

***Centro Internacional de Métodos  
Numéricos en Ingeniería***

# **LA ELECTROQUIMICA Y EL HORMIGON**

**Carmen Andrade Perdrix**

***[candrade@cimne.upc.edu](mailto:candrade@cimne.upc.edu)***

***Colegio de Químicos  
Noviembre 2019***

# EL HORMIGON ES EL MATERIAL MAS UTILIZADO EN LAS SOCIEDADES INDUSTRIALIZADAS

**PRESA TRES GARGANTAS CHINA**



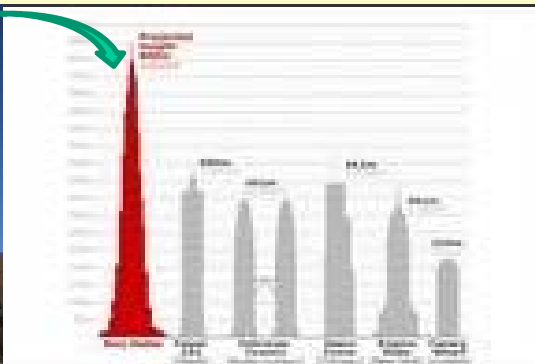
**PUENTE DE ORESUND DINAMARCA**



**TORRE DUBAI**



**TORRES PETRONAS INDONESIA**



**VIADUCTO MILLAUD FRANCIA**

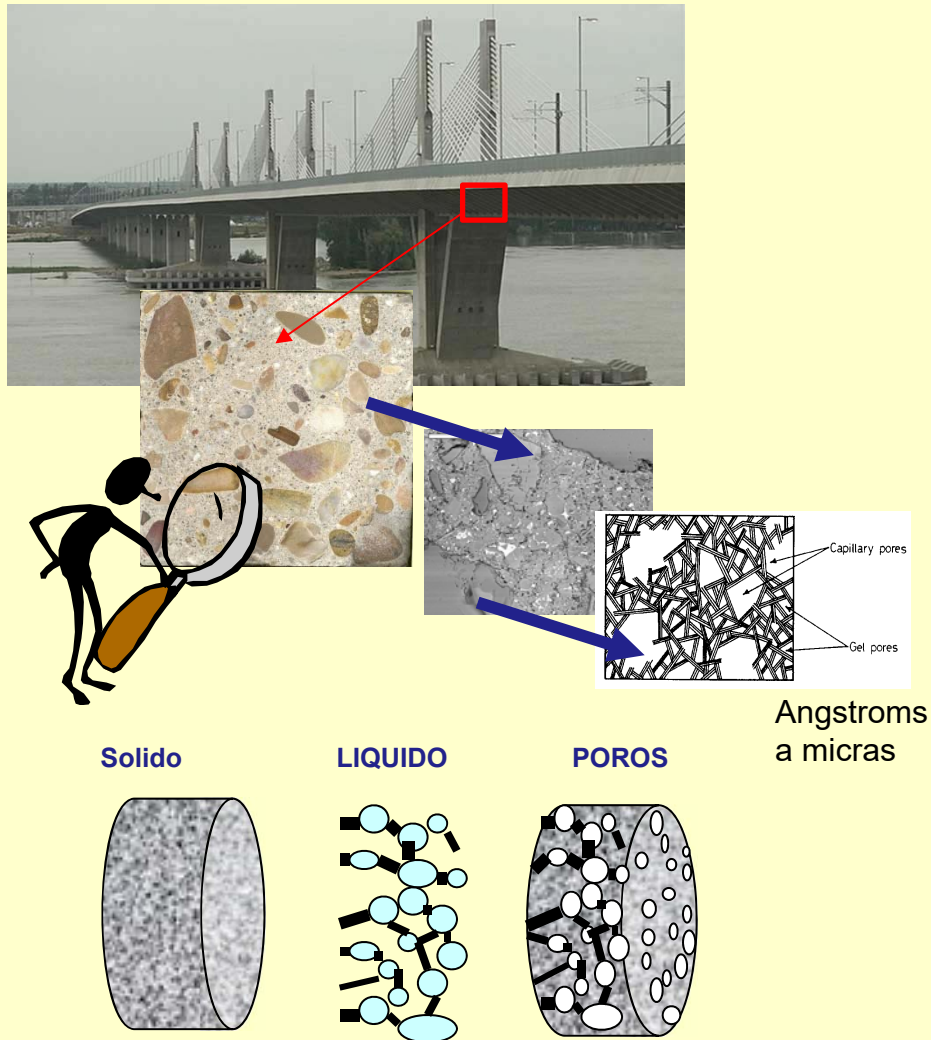
# ***CONTENIDO***

## **¿Qué puede aportar la electroquímica al hormigón?**

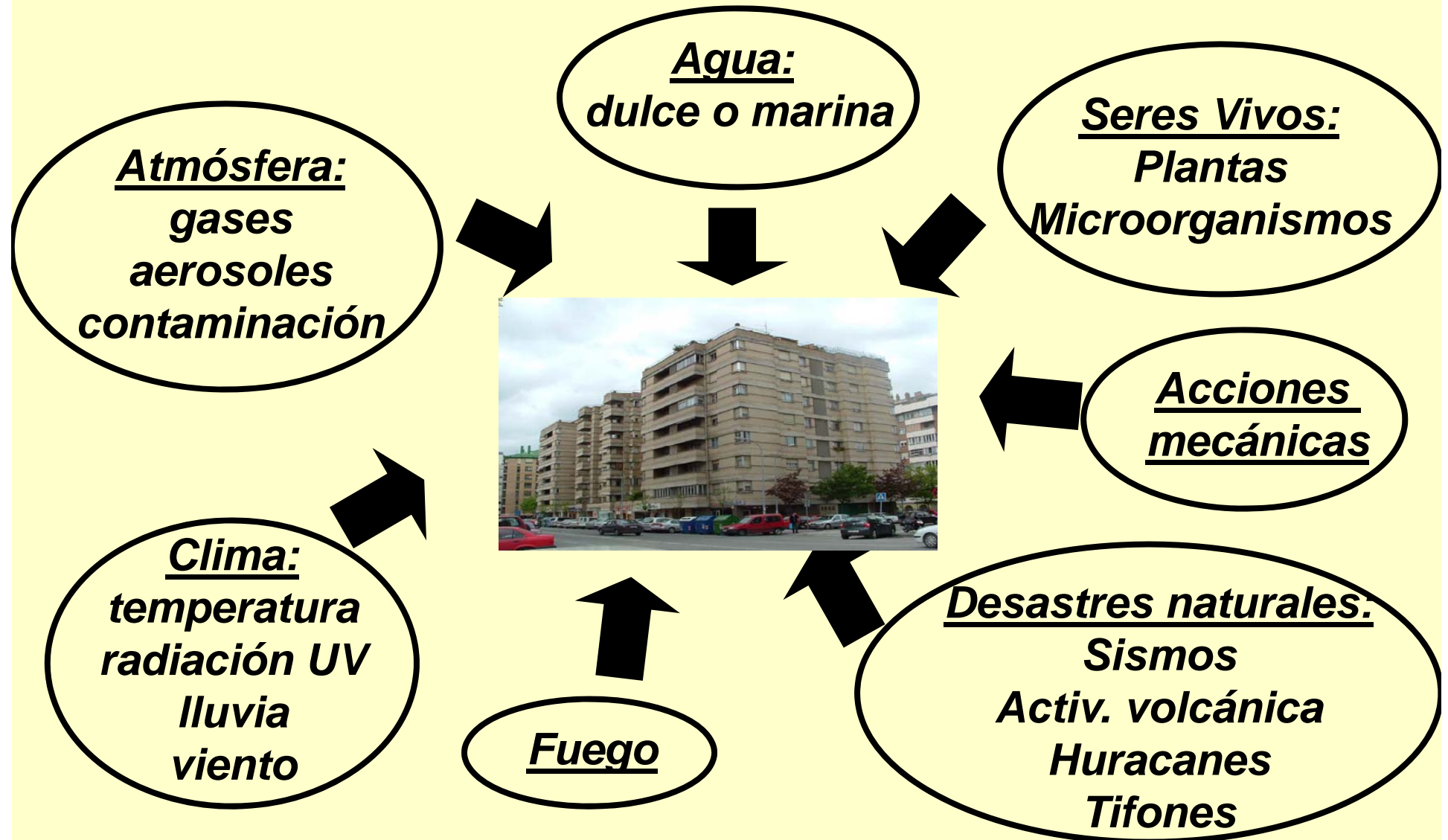
- El hormigón contiene un electrolito
  - su fase acuosa
- Medidas de corrosión
- Protección catódica y técnicas de electro-reparación
- Evaluación de la vida útil:
  - migración y medida de la resistividad

# MICROSTRUCTURA DEL HORMIGON

## FASES: solido, liquido y poros (aire)



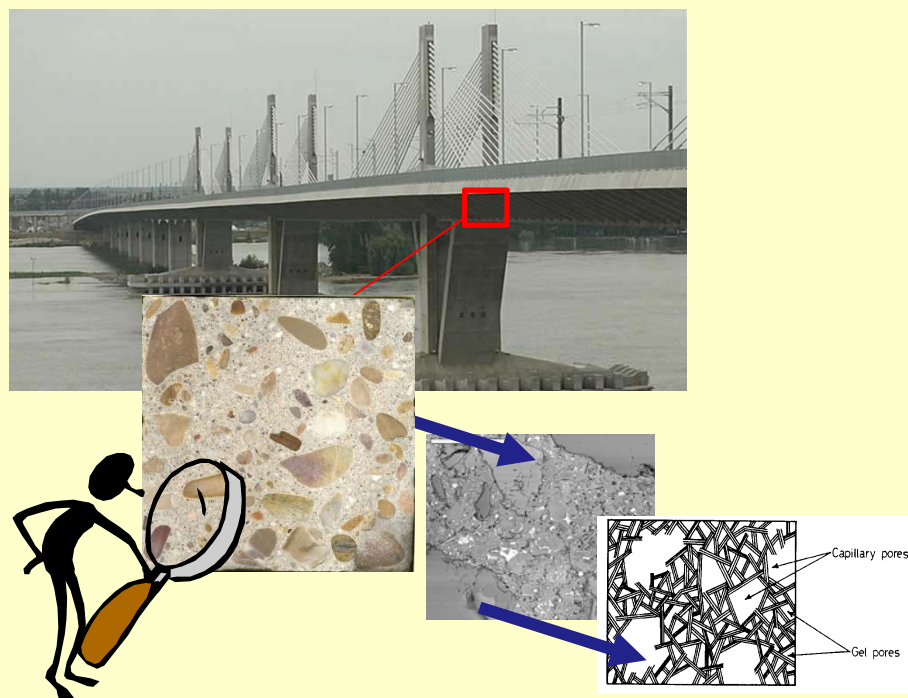
# SE USA EN TODO TIPO DE AMBIENTES sufre deterioros



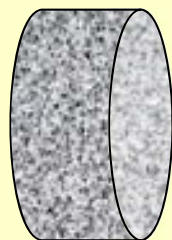


# CORROSION DEL REFUERZO (ARMADURA)

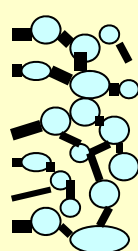
## penetran los cloruros y el CO2 por los poros



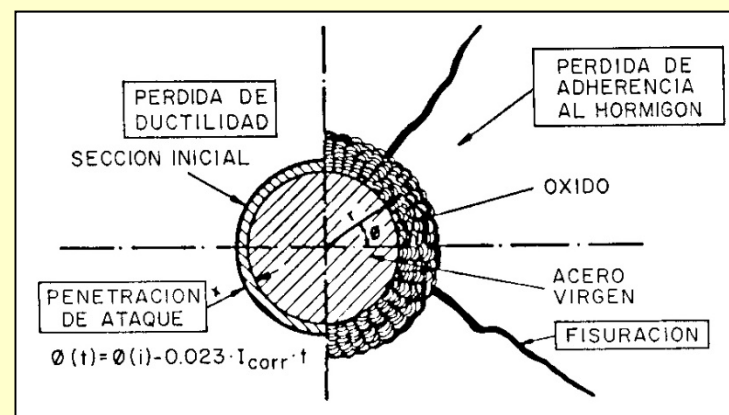
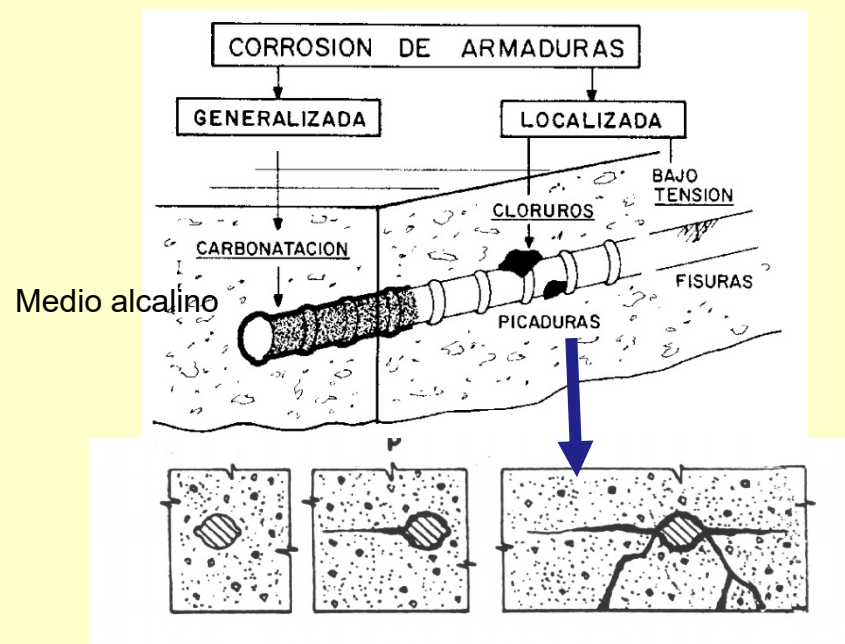
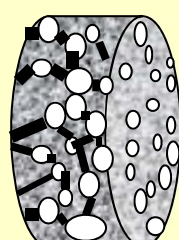
**Solido**



**LIQUIDO**



**POROS**



# COLAPSOS Y DAÑOS

Puerto de Vigo

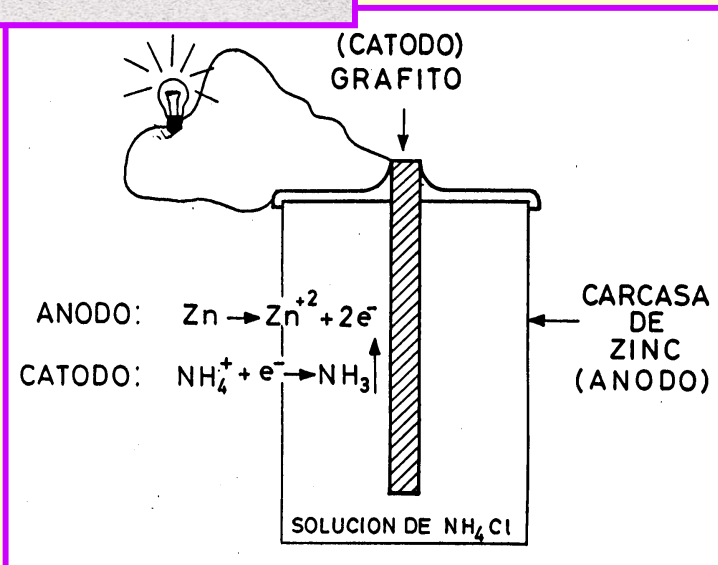
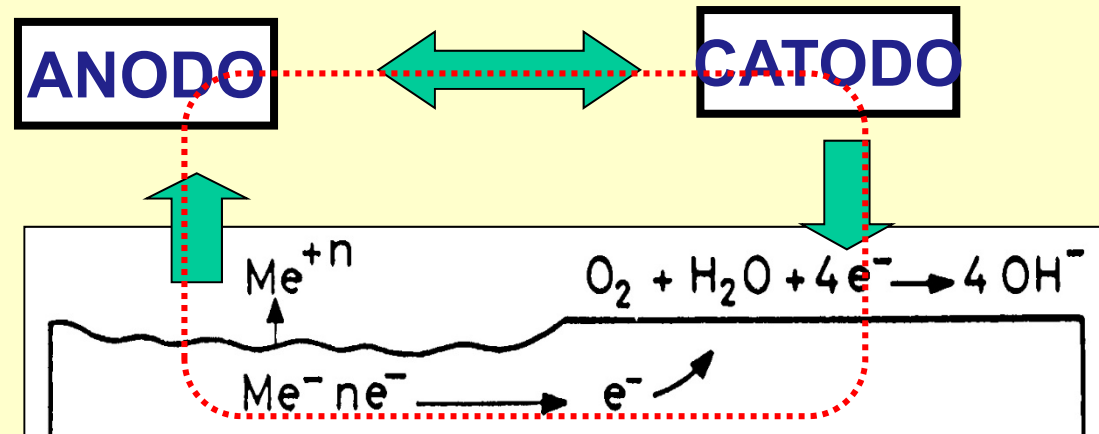


Maracana





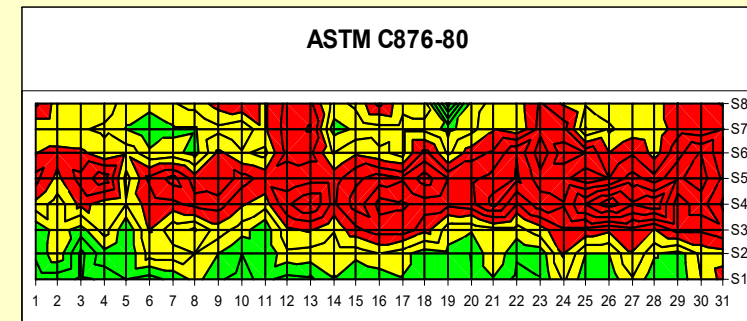
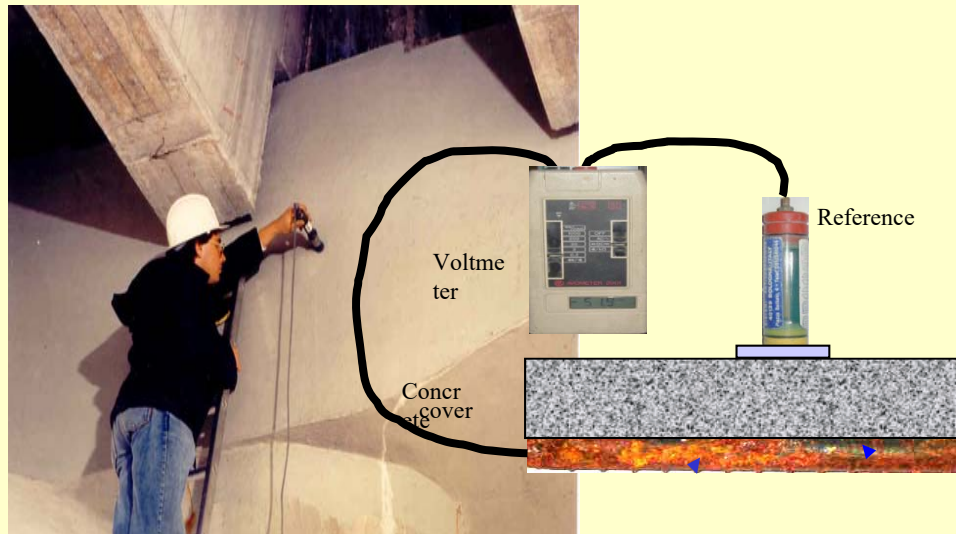
# LA CORROSION ES UN PROCESO ELECTROQUIMICO





# **TECNICAS ELECTROQUIMICAS DE MEDIDA DE LA CORROSION**

# MAPAS DE POTENCIAL y RESISTIVIDAD cualitativo :riesgo de corrosión

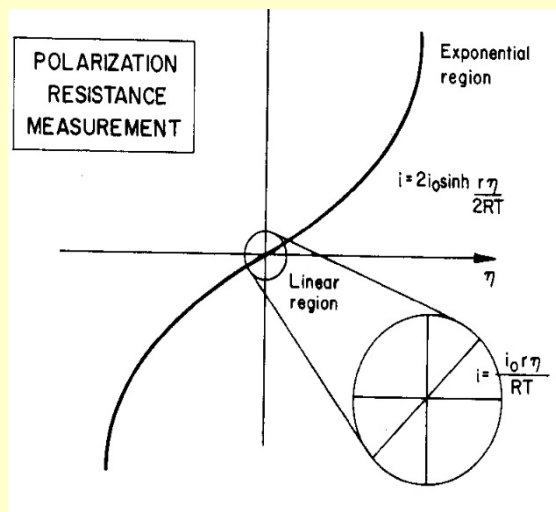
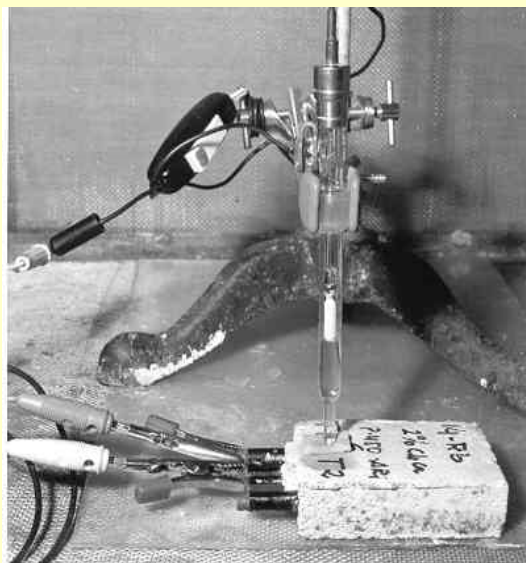


<b><math>&gt; -200</math> (SCE)</b>	<b>Passivo</b>
<b><math>-200 &gt; E_{corr} &gt; -350</math></b>	<b>RIESGO MODERADO</b>
<b><math>&lt; -350</math></b>	<b>ALTO RIESGO</b>



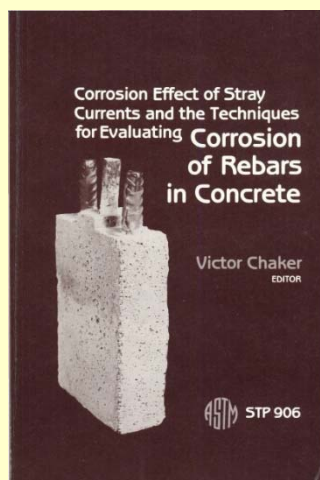
<b><math>\rho &lt; 1000 \Omega m</math></b>	<b>Bajo riesgo</b>
<b><math>100 &gt; \rho &gt; 1000 \Omega m</math></b>	<b>moderado</b>
<b><math>&lt; 100 \Omega m</math></b>	<b>Alto riesgo</b>

# RESISTENCIA DE POLARIZACION, $R_p$ cuantitativa



$$R_p = \left( \frac{\Delta E}{\Delta I} \right)_{\Delta E \rightarrow 0}$$

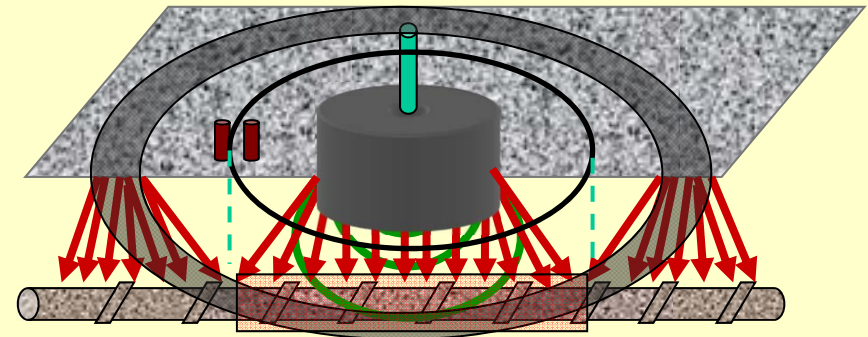
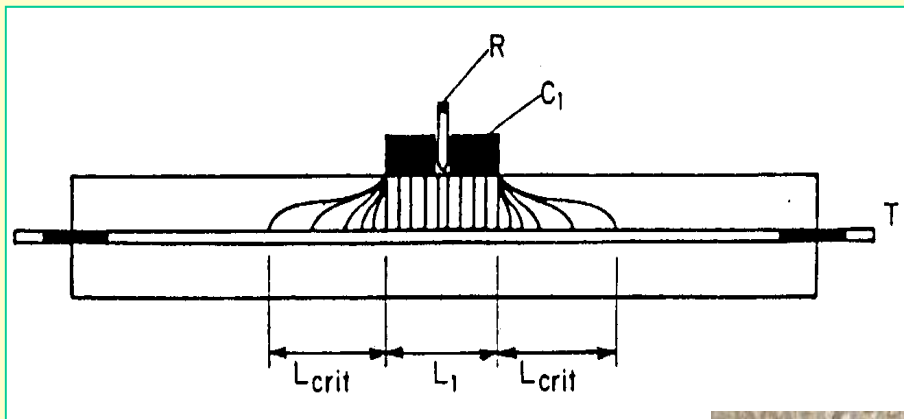
$$I_{corr} = \frac{B}{R_p \cdot A}$$



$I_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	$V_{corr}$ (mm/y)	Nivel de 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

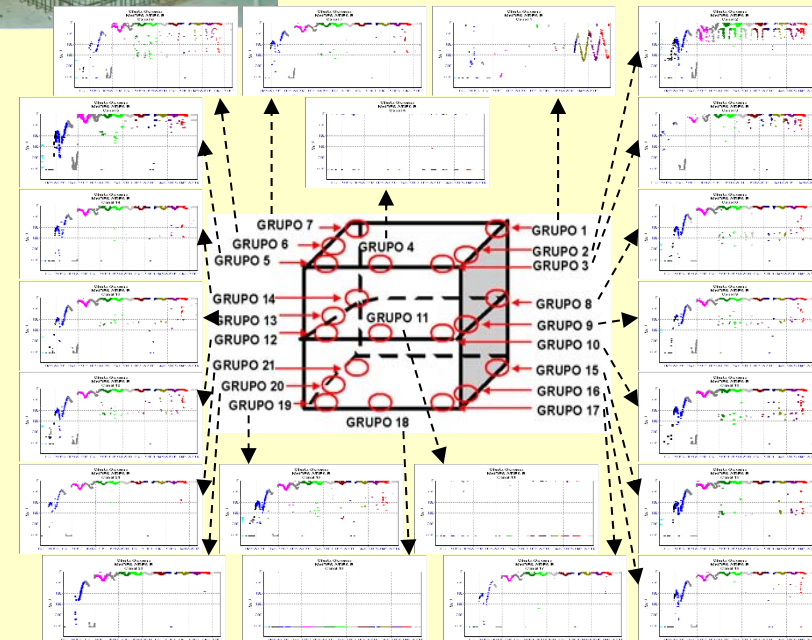
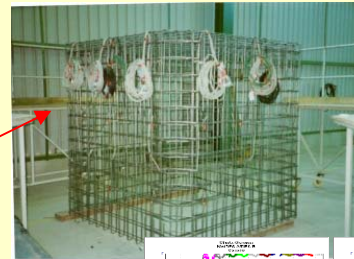
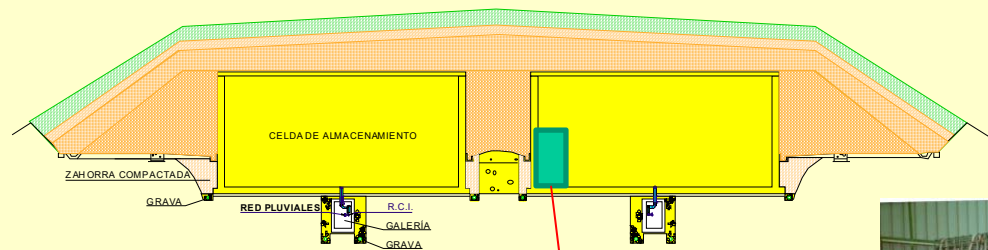
# MEDIDAS EN GRANDES ESTRUCTURAS

la señal eléctrica se dispersa con la distancia  
ANILLO DE GUARDA





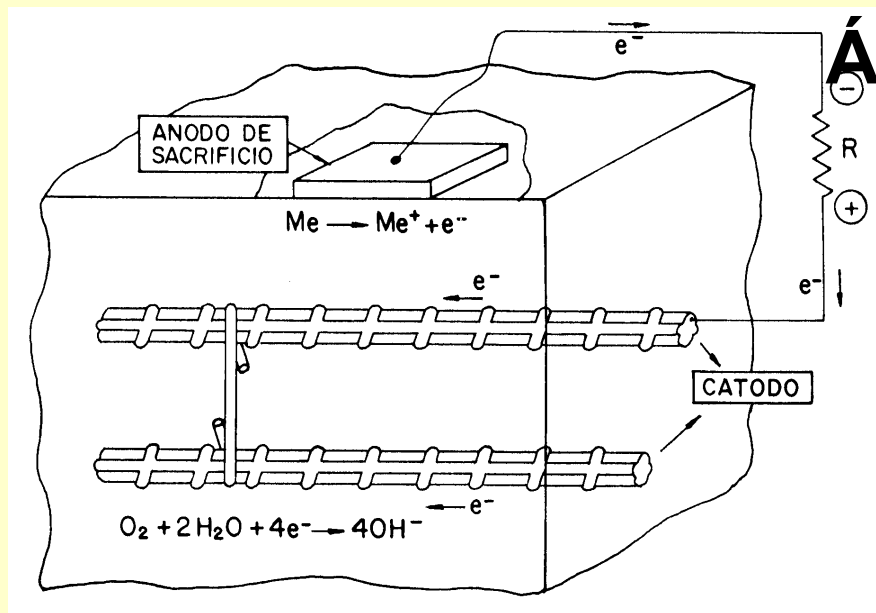
# SENSORES EN EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS RADIOACTIVOS DE EL CABRIL CORDOBA



# **TECNICAS DE ELECTRO-REPARACION**

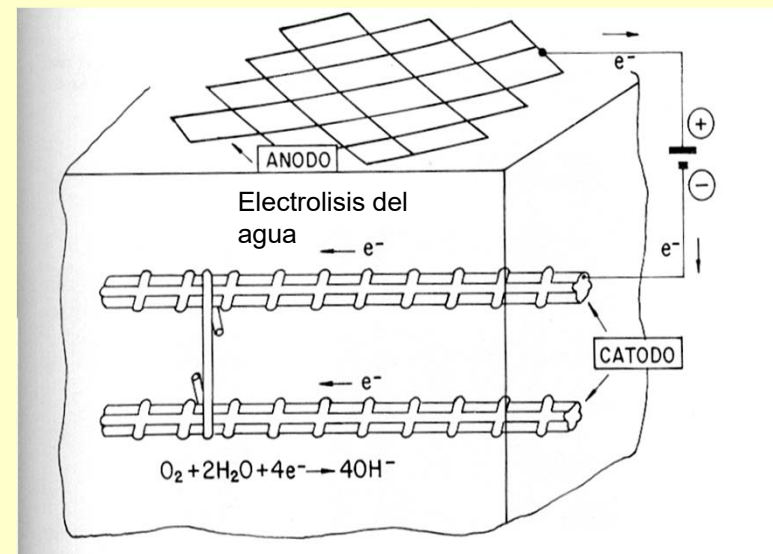
# PROTECCION CATODICA

Consiste en aplicar una corriente a la armadura para hacerla catódica y así se conserva inmune frente a la corrosión



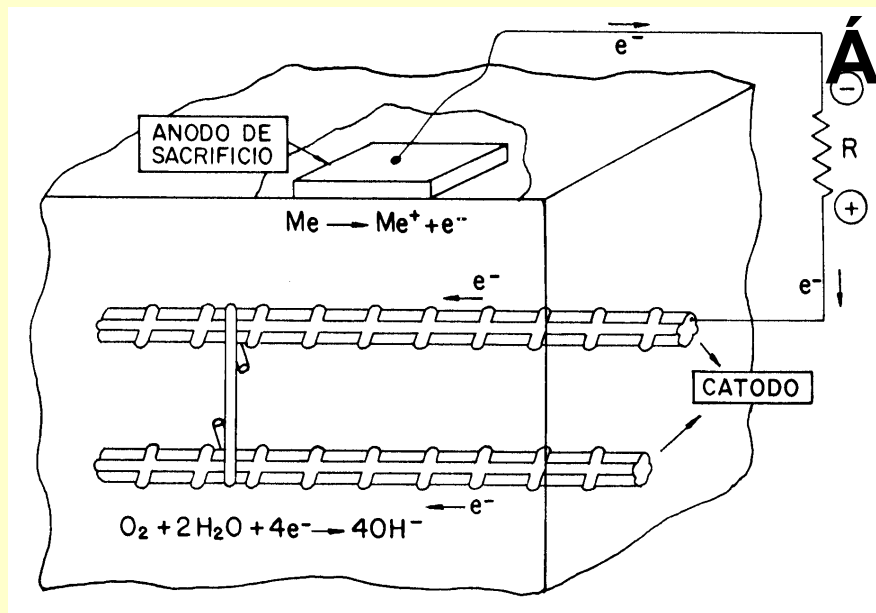
## Ánodos de sacrificio

**Corriente impresa**

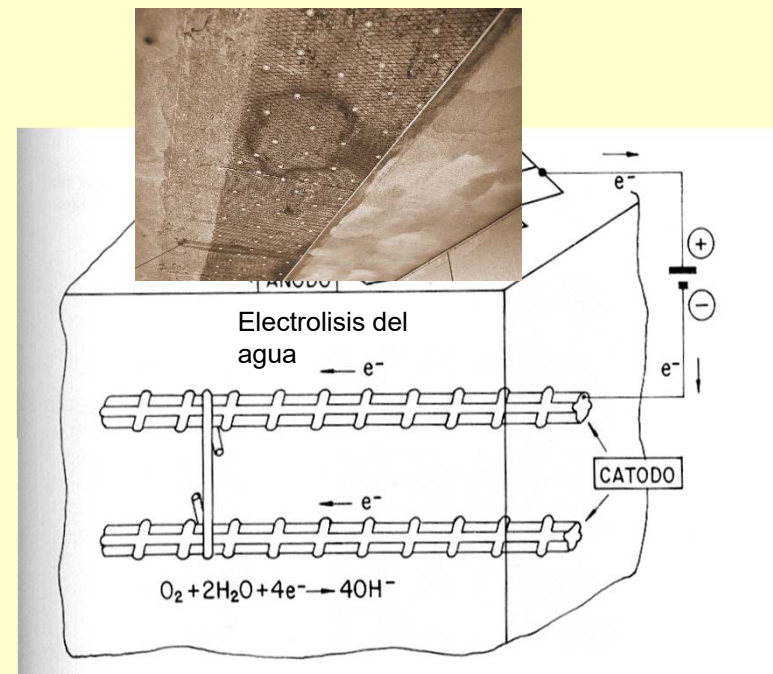


# PROTECCION CATODICA

Consiste en aplicar una corriente a la armadura para hacerla catódica y así se conserva inmune frente a la corrosión



## Ánodos de sacrificio

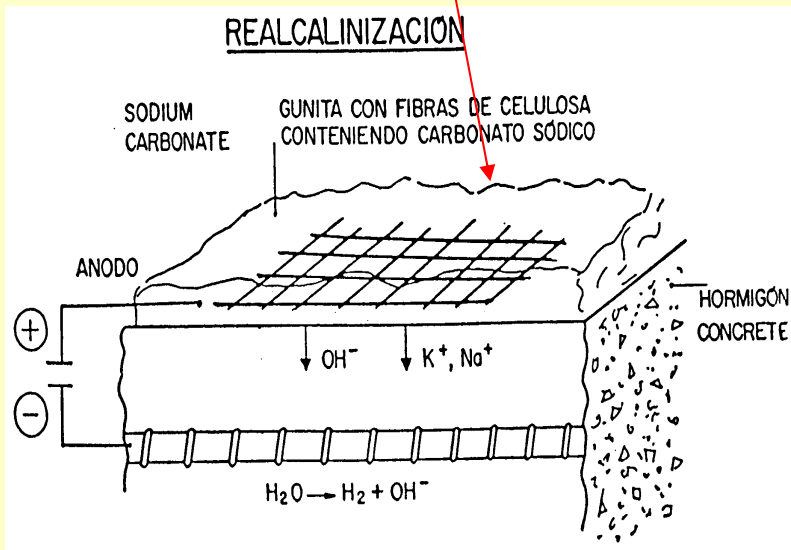
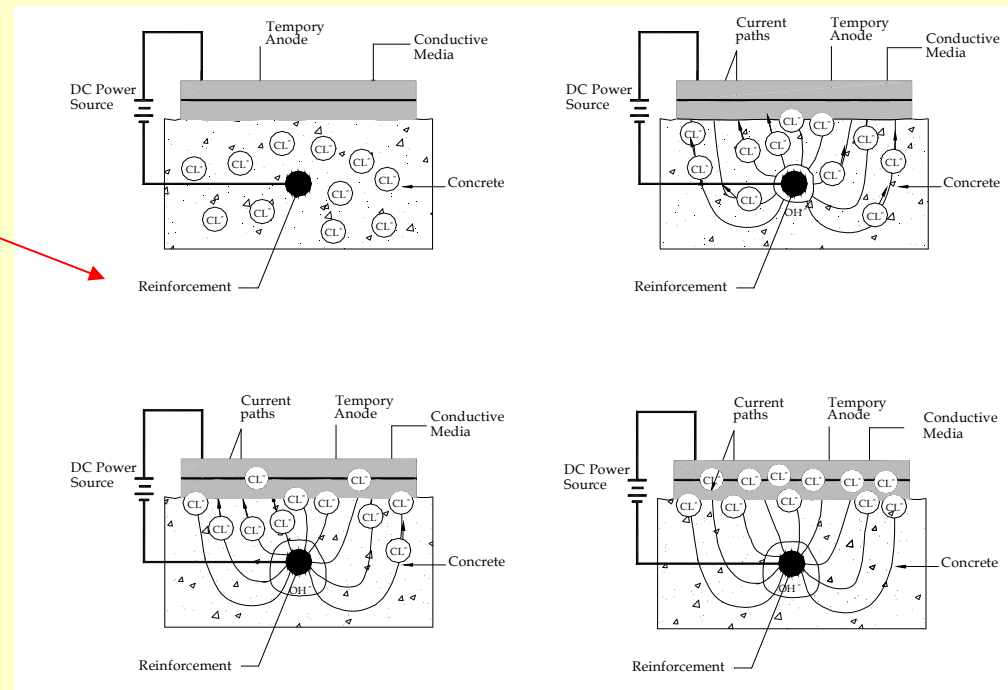
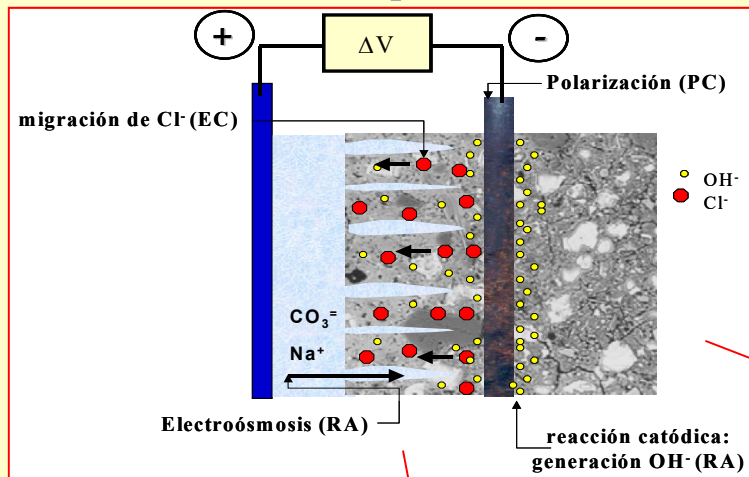


## Corriente impresa



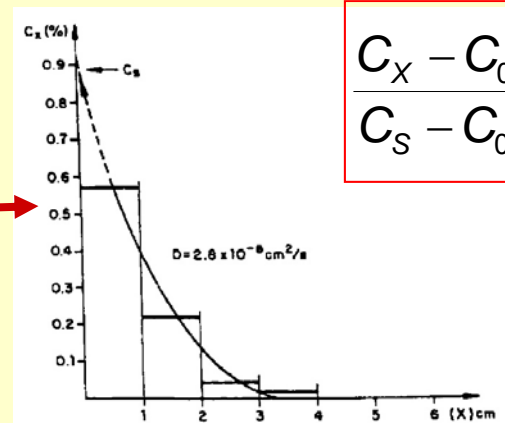
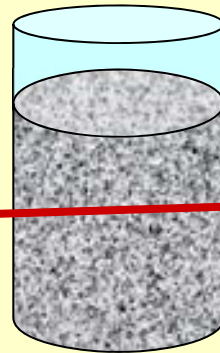
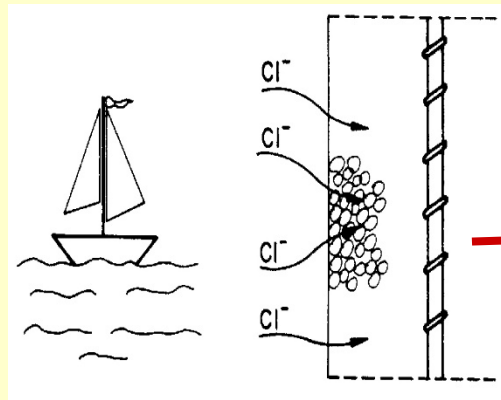
# REALCALINIZACION Y EXTRACCION DE CLORUROS

## aplica mas corriente que la PC



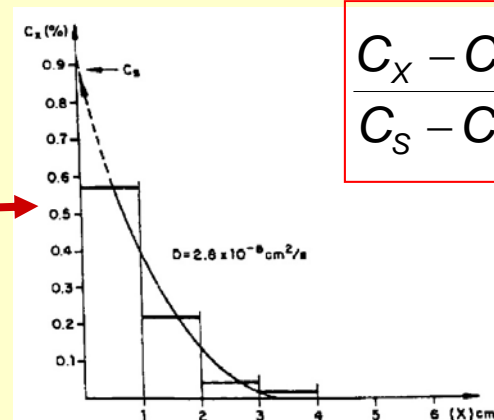
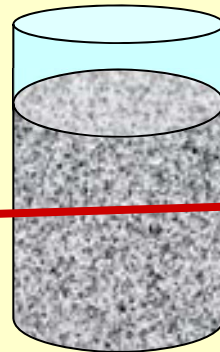
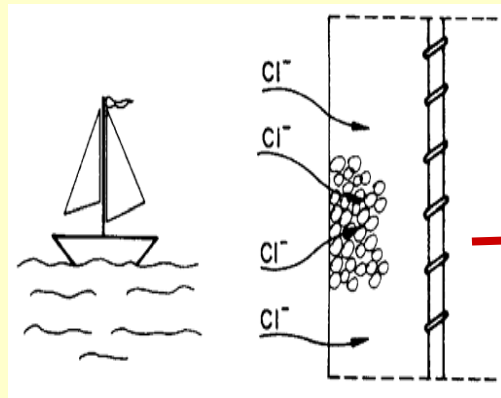
# **MÉTODOS DE ENSAYO ACELERADOS**

# ENSAYO DE COEFICIENTE DE DIFUSION DE CLORUROS

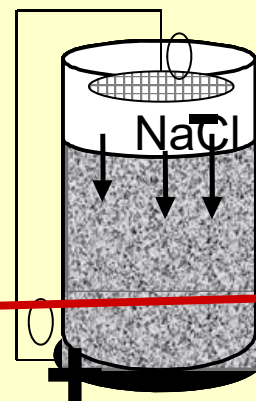
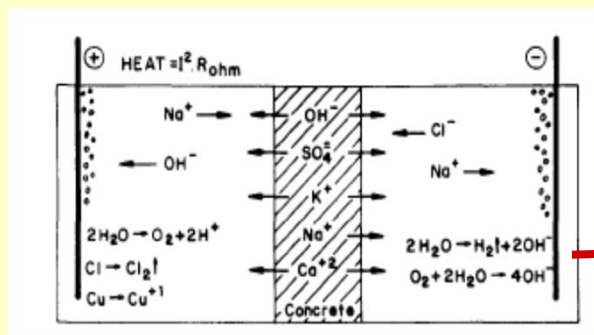


$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = \left( 1 - \text{erf} \left[ \frac{x}{2\sqrt{D_{ns}t}} \right] \right)$$

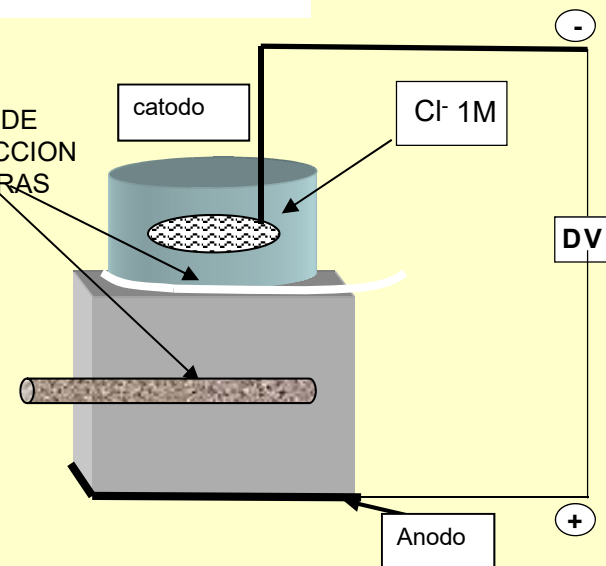
# ENSAYO DE COEFICIENTE DE DIFUSION DE CLORUROS



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



ZONAS DE EXTRACCION MUESTRAS

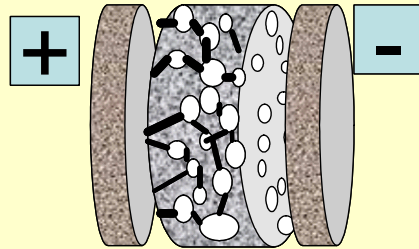




# **RESISTIVIDAD**

## **MÉTODO UNIVERSAL DE MEDIDA VIDA UTIL**

# RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL HORMIGON



Relacionada con la porosidad

$$\rho = \rho_0 \cdot W^{-\tau}$$

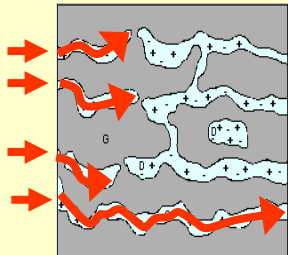
$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{A}$$

Ley de Ohm

Factor Geométrico



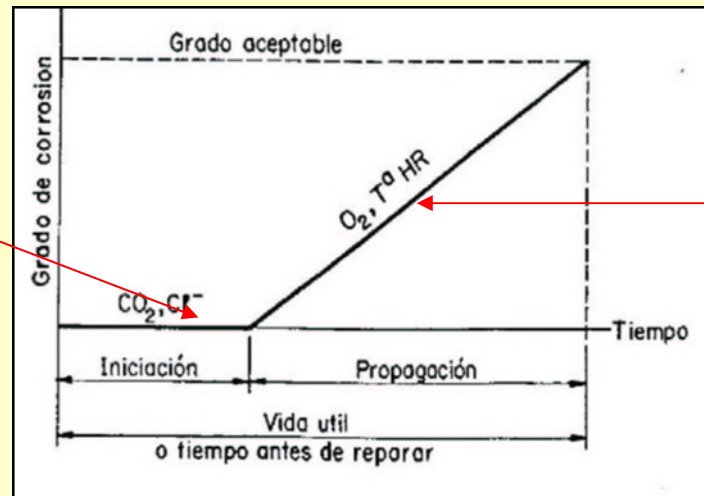
# MODELO DE DURABILIDAD BASADO EN LA RESISTIVIDAD



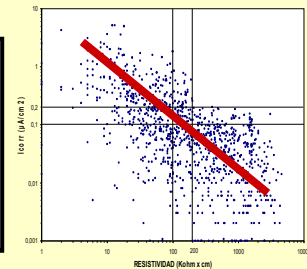
$$D_{Cl} = \frac{K}{\rho}$$

RELACION  
con  
DIFFUSION

C. Andrade- C&CR 23 (1993) 724  
Nernst-Planck and Nernst –Einstein  
equations



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



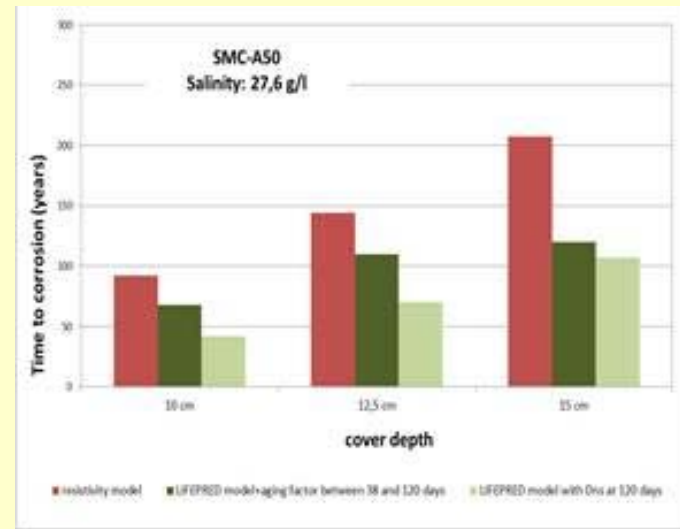
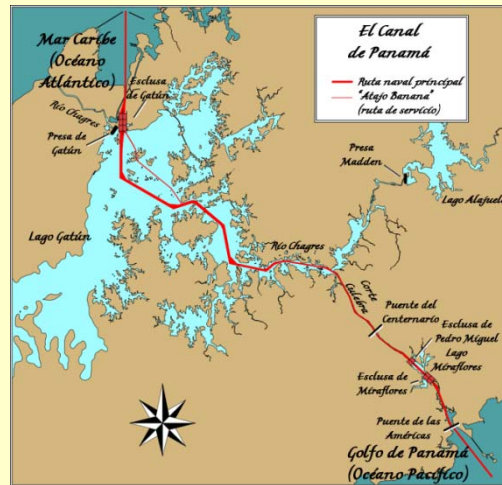
RELACION con  
CORROSION

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

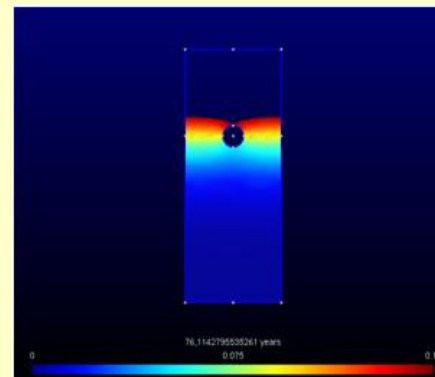
$$t_L = t_i + t_p$$

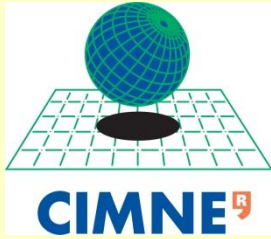
$$t_l = t_i + t_p = \frac{x^2 \rho_{ef} r_{Cl, CO_2}}{F_{Cl, CO_2}} + \frac{P_v \cdot \rho}{k_{corr}}$$

# APLICADO AL DISEÑO DEL HORMIGON DURABLE DEL CANAL DE PANAMA



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





***Centro Internacional de Métodos  
Numéricos en Ingeniería***

**GRACIAS POR SU ATENCION**

**[candrade@cimne.upc.edu](mailto:candrade@cimne.upc.edu)**

***Universidad de Cordoba  
2 Abril 2019***