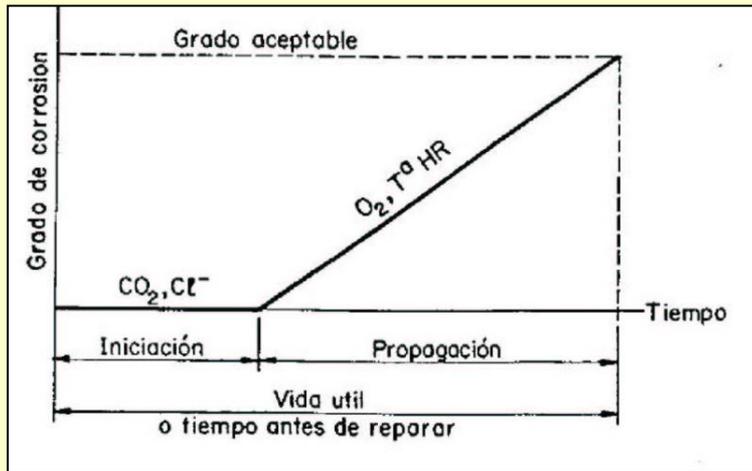


FORMATOS COMPROBACION DURABILIDAD

deben ser coherentes entre si



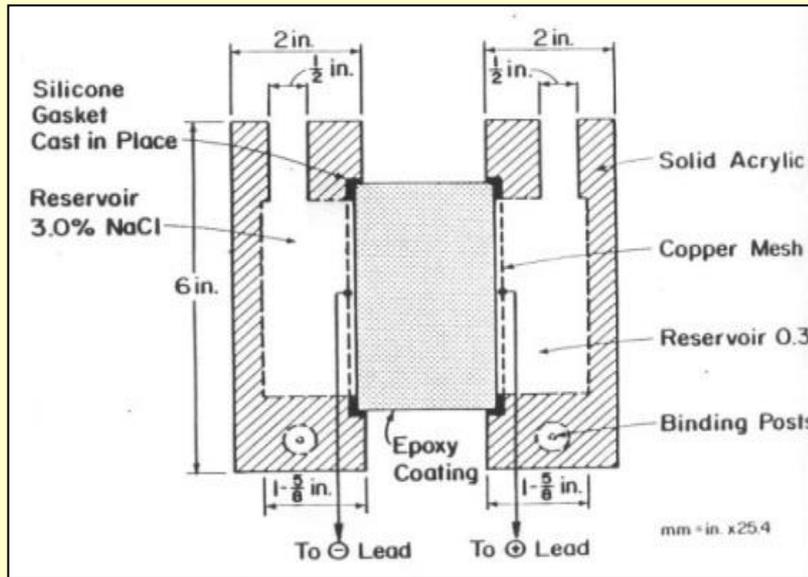
INDICADORES DE DURABILIDAD



Son propiedades del hormigón que permiten caracterizar **cualitativamente** su durabilidad

- Porosidad
- Permeabilidad al aire
- Penetración de agua bajo presión
- Resistividad
- Culombios

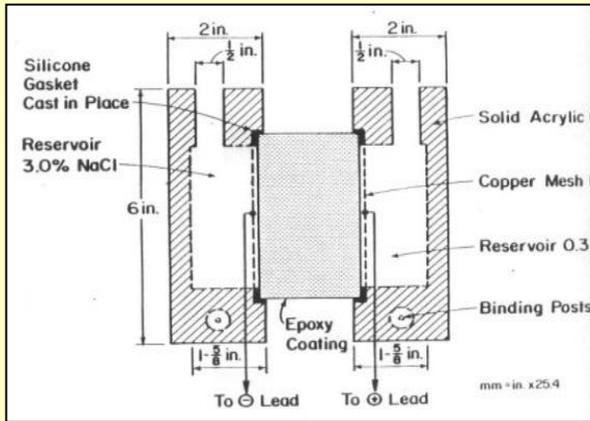
Un ejemplo ASTM 1202



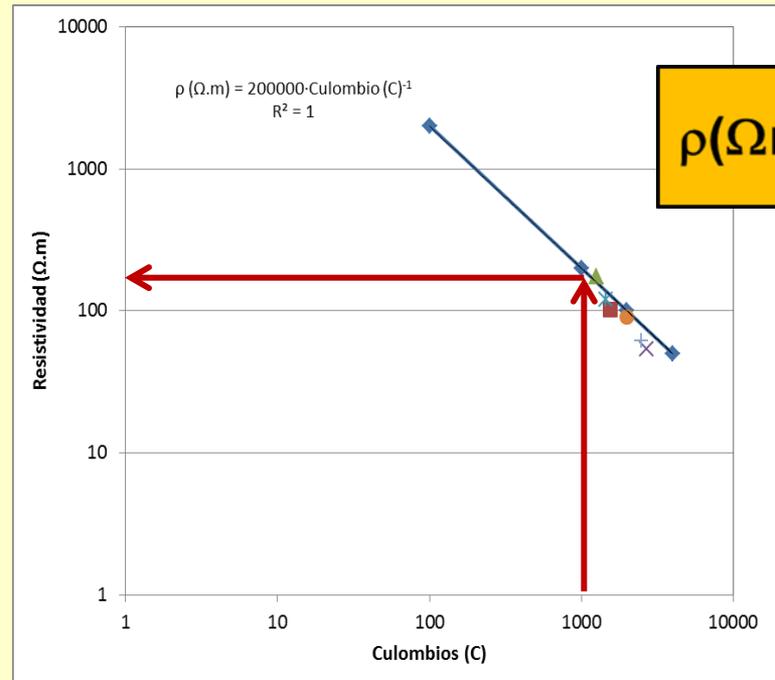
ASTM 1202 (Coulombios)

<u>Coulombs</u>
100
1000
2000
4000

Un ejemplo ASTM 1202 Y RESISTIVIDAD



ASTM 1202 (Coulombios)



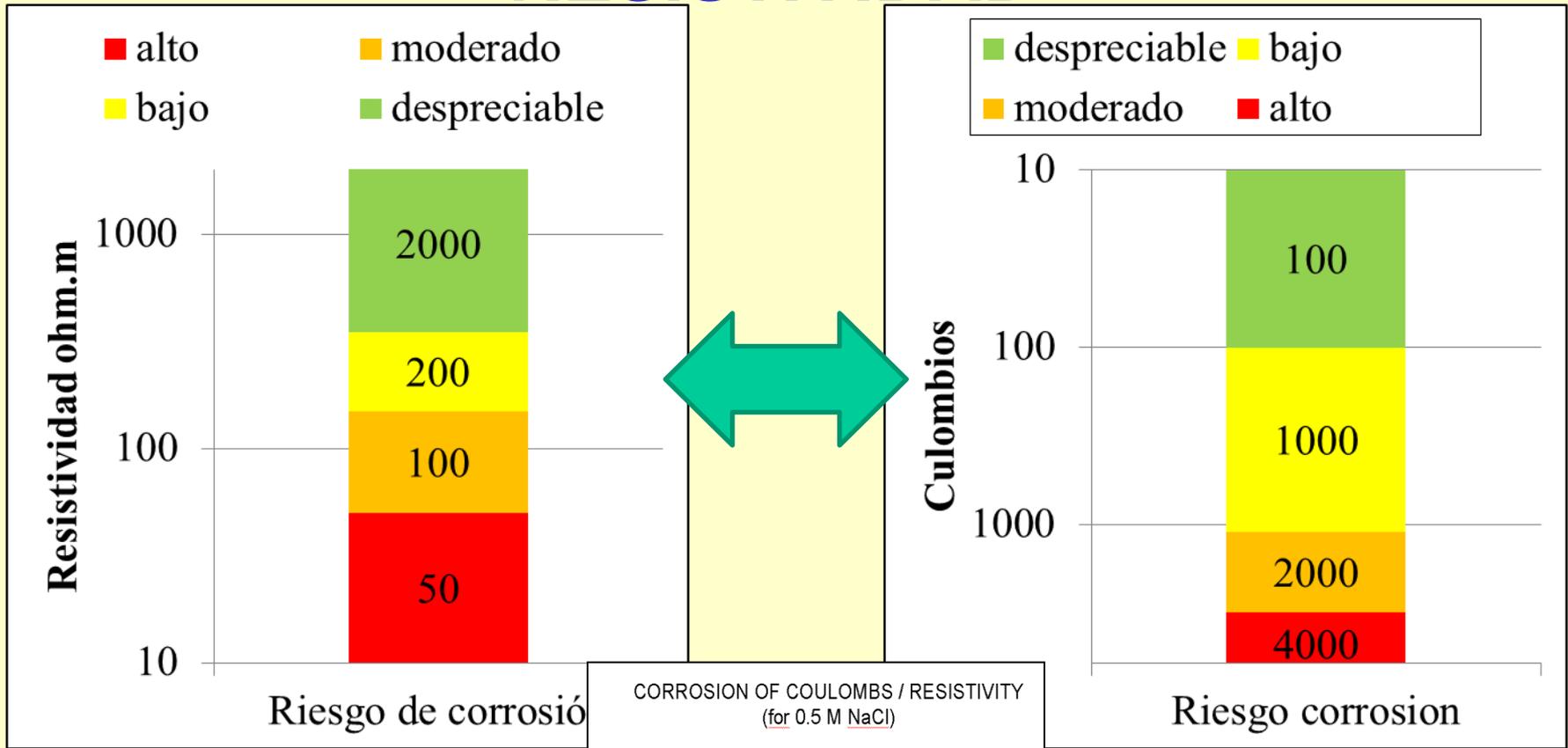
$$\rho (\Omega \cdot m) = \frac{2E5}{Q}$$

CORROSION OF COULOMBS / RESISTIVITY
(for 0.5 M NaCl)

Coulombs	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)
100	211.792
→ 1000	→ 21.179
2000	10.590
4000	5.295

C. Andrade & D. Whiting
Materials and Structures 1996

EQUIVALENCIA ENTRE ASTM 1202 Y RESISTIVIDAD

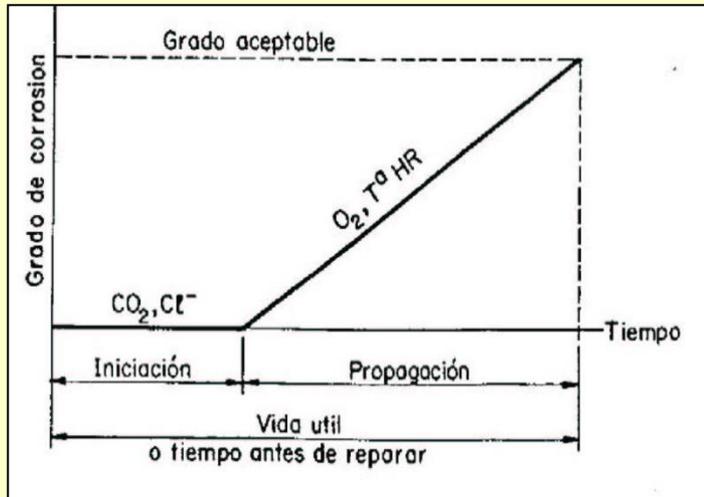


CORROSION OF COULOMBS / RESISTIVITY
(for 0.5 M NaCl)

Coulombs	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)
100	211.792
1000	21.179
2000	10.590
4000	5.295

DISEÑO MODERNO PARA DURABILIDAD

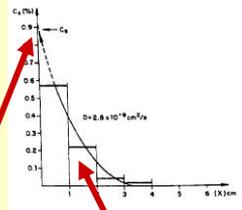
diseño por desempeño (performance)



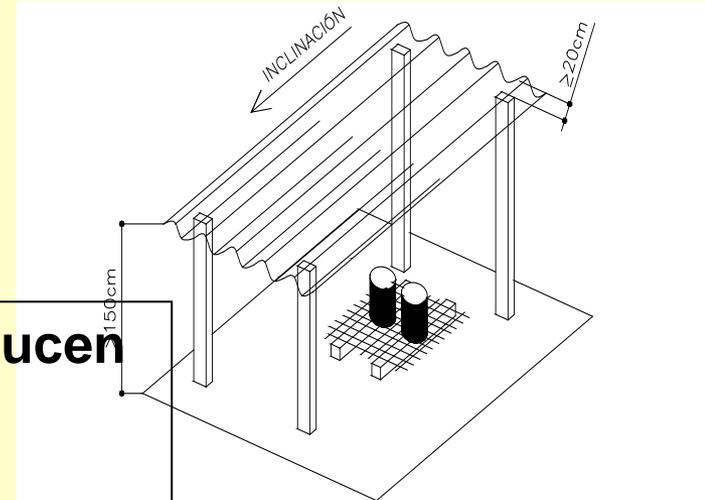
- **Definir**
 - objetivo (vida útil o un Indicador)
 - estado limite
 - modelo calculo
 - metodo de ensayo (verificacion calidad hormigon)
- **Tratamiento probabilista**
 - Probabilidad de fallo

METODOS DE ENSAYO

se necesita medir envejecimiento
cloruros **carbonatación**



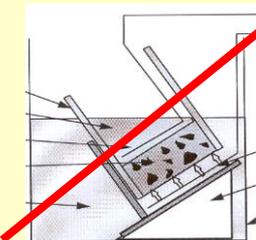
$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = \left(1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2 \sqrt{D_{ns} t}} \right] \right)$$



En condiciones naturales reproducen mejor la realidad

La Resistividad como control de calidad

Los métodos acelerados no sirven para medir factor de ead



FACTOR DE CALIBRACION PARA PASO DE LABORATORIO A REALIDAD A LARGO PLAZO

- No se tiene seguimiento de ensayos para pasar de laboratorio a realidad



- el periodo mas largo de calibración en la actualidad es de unos 25 años

MODELOS DE VIDA UTIL

incluidos en el fib Model Code 2010

Exposure class	
interior	
carbonation	
Marine chloride	
Non marine Chloride	

$$x_c(t) = \sqrt{2 \cdot \frac{\left(1 - \left(\frac{RH_{real}}{100}\right)^{f_s}\right)^{\varepsilon_s}}{\left(1 - \left(\frac{RH_{ref}}{100}\right)^{f_s}\right)}} \cdot \left(\frac{t_c}{7}\right)^{b_c} \cdot (k_t \cdot R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t) \cdot C_S \cdot \sqrt{t} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^{\frac{(p_{SR} \cdot I_{oW})^{2W}}{2}}$$

$$C_{crit.} = C(x=a, t) = C_0 + (C_{S,\Delta x} - C_0) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \frac{a - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{app,C} \cdot t}} \right]$$

MODELOS DE VIDA UTIL incluido el de la Resistividad

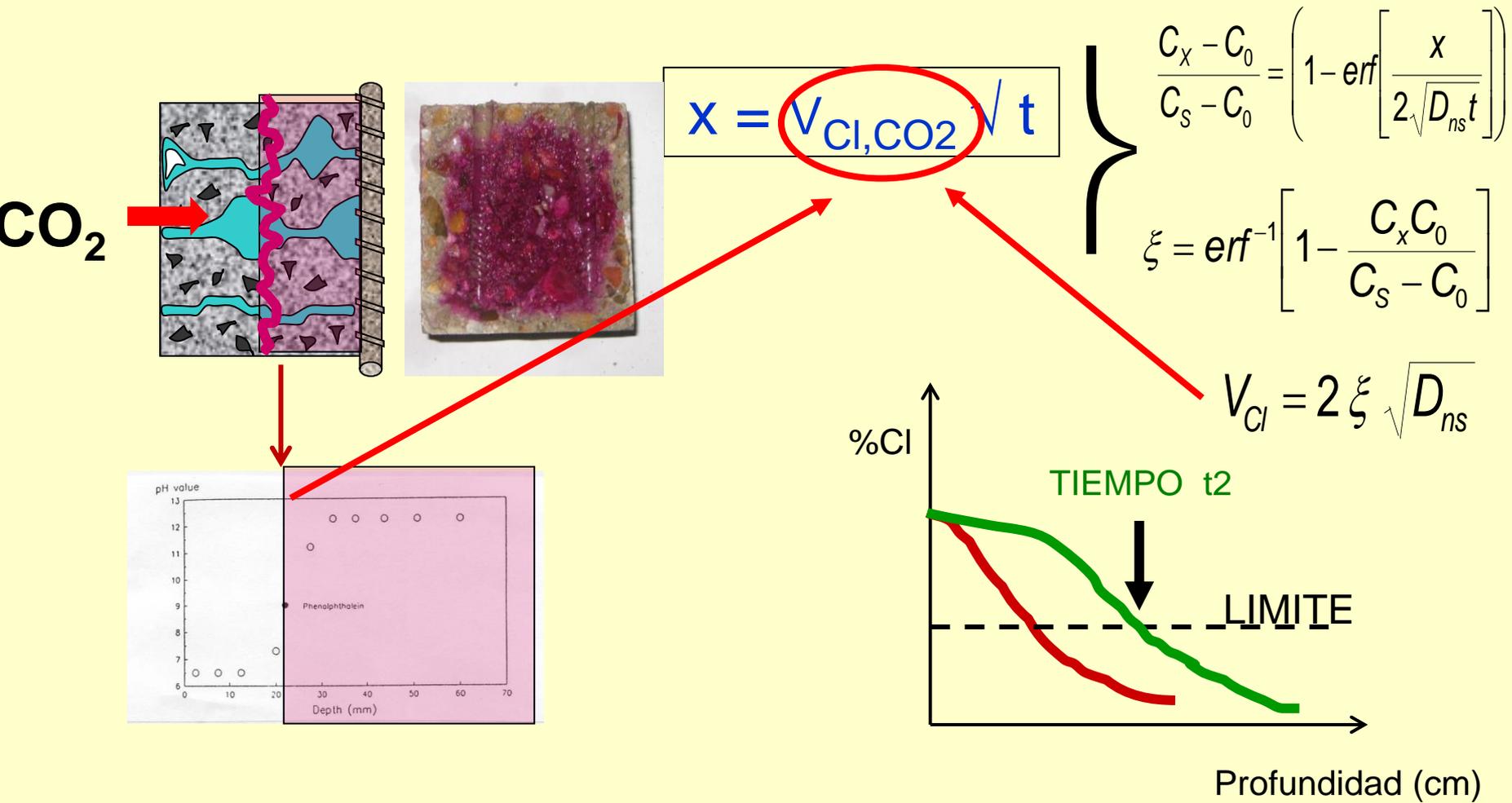
Exposure class	
interior	
carbonation	
Marine chloride	
Non marine Chloride	

$$x_c(t) = \sqrt{2 \cdot \frac{\left(1 - \left(\frac{RH_{real}}{100}\right)^{f_s}\right)^{\varepsilon_s}}{1 - \left(\frac{RH_{ref}}{100}\right)^{f_s}} \cdot \left(\frac{t_c}{7}\right)^{b_c} \cdot (k_t \cdot R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t) \cdot C_s \cdot \sqrt{t} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^{\frac{(p_{SR} \cdot I_{oW})^{2W}}{2}}}$$

$$C_{crit.} = C(x=a, t) = C_0 + (C_{S,\Delta x} - C_0) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \frac{a - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{app,C} \cdot t}}\right]$$

$$t_l = \frac{x^2 \cdot \rho_{ef} \left(\frac{t}{t_0}\right)^q}{F_{env}} \cdot r_{Cl,CO_2} + \frac{P_{corr} \cdot \left(\rho_{ef} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^q \cdot W_s\right)}{K_{corr}}$$

LA ECUACION DE FICK SE PUEDE REDUCIR A LA DE LA RAIZ CUADRADA

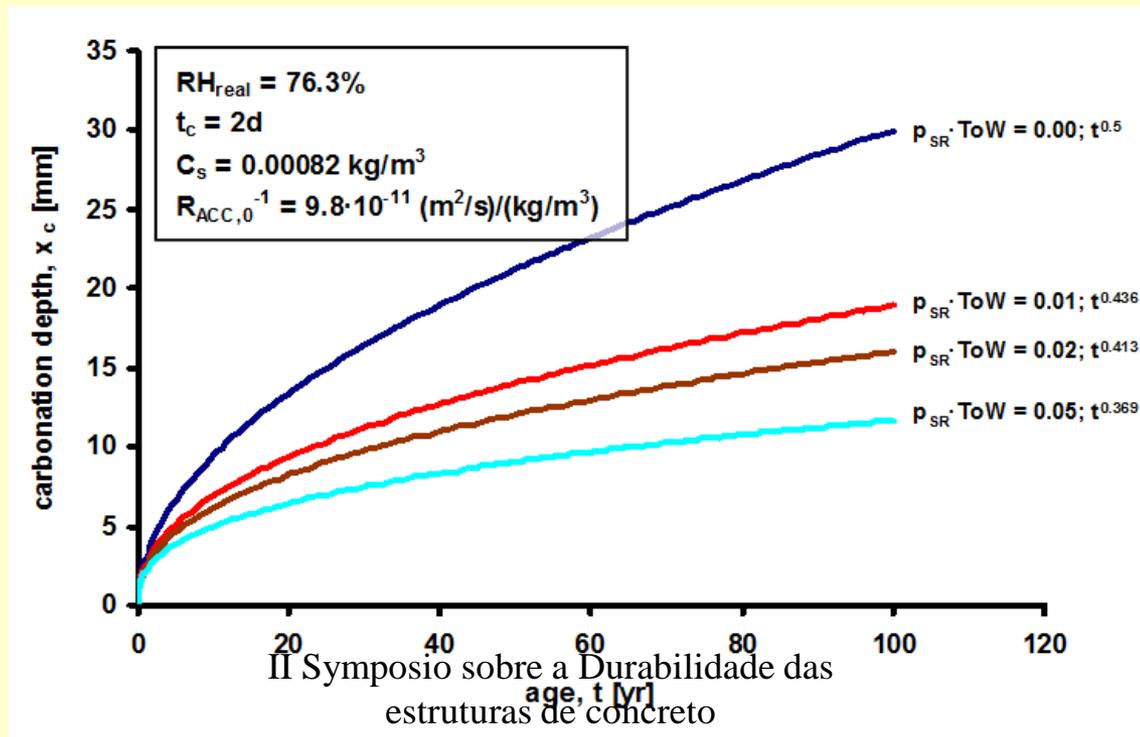


ANALISIS CRITICO SOBRE LOS MODELOS DEL MC 2010 INCONSISTENCIAS

$$x_c = A\sqrt{t}$$

$$x_c(t) = \sqrt{2k_e \cdot k_c \cdot (k_t \cdot R_{ACC,0}^{-1} + \varepsilon_t) \cdot C_s \cdot \sqrt{t} \cdot W(t)}$$

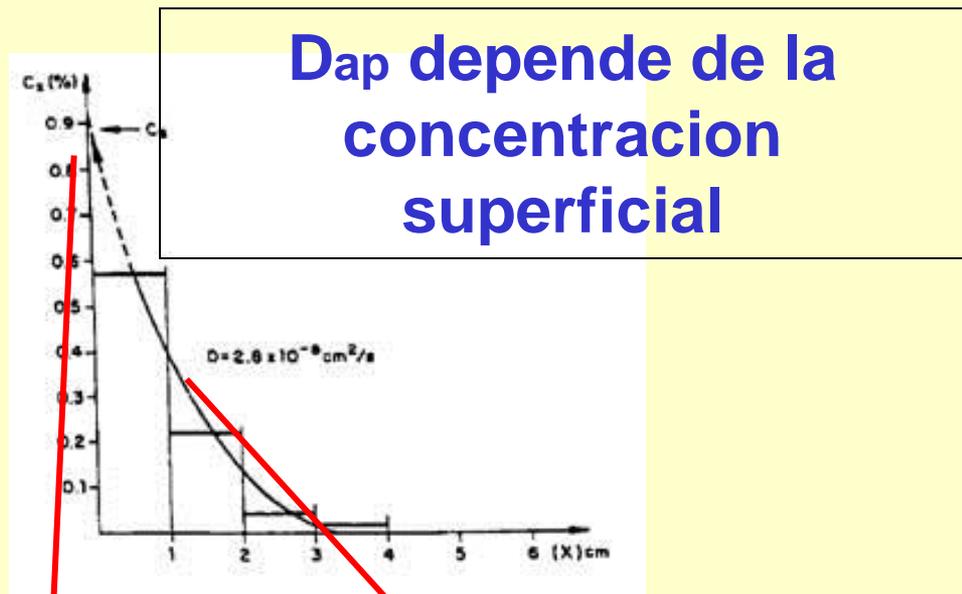
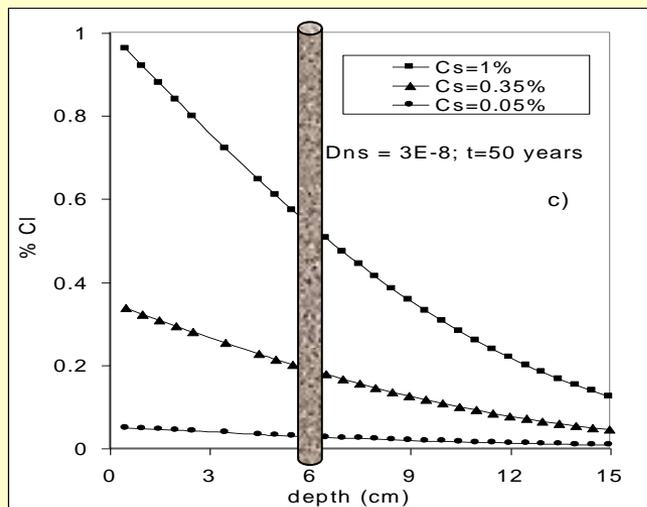
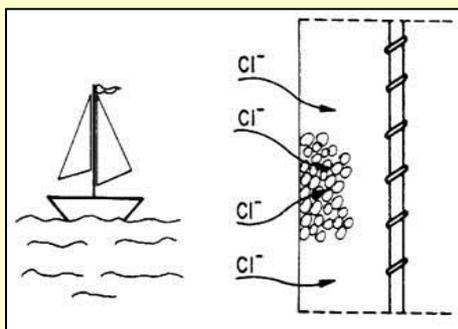
El principal problema es determinar la “weather function” W



ANALISIS CRITICO SOBRE LOS MODELOS DEL MC 2010

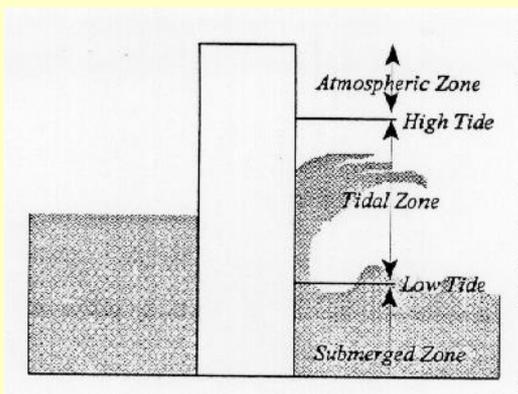
INCONSISTENCIAS

MODELO CLORUROS : concentración Superficial

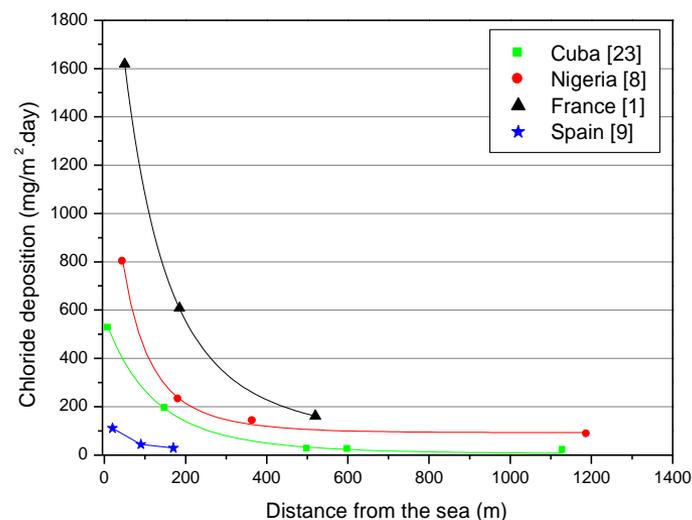


$$\frac{C_x}{C_s} = \left(1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{D_{ns}t}} \right] \right)$$

MODELO EN CONDICIONES MARINAS AEREAS



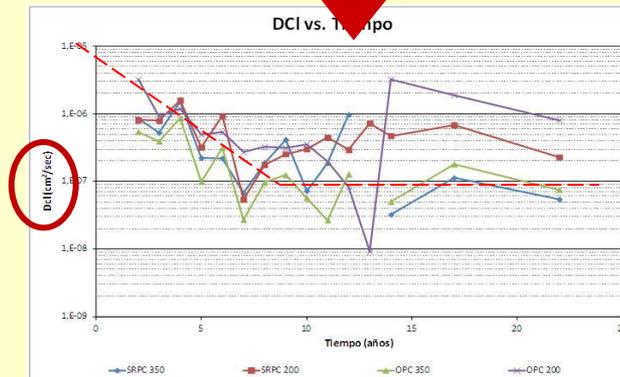
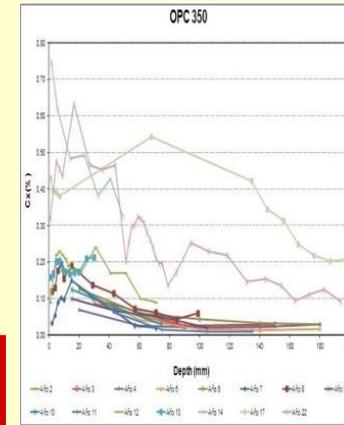
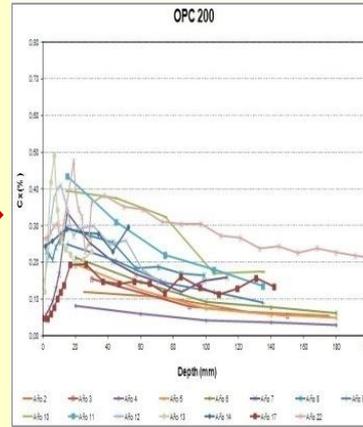
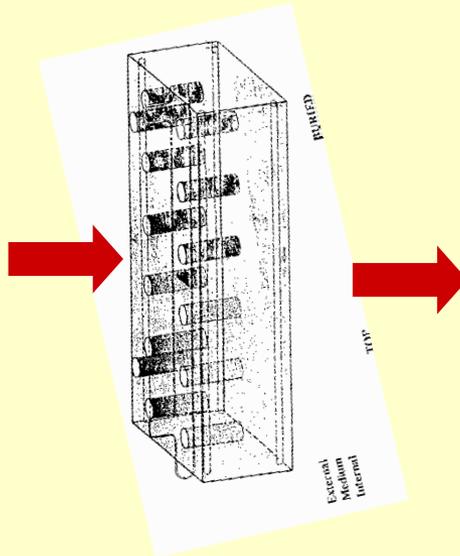
Gibson Meira- Brasil
Modelo para deposición de cloruros



SE NECESITAN MODELOS DE LAS ACCIONES MEDIOAMBIENTALES exposición en condiciones reales

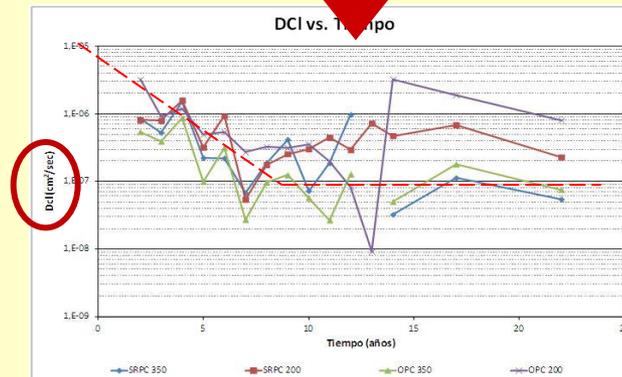
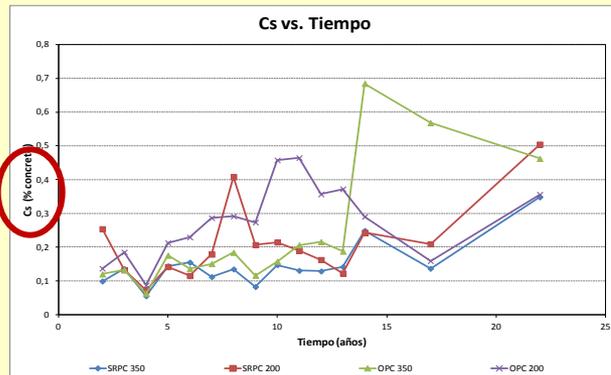
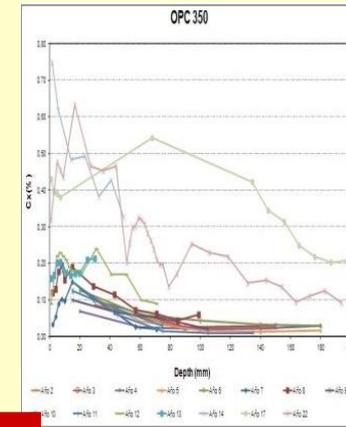
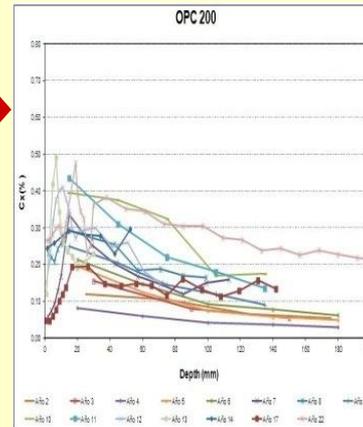
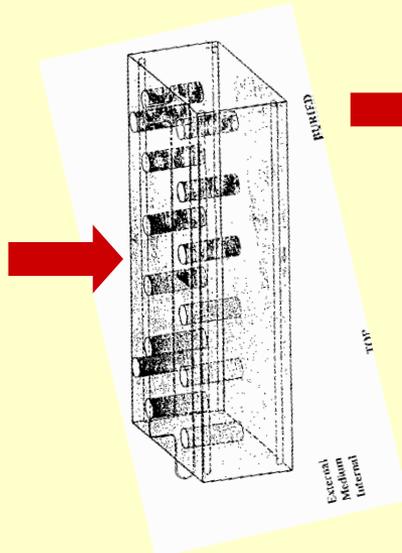
exposición en condiciones reales

“AGING” DISMINUCION DEL Dap CON EL TIEMPO



“AGING” DISMINUCION DEL Dap CON EL TIEMPO

influencia Concentracion superficial



“AGING” DISMINUCION DEL D_{ap} CON EL TIEMPO

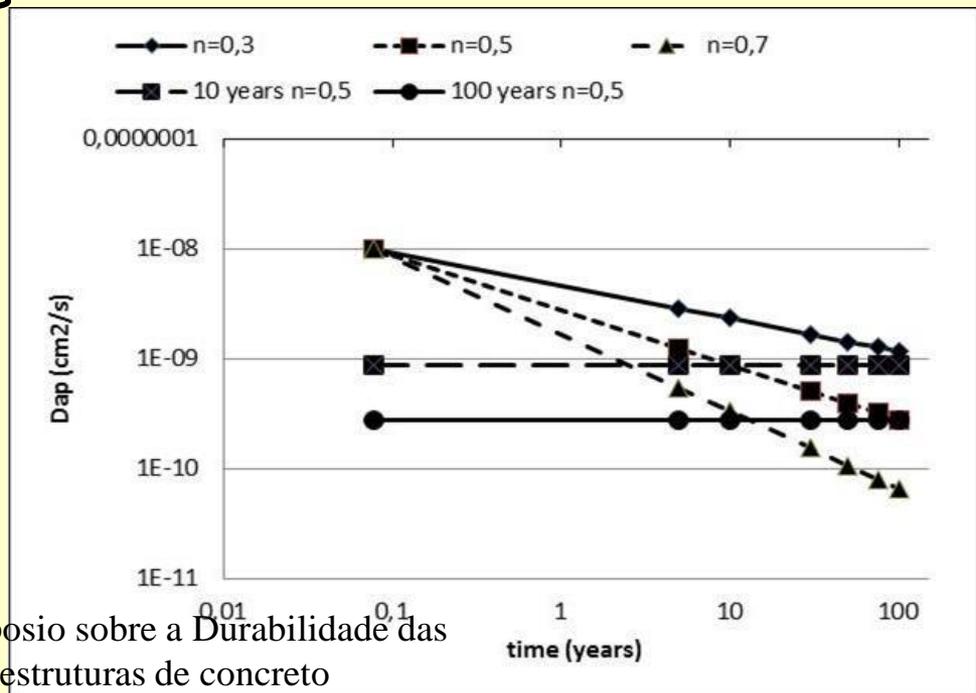
depende del método de calculo

$$-J(x) = \frac{\partial C(x)}{\partial t} = D_{ap} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

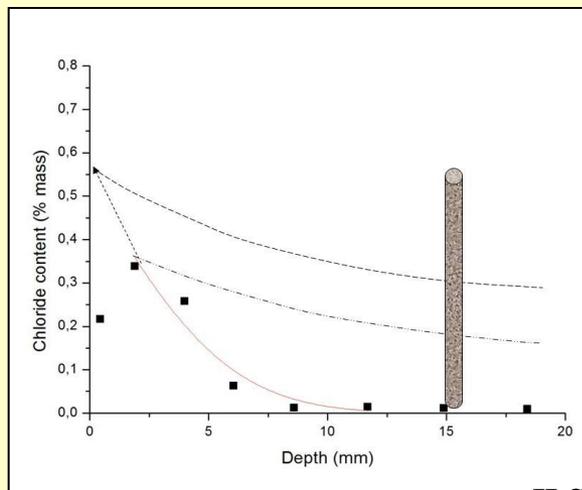
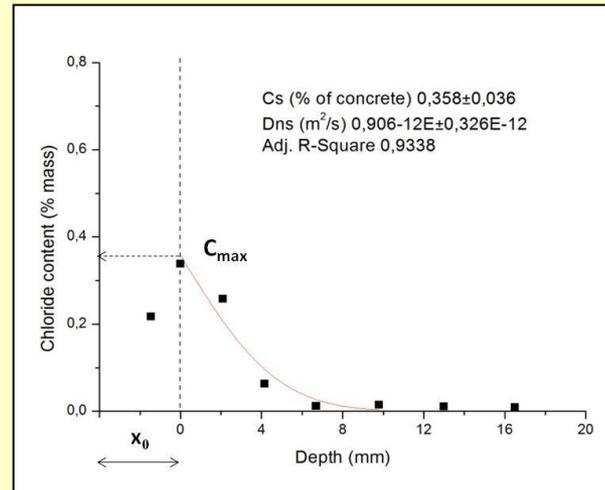
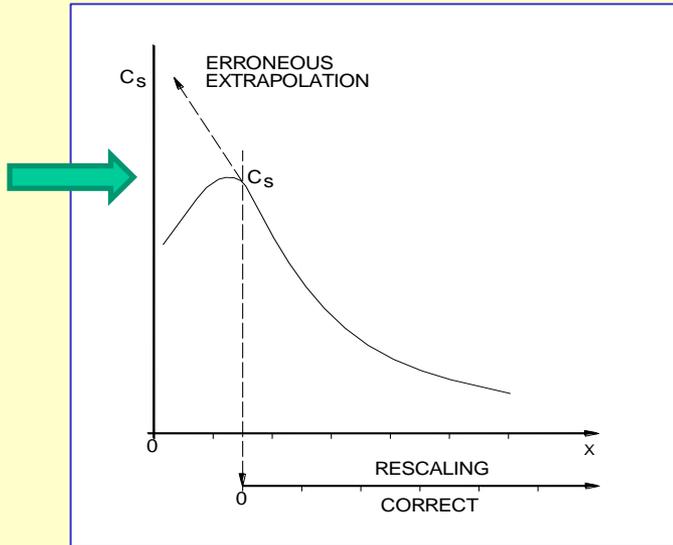
$$D_{ap}(t) = D_0 \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^{-n}$$

Difference between numerical and analytical calculation with aging factor

$$C(x, t) = (C_0 + (C_{x-\Delta x} - C_0) \cdot (1 - erf \frac{x - \Delta x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}}))$$



MODELO CLORUROS EFECTO PIEL



Es necesario considerar el máximo como la Concentración superficial y sumar la “piel” a la predicción

CANAL DE PANAMA 1914



Pedro Miguel



Pedro Miguel

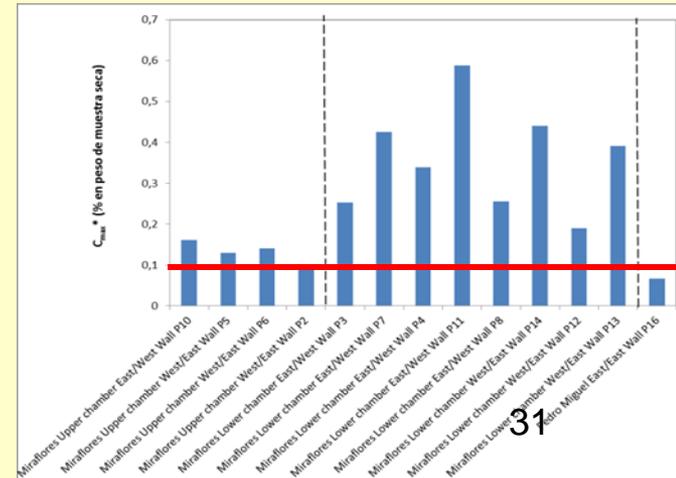
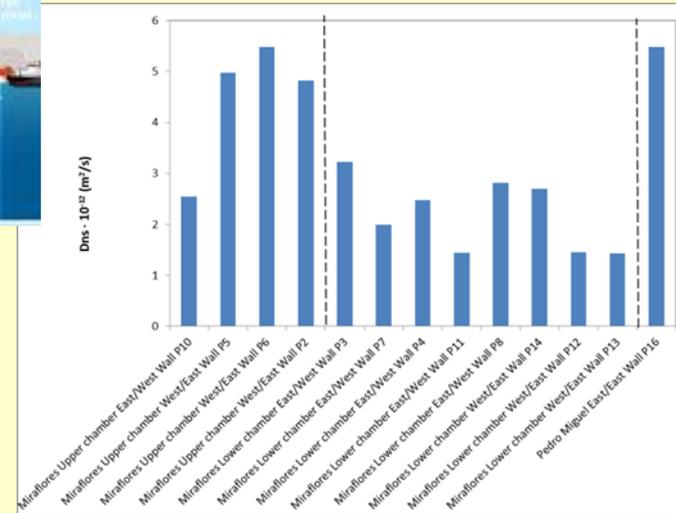
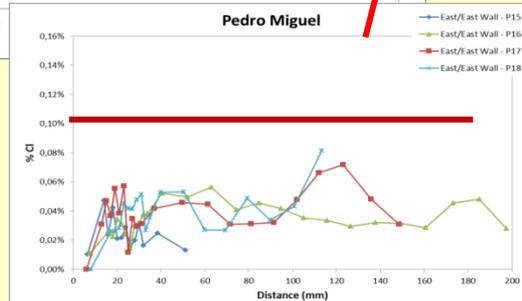
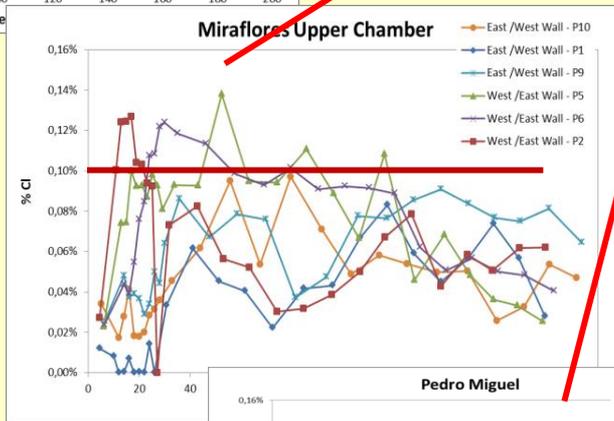
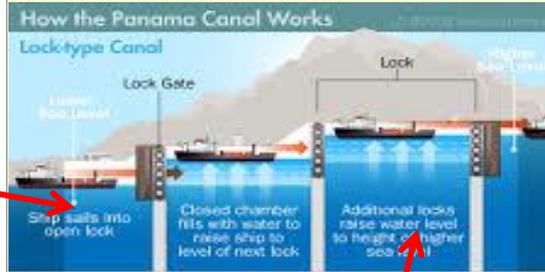
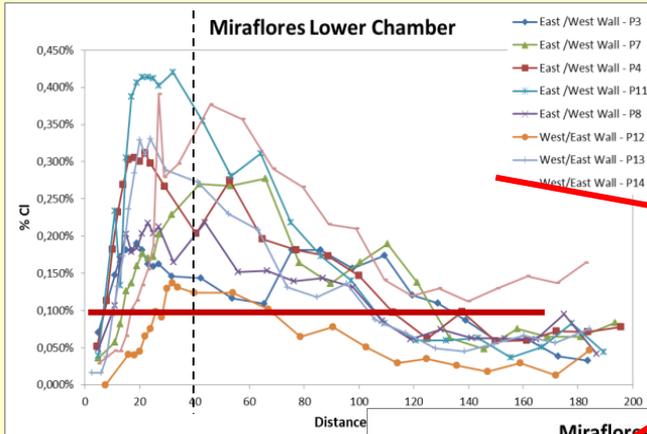


Miraflores West, Upper Chamber

II Simposio sobre a Durabilidade das
estruturas de concreto

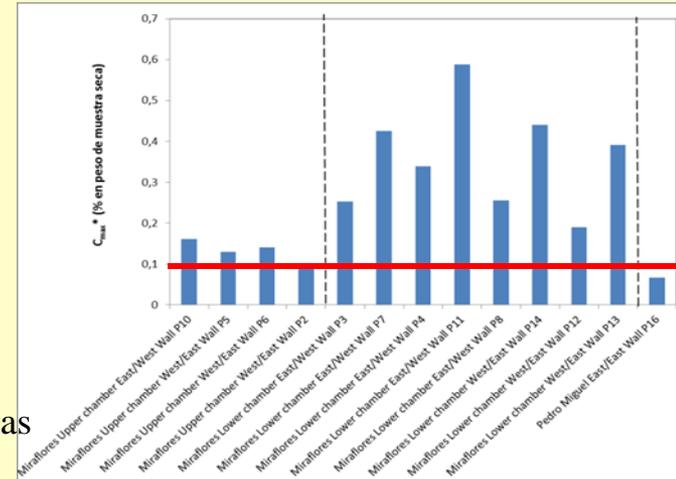
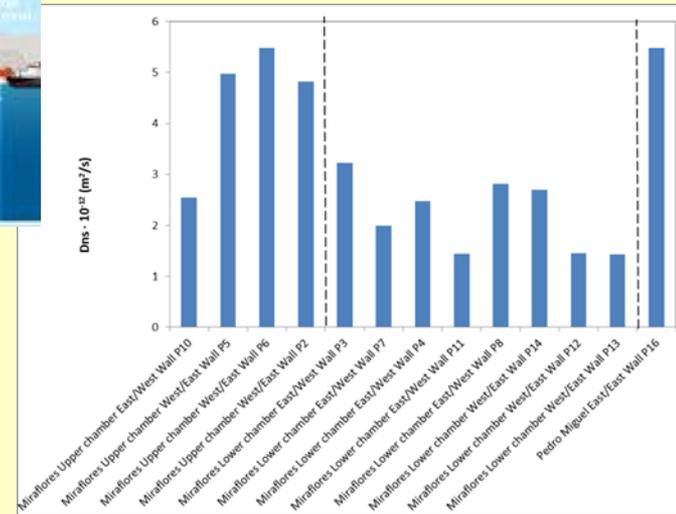
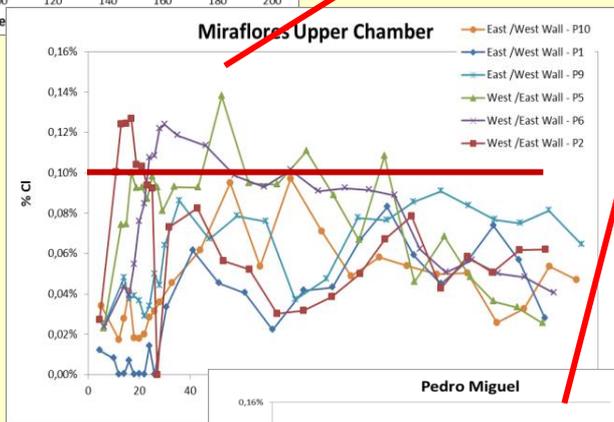
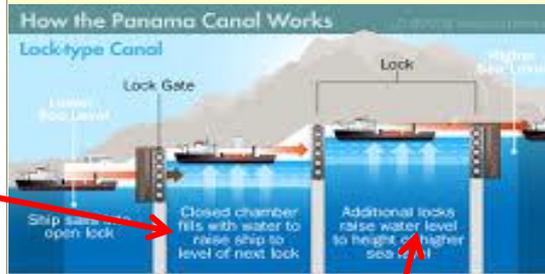
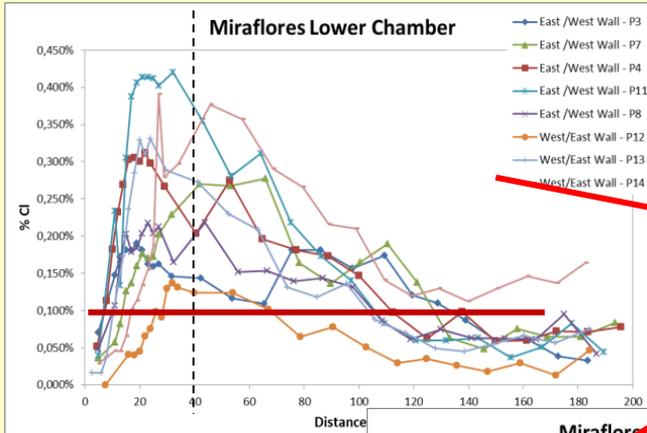
PERFILES CLORUROS Y COEFICIENTES DE DIFUSION DEL ANTIGUO CANAL DE PANAMA

no hay cloruros en las cámaras media y alta



PERFILES CLORUROS Y COEFICIENTES DE DIFUSION DEL ANTIGUO CANAL DE PANAMA

no hay cloruros en las cámaras media y alta

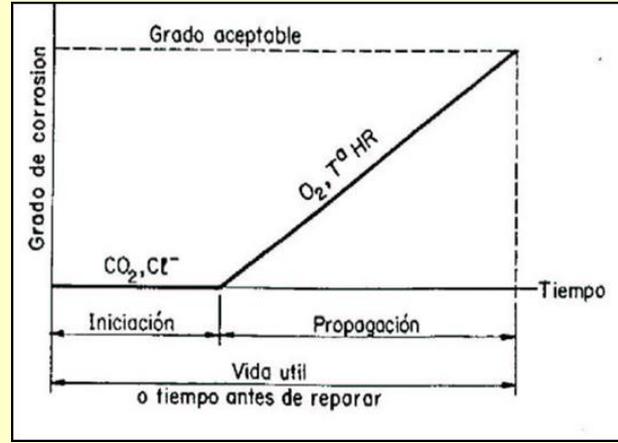


II Simposio sobre a Durabilidade das estruturas de concreto

MODELO DE LA RESISTIVIDAD



INITIATION



$$D_{Cl} = \frac{K}{\rho}$$

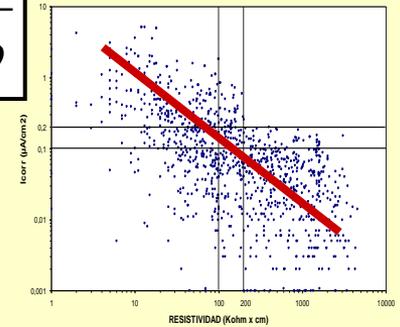
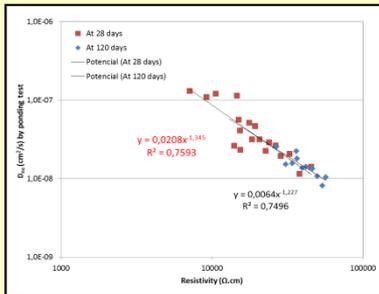
$$t_{LIFE} = t_i + t_p$$

$$V = \sqrt{D} = \sqrt{K/\rho}$$

PROPAGATION

$$I_{corr} = \frac{K}{\rho}$$

C. Andrade- C&CR 23 (1993) 724



$$t_l = \frac{x^2 \cdot \rho_{ef} \left(\frac{t}{t_0} \right)^q}{F_{env}} \cdot r_{Cl,CO_2} + \frac{P_{corr} \cdot \left(\rho_{ef} \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right)^q \cdot W_s \right)}{K_{corr}}$$

C. Alonso, C. Andrade, J.A Gonzalez- C&CR 18 (1988) 687.

COMPLEMENTOS DEL MODELO DE LA RESISTIVIDAD

Factor de edad

Factor de retardo

Factor ambiental

$$t_l = \frac{x^2 \cdot \rho_{ef} \left(\frac{t}{t_0} \right)^q}{F_{env}} \cdot r_{Cl,CO2}$$

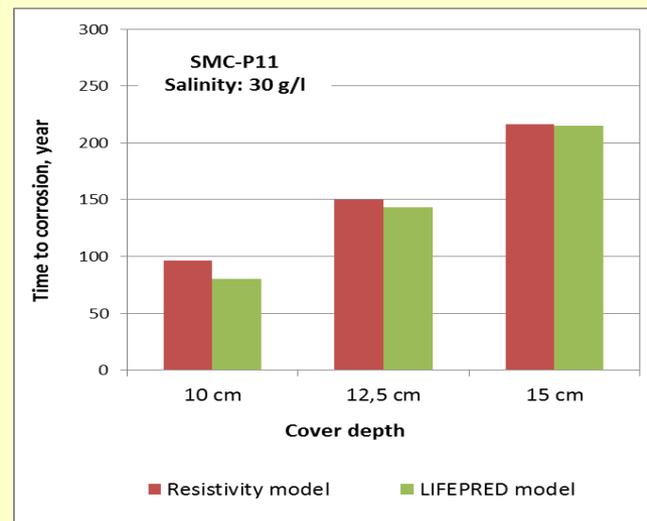
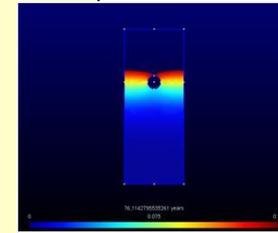
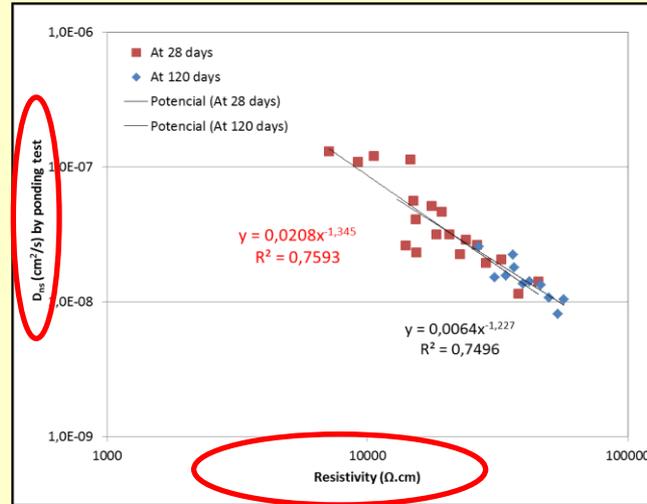
Clase exposición	F_{env} (cm ³ □/año)
X0	200
XC1	1000
XC3	3000
XS1 (d > 500 m)	5000
XS1 (d < 500 m)	10000
XS2	17000
XS3	25000

Cement	r_{Cl}
I	2,0
I+silica fume	1,5
IIA	3,0

Cement	q
I	0.22
IIA -P	0.37
II A-V	0.57

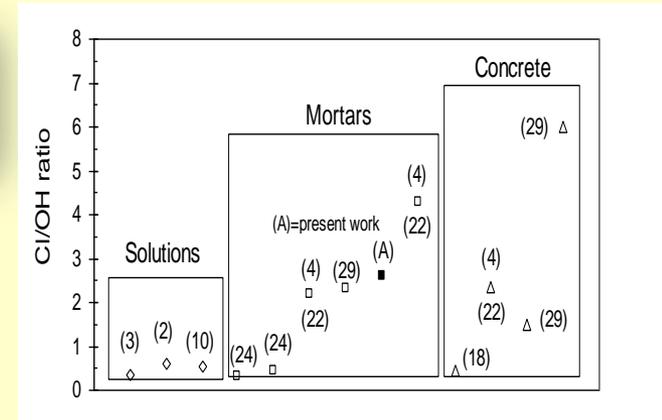
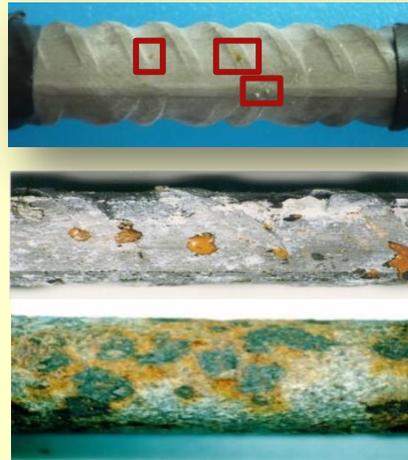
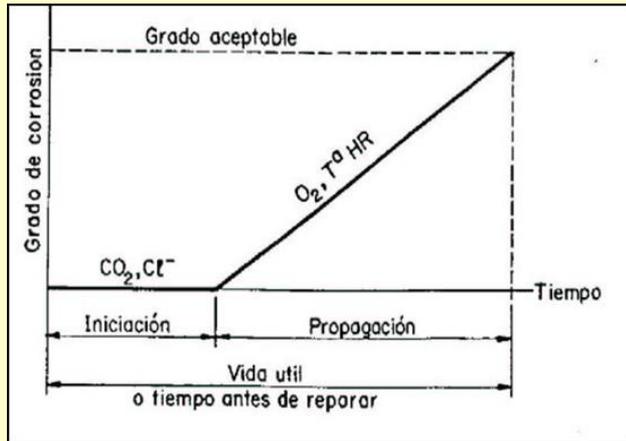
RELACIÓN RESISTIVIDAD-Dap CLORUROS

confirmación aplicación ley de Einstein a hormigón



$$t_l = \frac{x^2 \cdot \rho_{ef} \left(\frac{t}{t_0} \right)^q}{k_{Cl,CO_2}}$$

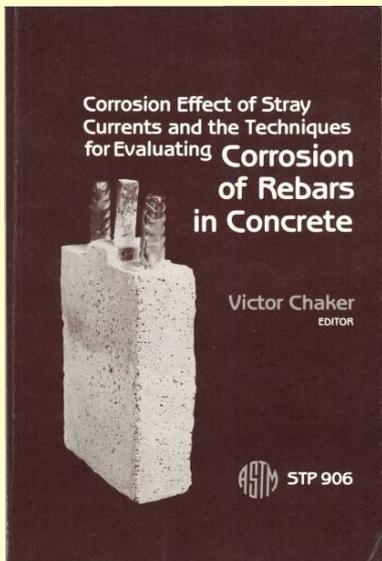
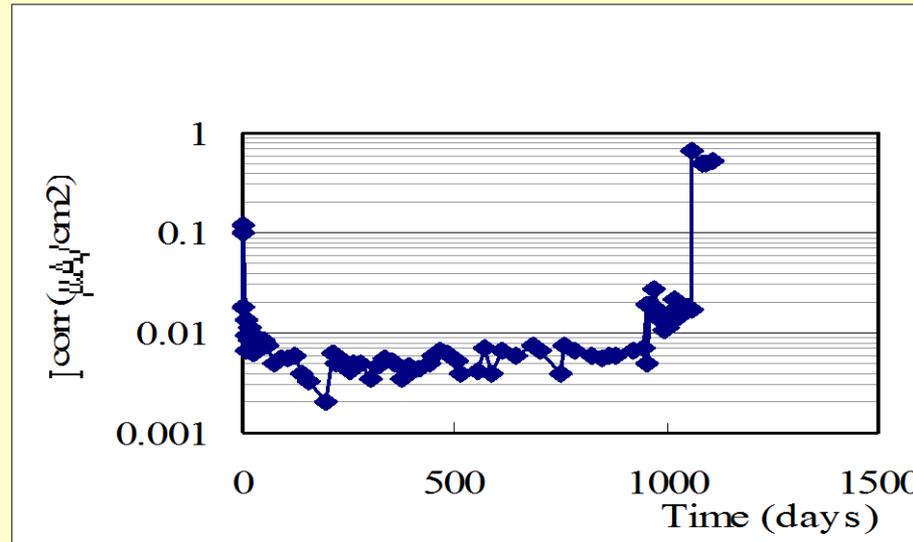
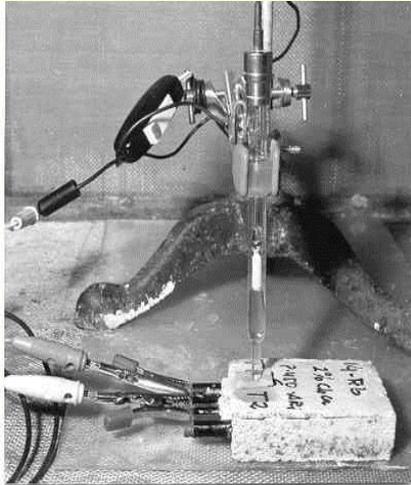
ESTADO LIMITE DE DESPASIVACION?



- En las normas se considera el 0,4 % en peso de cemento
- Es variable y depende de muchos factores
- Su valor impacta mucho en la predicción

PARAMETRO	Valores	
Concentración superficial C_s (%cemento)	4	4
Coef. Difusion Aparente (cm^2/s)	1E-8	1E-8
Vidade calculo (años)	50	50
Conc. Critica (% cemento)	0.4	0.7
Recubrimiento para C_{crit} (cm)	9,24	7,61

MEDIDA VELOCIDAD DE CORROSION MEDIANTE LA RESISTENCIA DE POLARIZACION

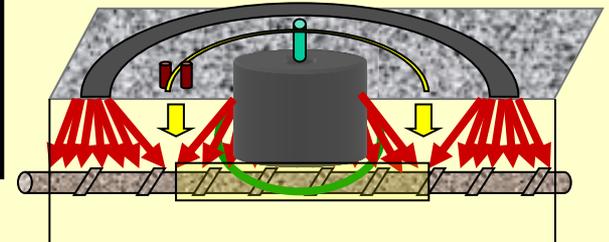


I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	V_{corr} (mm/y)	Nivel Corrosion
< 0.1	0.001	Despreciable
0.1 – 0.5	0.001-0.005	Bajo
0.5 – 1	0.005-0.010	Moderado
> 1	>0.010	Alto

MEDIDA DE CORROSION

In situ

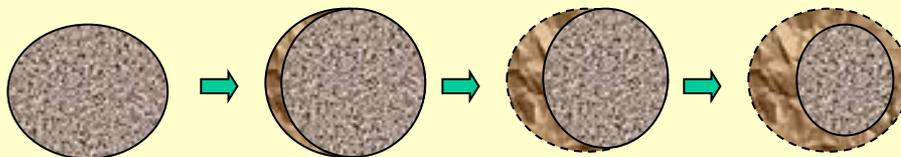
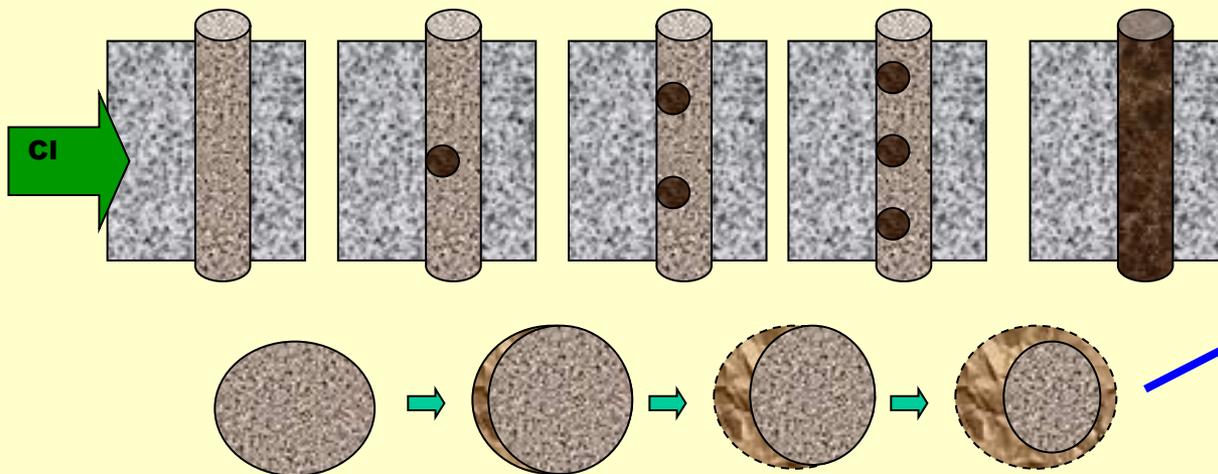
- **I_{corr}**: Velocidad de corrosion ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$).
- **E_{corr}**: Potencial de Corrosion (mV).
- Resistividad ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$).



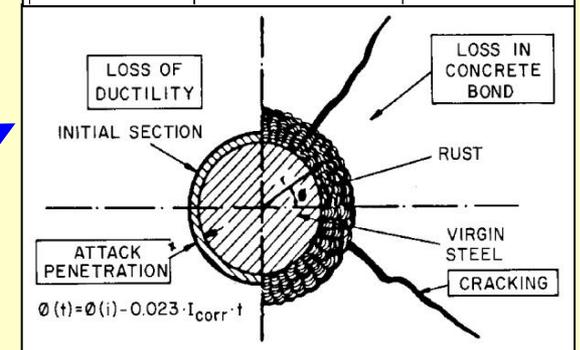
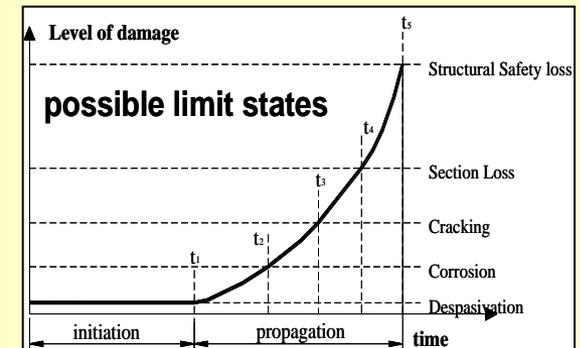
II Simposio sobre a Durabilidade das estruturas de concreto

LA DEPASIVACION NO TIENE CONSECUENCIAS ESTRUCTURALES

- *ISO 16204 serviceability limit state: state that corresponds to conditions beyond which specified service requirements for a structure or structural element are no longer met*
- **Es necesario tener un modelo de la propagación para calcular las consecuencias.**

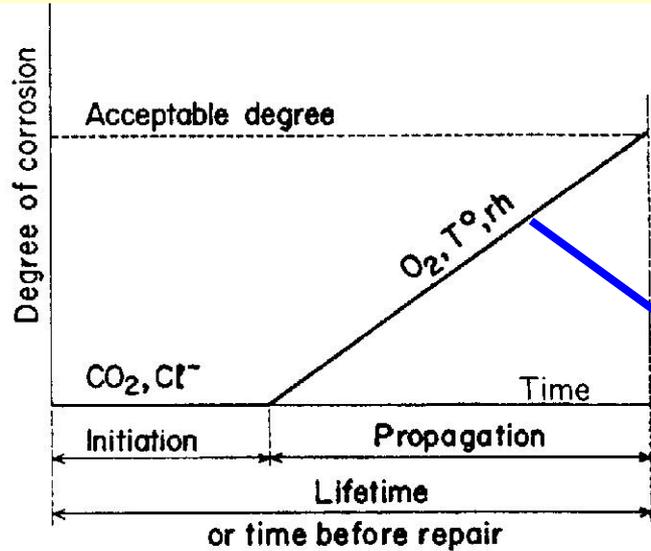


CONTECVET Manual 1990

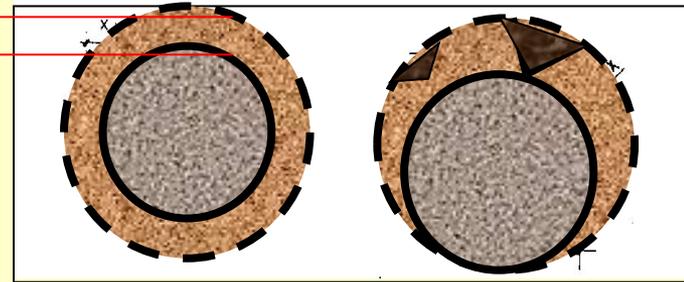


$$\phi(t) = \phi(i) - 0.023 \cdot I_{corr} \cdot t$$

MODELO PROPAGACION DE LA CORROSION



P_{corr}



$$P_{corr} = V_{corr} \cdot t$$

$$\phi_t = \phi_o - \alpha P_{corr}$$

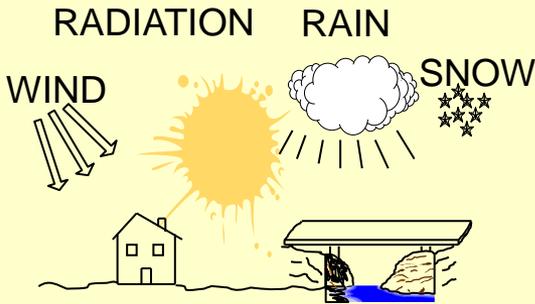


*C.Andrade, et al, Proceedings IABSE
Symposium on Durability, Lisbonne, (Sep.
1989), pp. 359-363*

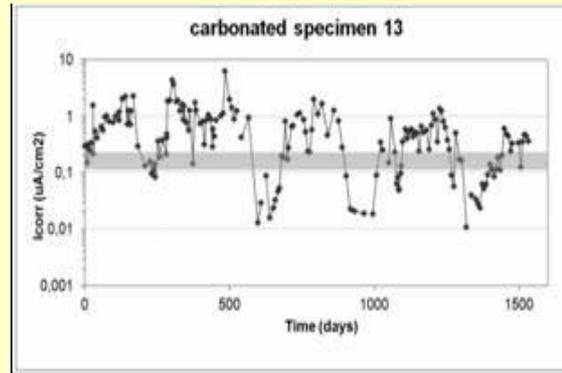
parámetro controlante de la velocidad de Corrosion

GRADO DE SATURACION DEL HORMIGON

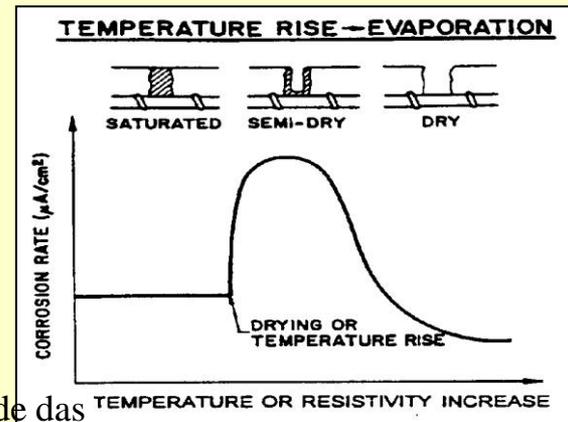
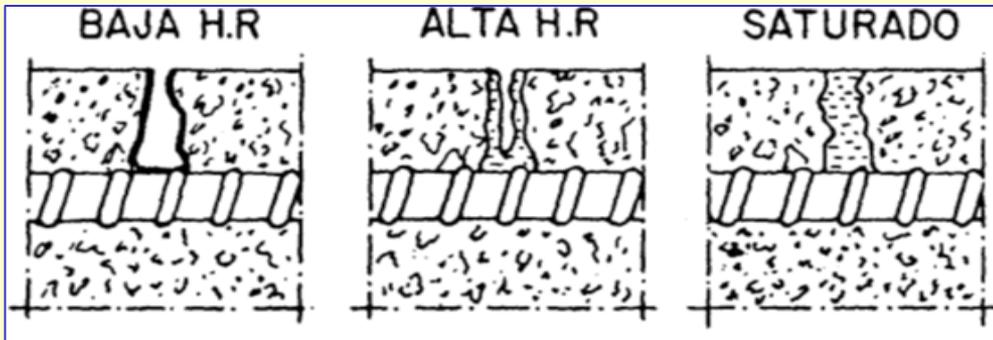
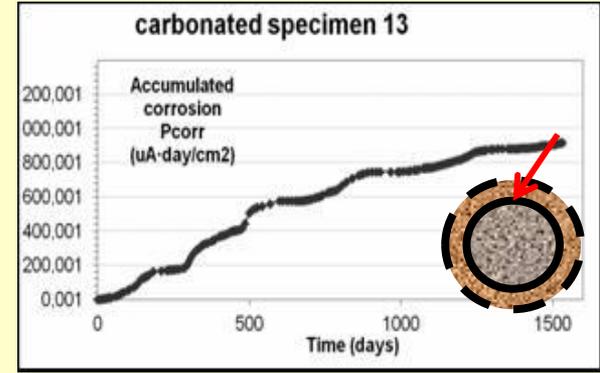
fija la Resistividad y depende de la temperatura



Velocidad de Corrosion

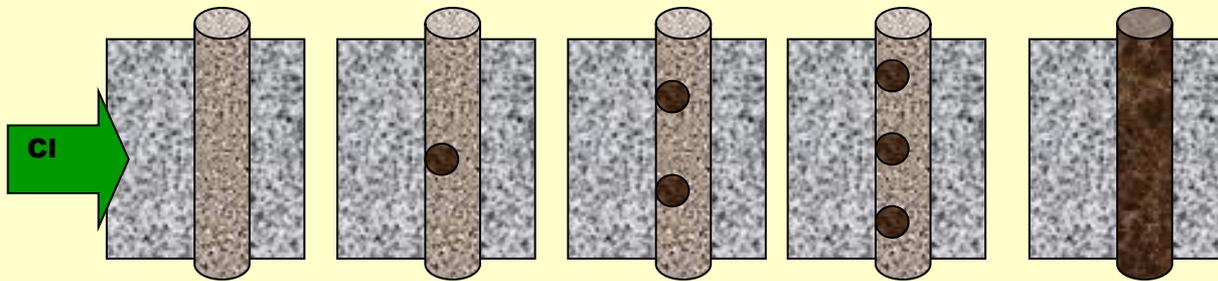


Corrosion acumulada

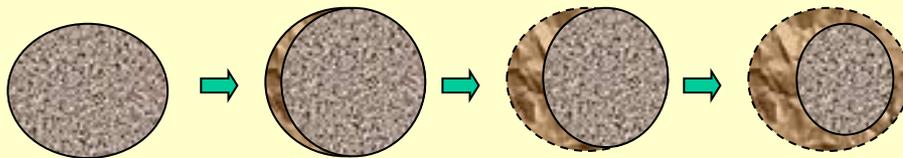


PERIODO DE PROPAGACION

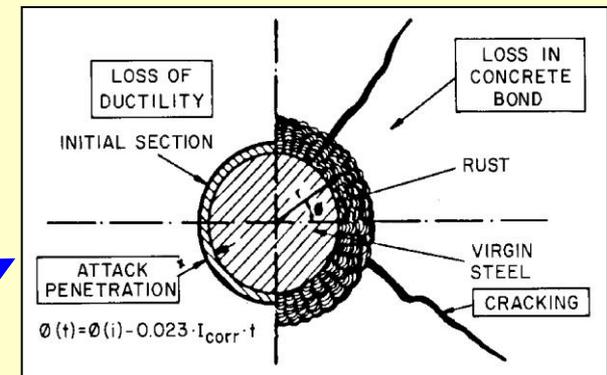
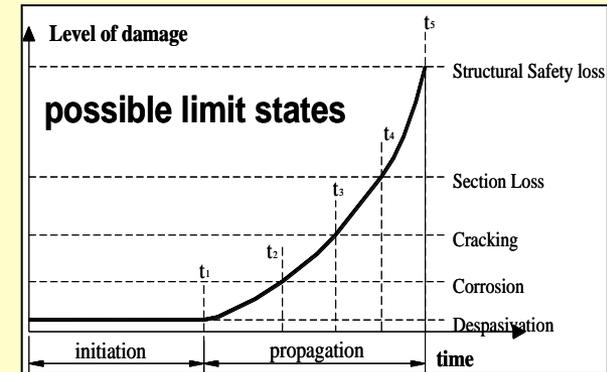
- Se basa en la perdida progresiva de diámetro que es lo que provoca diversas consecuencias estructurales



$$P_{\text{corr}} = V_{\text{corr}} \cdot t$$

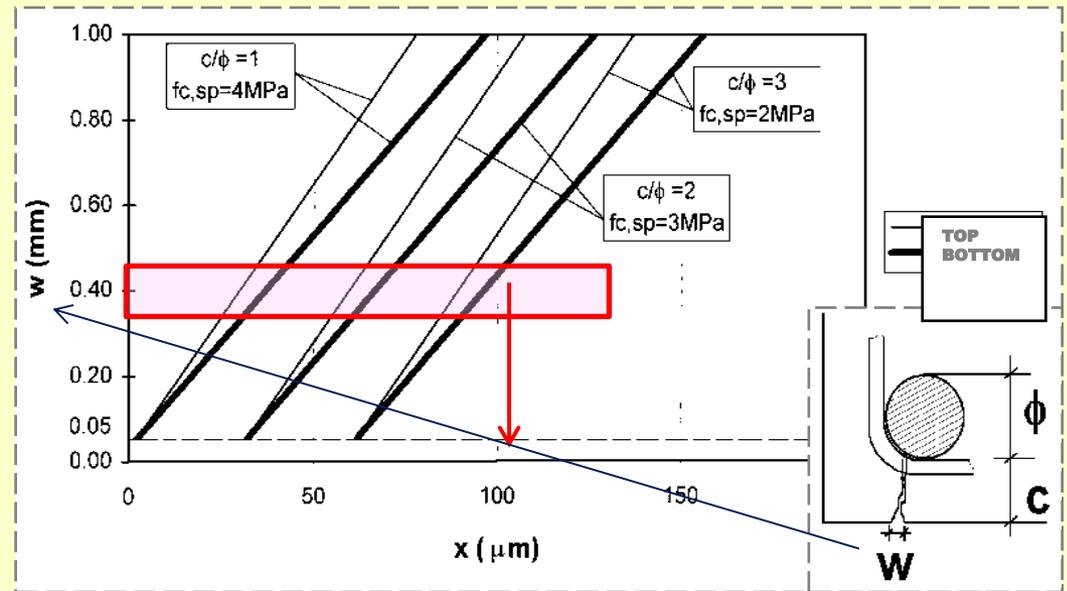
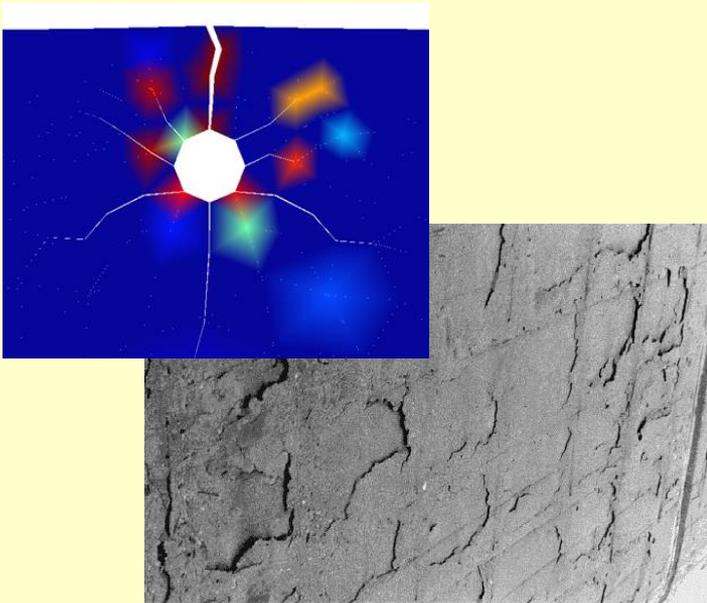


Manual CONTECVET 1990



VERIFICACION DEL ESTADO LIMITE DE SERVICIO DE FISURACION

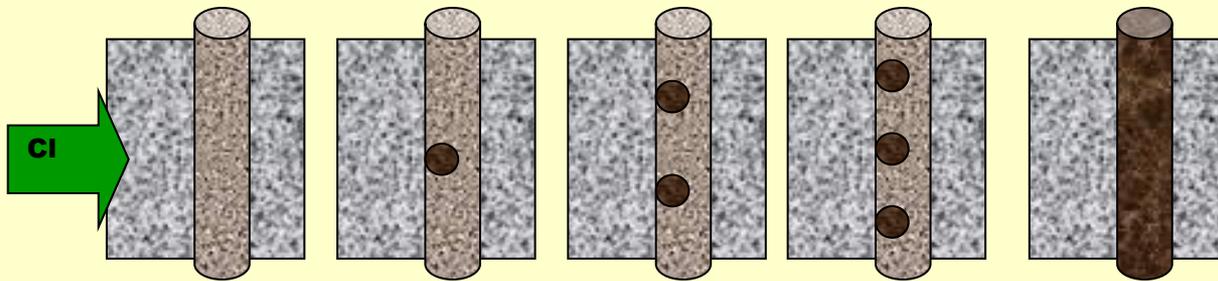
- El mas cercano a la despasivacion es el de fisuración
- Un fisura paralela de 0.3-0.4 mm puede ser producida por una perdida de diámetro por Corrosion de $P_{corr} = 100\mu\text{m}$



PERIODO DE PROPAGACION

calculo perdida de diámetro

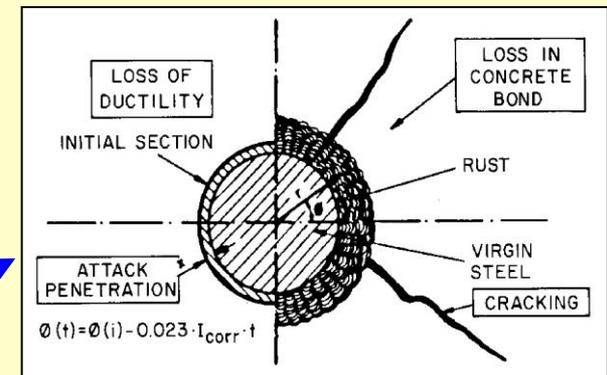
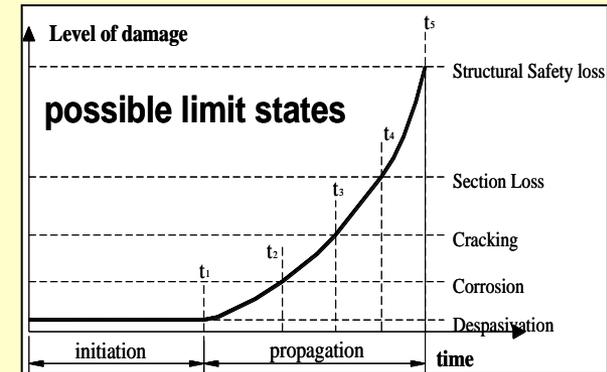
- Permite verificar el resto de estados limite de la estructura



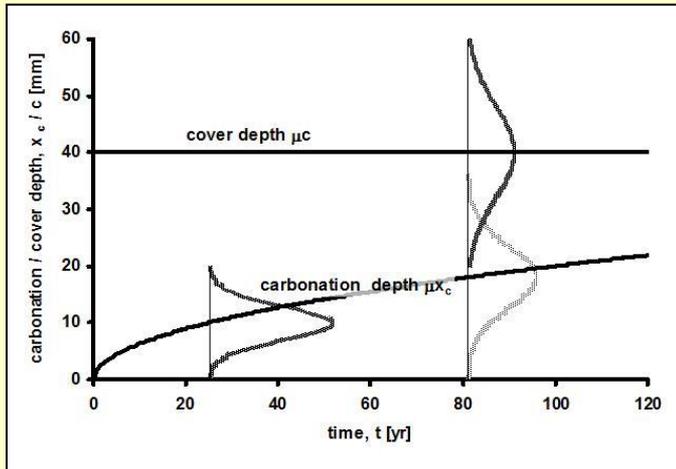
$$P_{\text{corr}} = V_{\text{corr}} \cdot t$$



Manual CONTECVET 1990



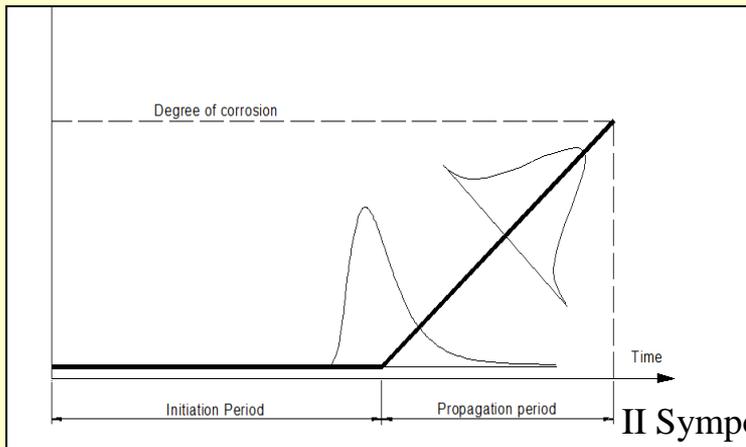
TRATAMIENTO PROBABILISTA CODIGO MODELO MC2010



$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f)$$

- Propone a la despasivacion una probabilidad de **fallo del 10%** porque la considera un ELS

$$P\{\} = P_{dep.} = P\{C_{crit} - C(c, t_{SL}) < 0\} < P_0$$

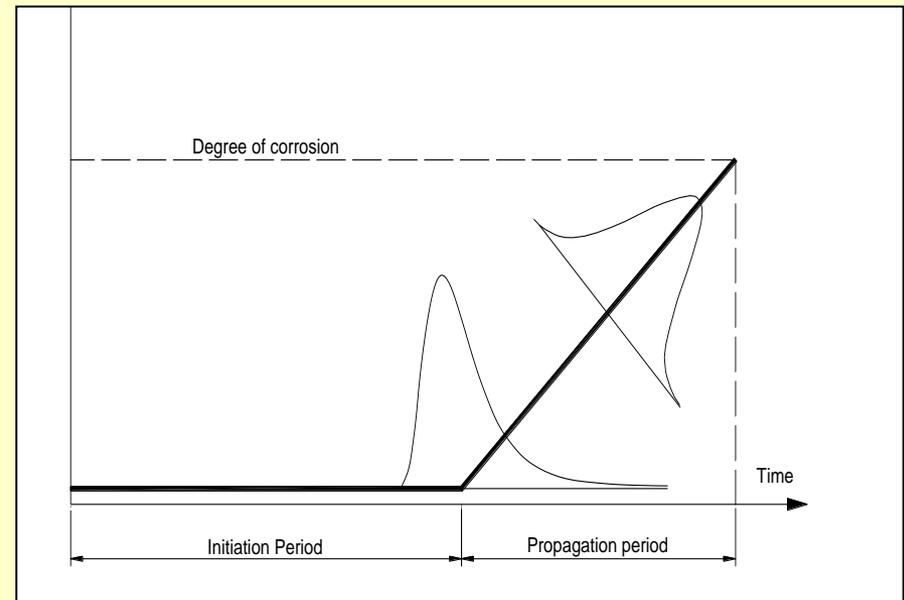
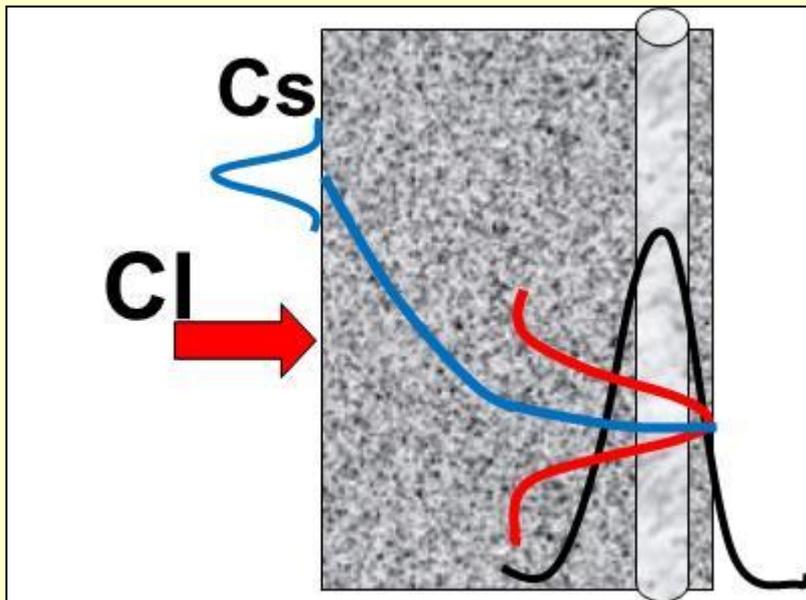


- Sugiere usar como limite de cloruros el 0.4%(determinista)
- **No tenemos distribuciones estadísticas** de las variables

TRATAMIENTO PROBABILISTA

es necesario obtener las distribuciones estadísticas mediante ensayos o en la estructura

$$t_l = t_i + t_p$$

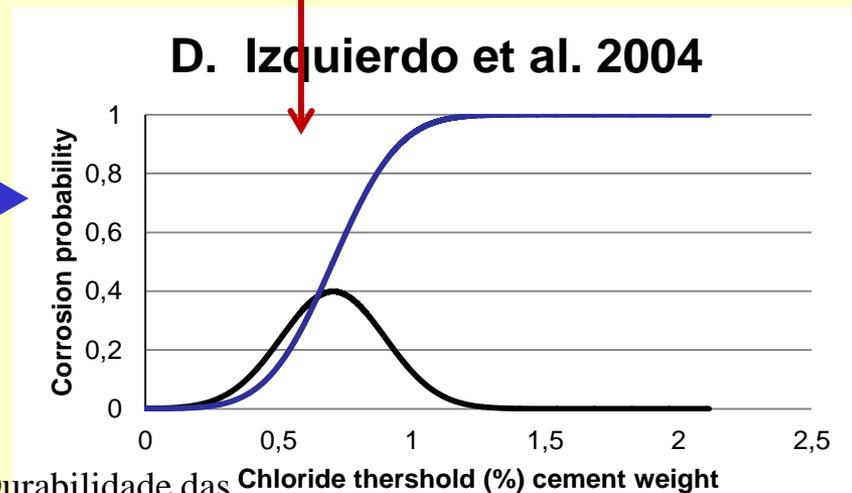
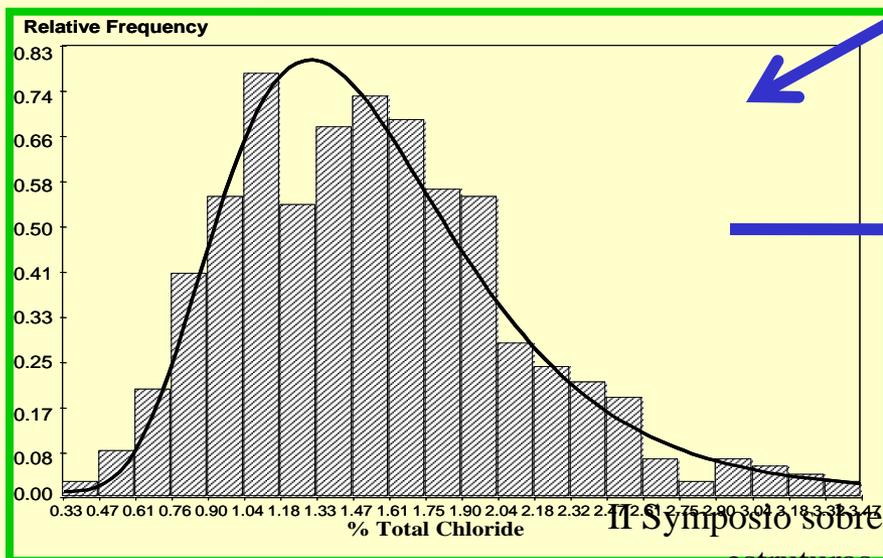
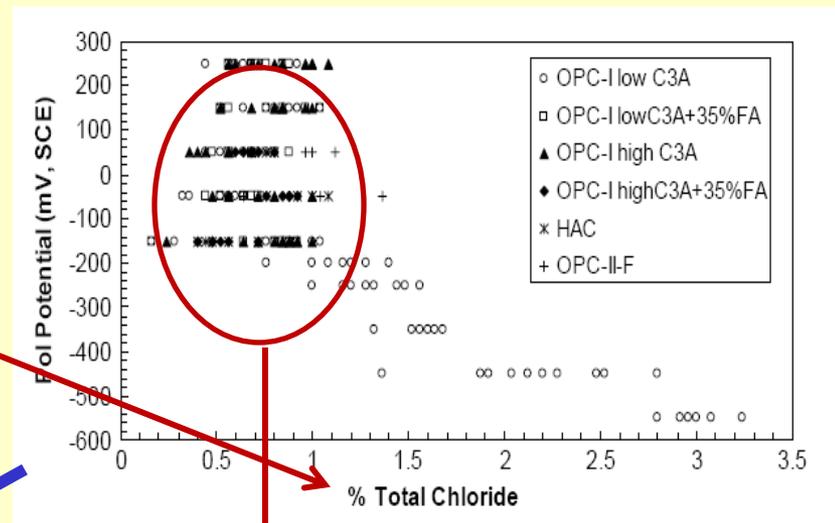
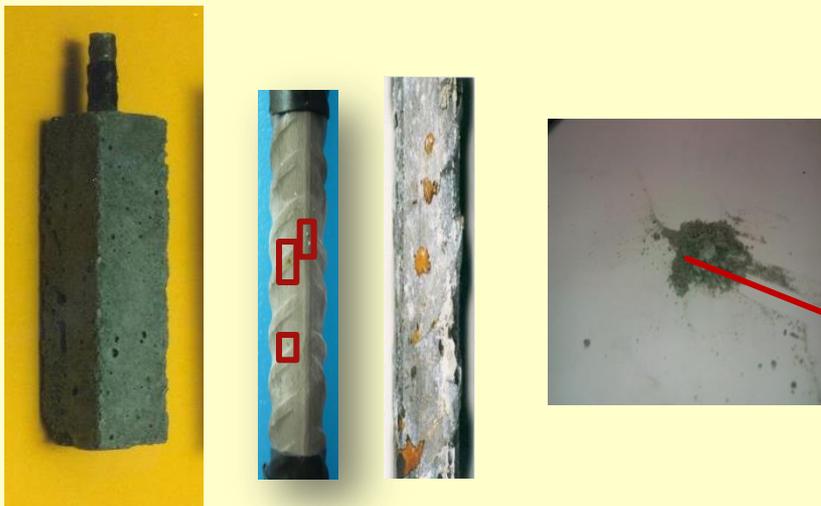


DISTRIBUCION ESTADISTICA DEL LIMITE DE CLORUROS

Y

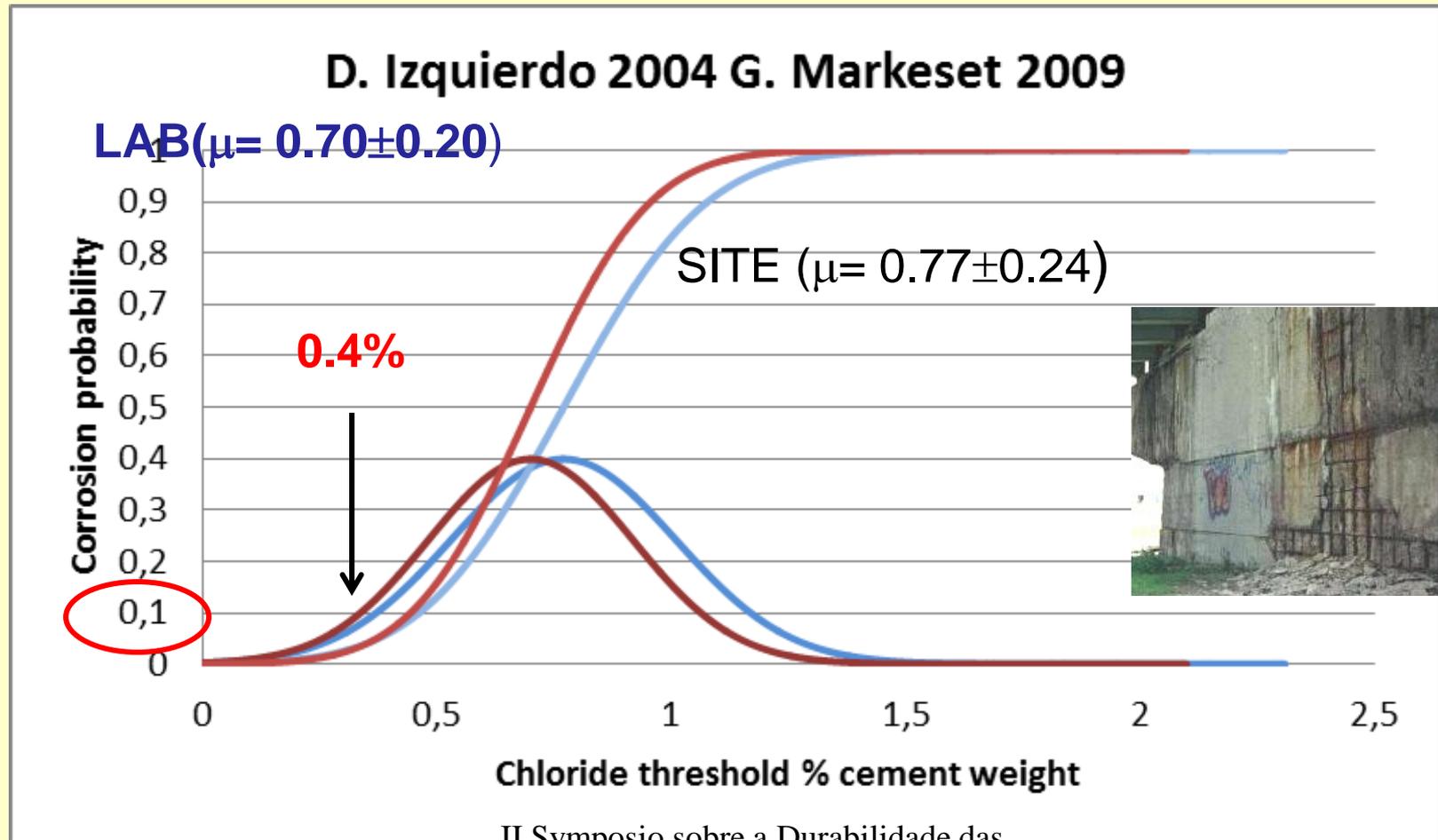
CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE ALCANZAR UNA FISURA DE 100 μ m

LIMITE DE CLORUROS DEPENDENCIA DEL POTENCIAL ELECTRICO

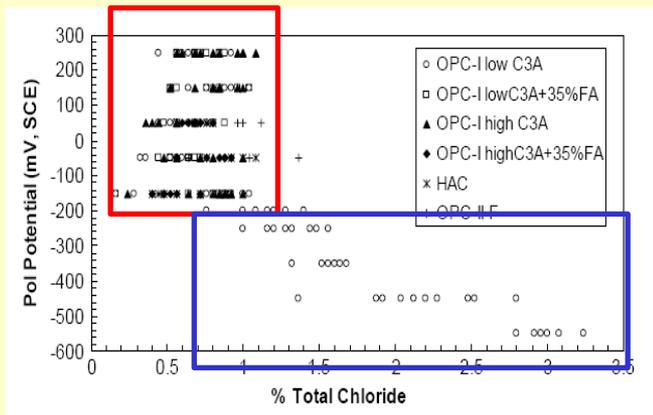
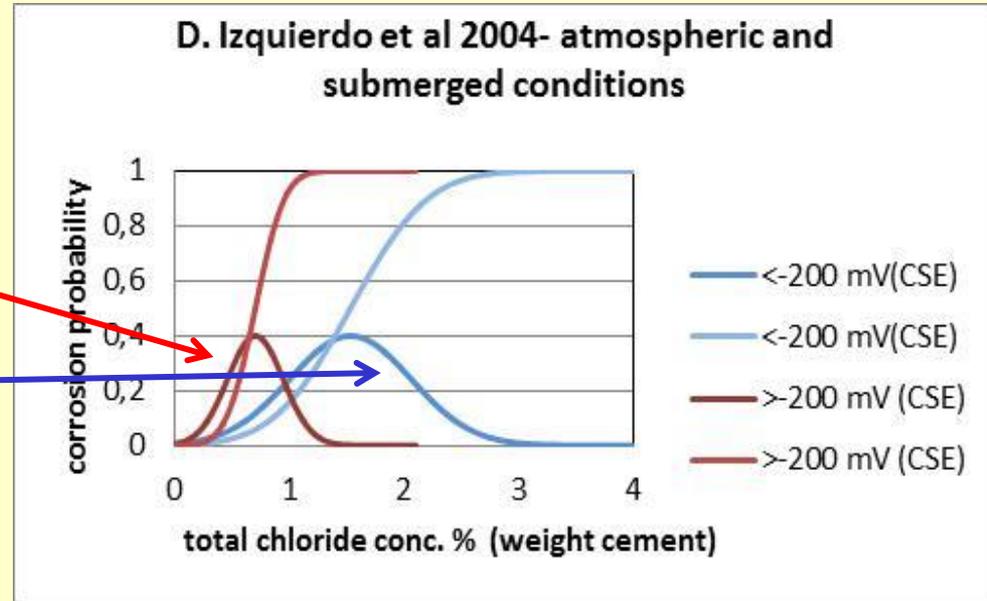
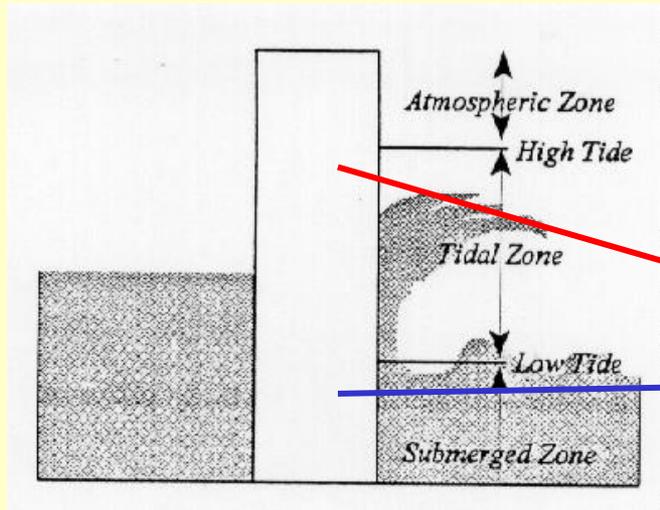


II Simposio sobre a Durabilidade das estruturas de concreto

COMPARACION DE RESULTADOS DE LIMITE DE CLORUROS EN EL LABORATORIO E IN SITU una única distribución



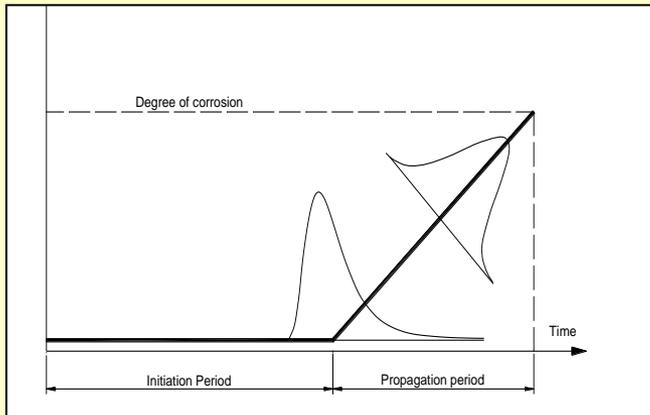
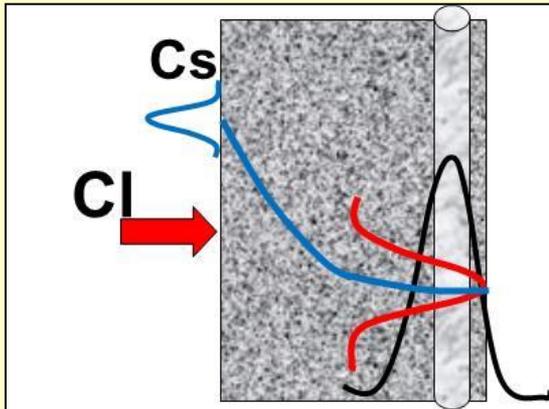
DISTRIBUCION DISTINTA SEGÚN HUMEDAD



valor medio	
Aereas	0.70 ± 0.20
sumergidas	$1.53\% \pm 0,53$

TRATAMIENTO PROBABILISTA simulación de Montecarlo incluyendo el periodo de propagación

$$t_{\text{life}} = t_i + t_p$$



LifeProb

Initiation Period | Propagation Period | OUTPUT and Report Configuration

Random Variables

Chloride

Surface Concentration
 mean value : 5,54
 Std deviation : 1,74

Diffusion Coefficient
 mean value : 1e-8
 Std deviation : 3e-9

Aging
 $D(t) = D_0 (t/t_0)^a$
 to [days]: 28
 mean value of "a": 0,5
 Std deviation of "a": 0,21
 Limit Aging to 10 %
 Limit Aging to 128 Days
 Do not consider aging factor

Initial Concentration
 mean value : 0,1 Std deviation : 0,03

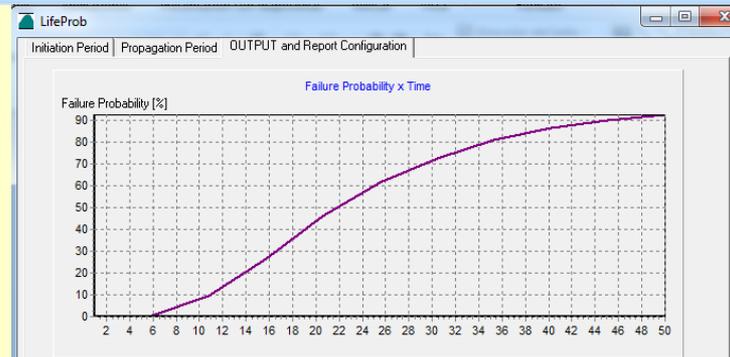
Critical Concentration
 mean value : 0,4 Std deviation : 0,068

left truncated

Carbonation
 mean value of "v" [cm.yea] : 0,43 standard deviation of "v" [cm.yea] : 0,05

Concrete Cover [cm]
 mean value : 4,5 standard deviation : 0,68

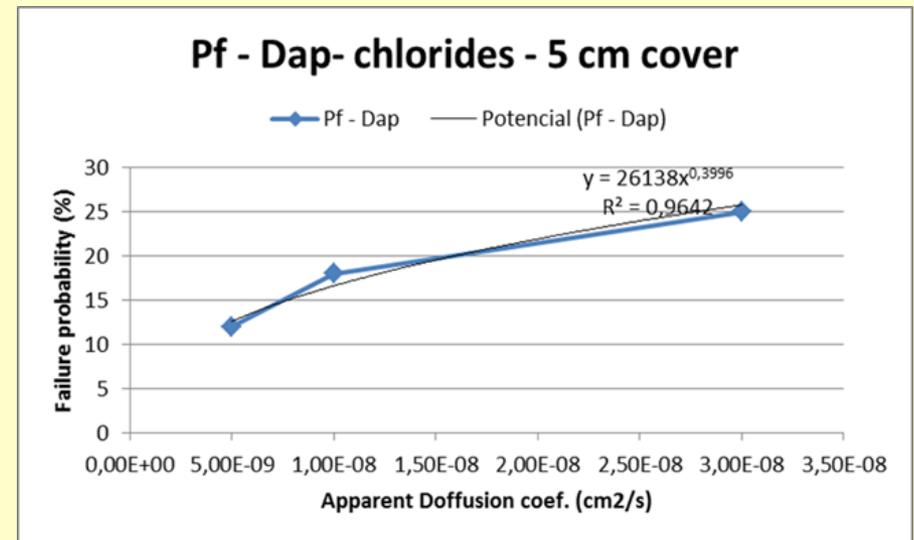
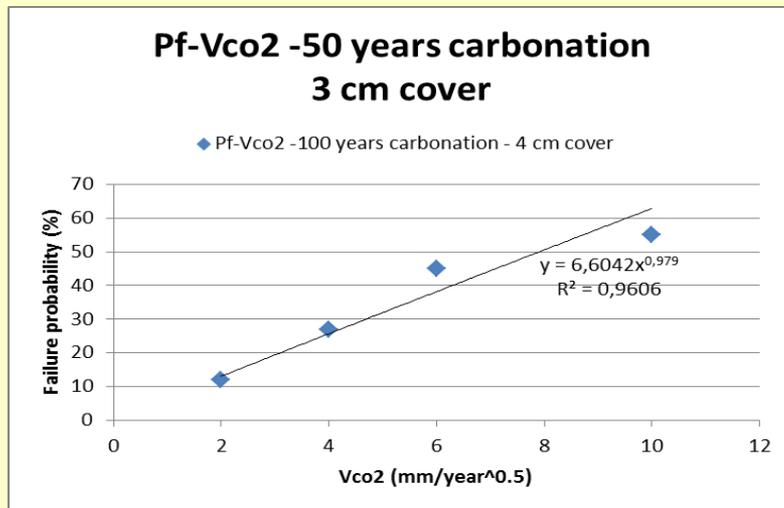
Monte Carlo
 Input for a period of Time Simulation (years)
 Initial Time : 1 Final Time : 50 Number of Steps : 10
 N : 10000
 Just ONE STEP to Final Time
 RUN



LIFEPROB
F.Tavares &
C. Andrade

PROBABILIDADES DE FALLO HASTA FISURACIÓN calculadas con simulacion de Monte Carlo

***La Pf no es unica
depende de la velocidad de ingreso y de corrosion***



RESUMEN

formatos de comprobación de la durabilidad

FORMATOS COMPROBACION DURABILIDAD			
Categoría 1		Categoría 2	Categoría 3
Formato		Formato	Formato
<i>Determinista</i>		<i>Semi-probabilista</i>	<i>Probabilista</i>
<i>Tiempo implícito</i>		<i>Tiempo explícito</i>	<i>Tiempo explícito</i>
Códigos	Indicadores de Durabilidad	Modelos de predicción	Modelos de predicción
Normas			

Especificaciones
 - a/c
 - %cem
 - Resistencia

- Resistividad
 - Perm aire
 - porosidad
 etc
 Se fijan limites

Modelos
 - CO2
 - Cloruros
 Se fijan limites

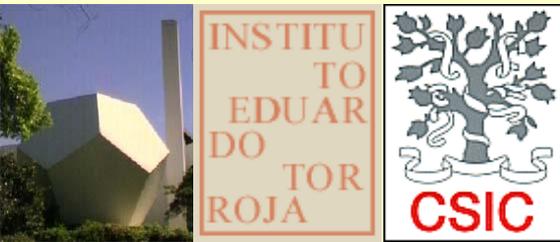
Tratamiento probabilista de los modelos

COMENTARIOS FINALES

- Existen modelos de calculo de la vida util
- **No han sido calibrados**
 - Tienen **inconsistencias** en los parametros de entrada
 - Los ensayos deben tener **factores de paso** de la probeta a la realidad
- Existe un **modelo de la propagacion** de la corrosion
 - Se debe usar para el calculo probabilista.
- Se ha encontrado una **distribucion estadistica** universal del **limite** de cloturos
- **No es un estado limite tradicional** al que se pueda asociar solo el 10% de probabilidad
- La probabilidad de fallo por deterioro **depende** de la velocidad del ataque

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

andrade@ietcc.csic.es



II Simposio sobre a Durabilidade das estruturas de concreto

