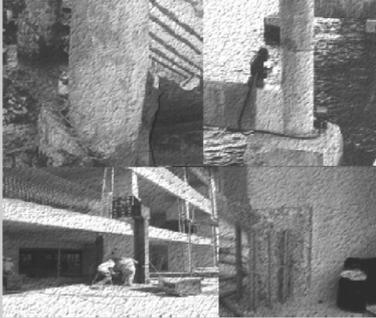


rehabilitar



Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón
Reparación, Refuerzo y Protección

Autor: Oladis T. de Rincón
Profesor: Andrés Torres Acosta

Capítulo 1

ACCIONES SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

CORROSION DE LA ARMADURA

Rehabilitación de Puentes y Estructuras de Concreto dañadas por Corrosión

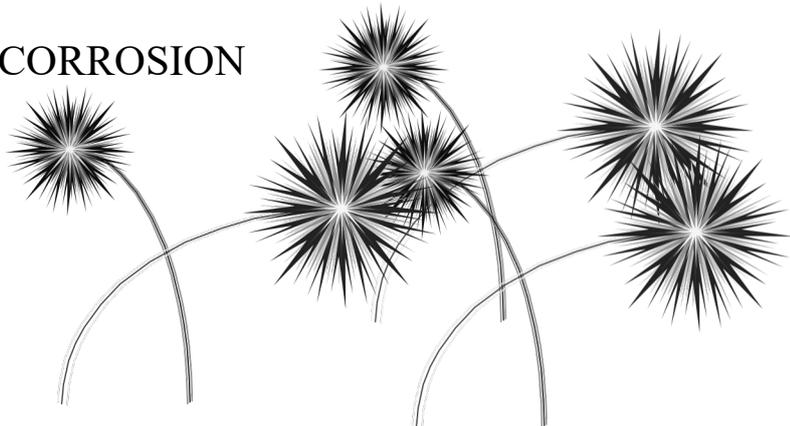
Culiacán, SIN., México 2004

CYTED REHABILITAR Red Temática XV. P. CYTAD

1

DEFINICION

CORROSION

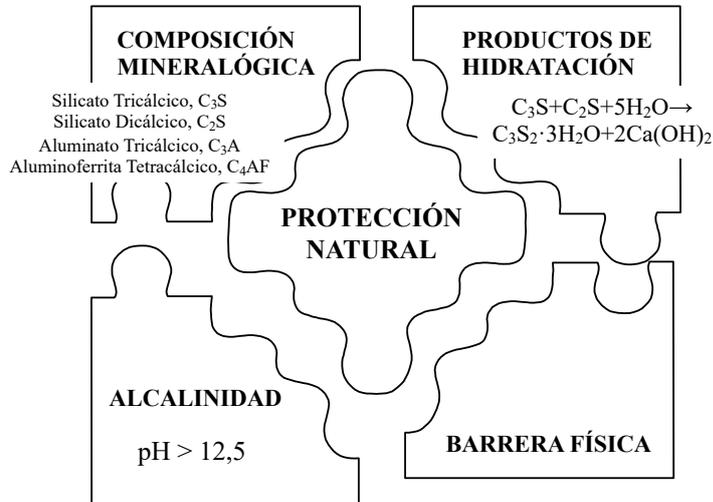


Oxidación destructiva de materiales metálicos en un medio específico

2

FUNDAMENTOS

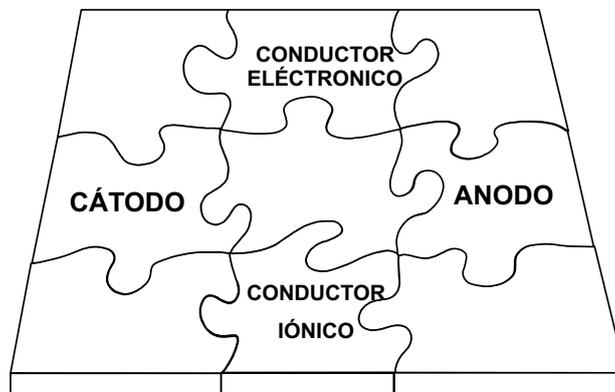
Protección del Acero en el Hormigón



3

FUNDAMENTOS

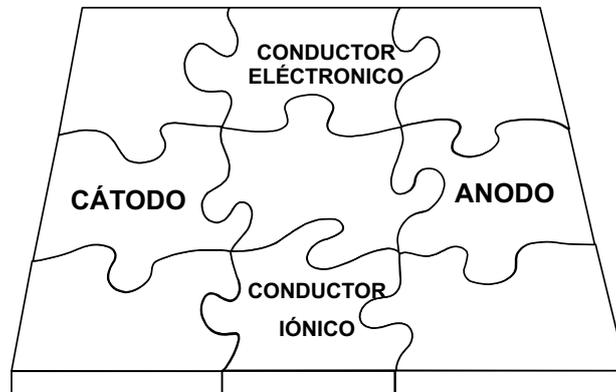
Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión



4

FUNDAMENTOS

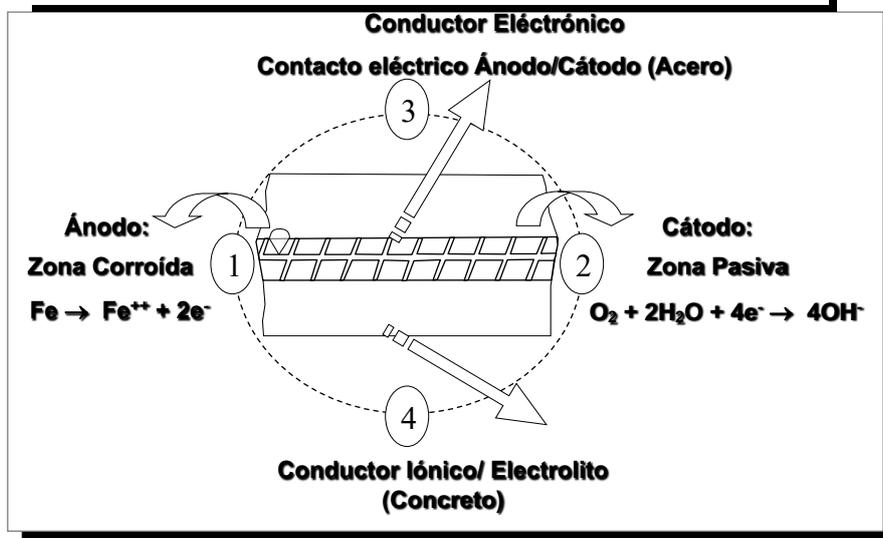
Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión



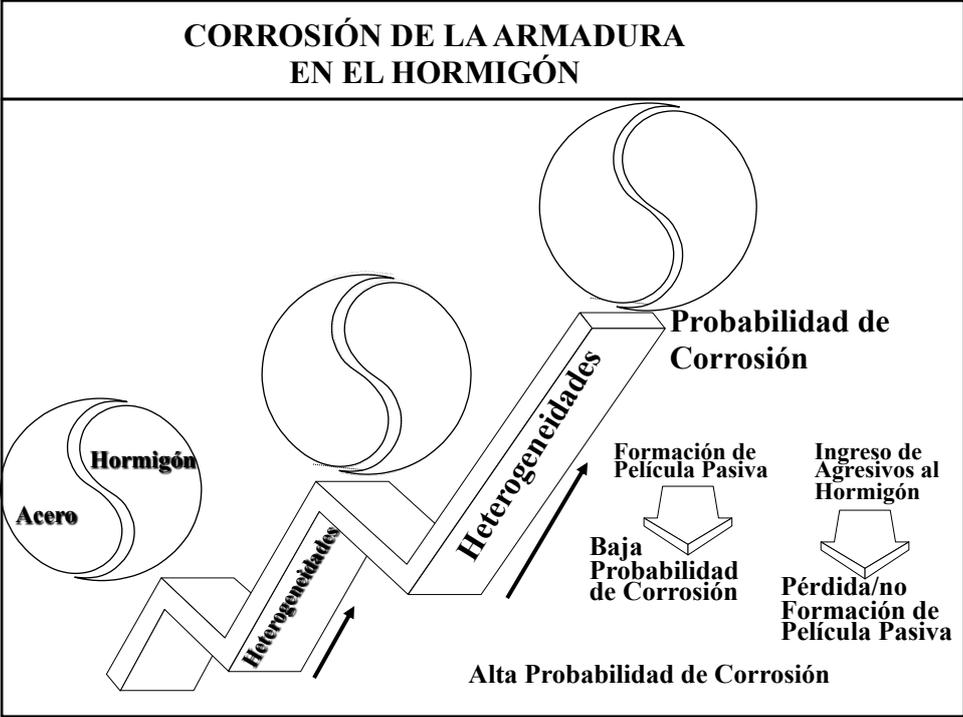
5

CORROSIÓN DE LA ARMADURA EN EL HORMIGÓN

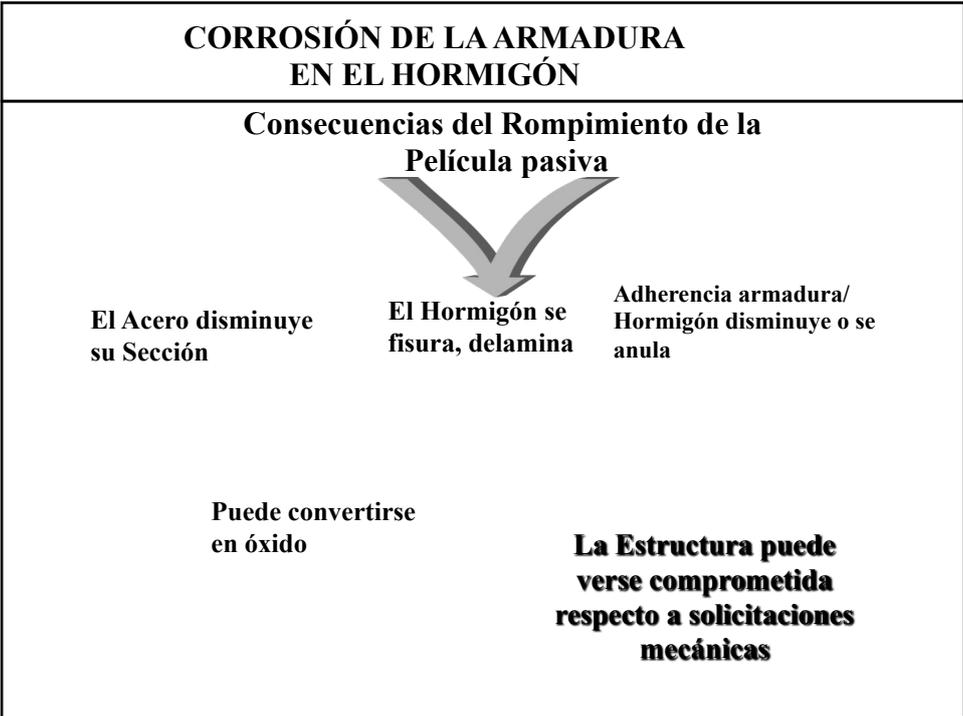
Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión



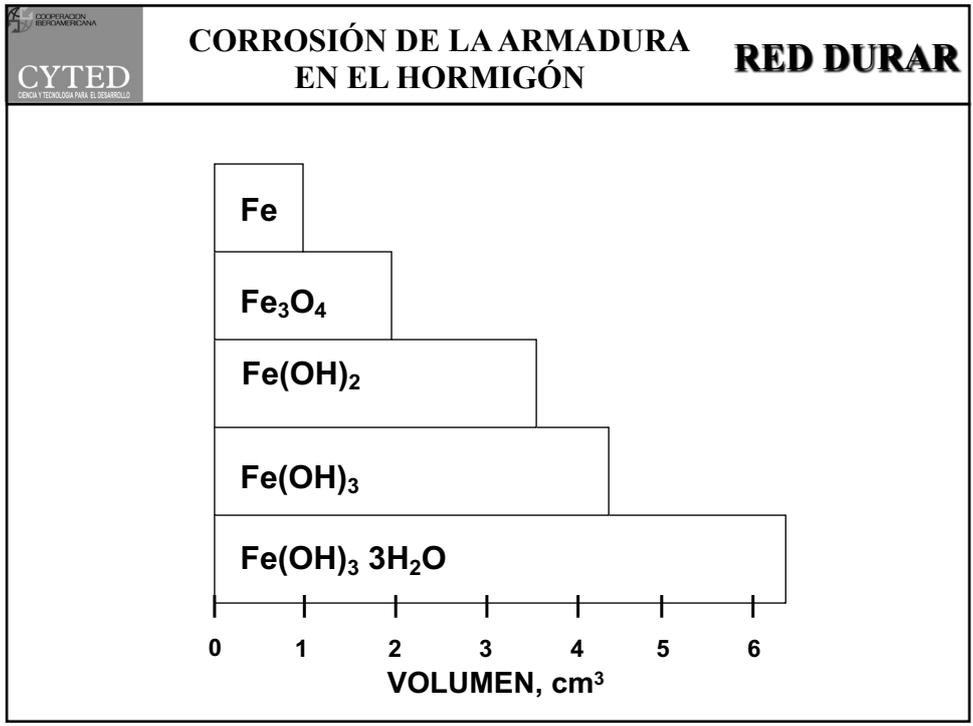
6



7



8



9

**CORROSIÓN DE LA ARMADURA
EN EL HORMIGÓN**

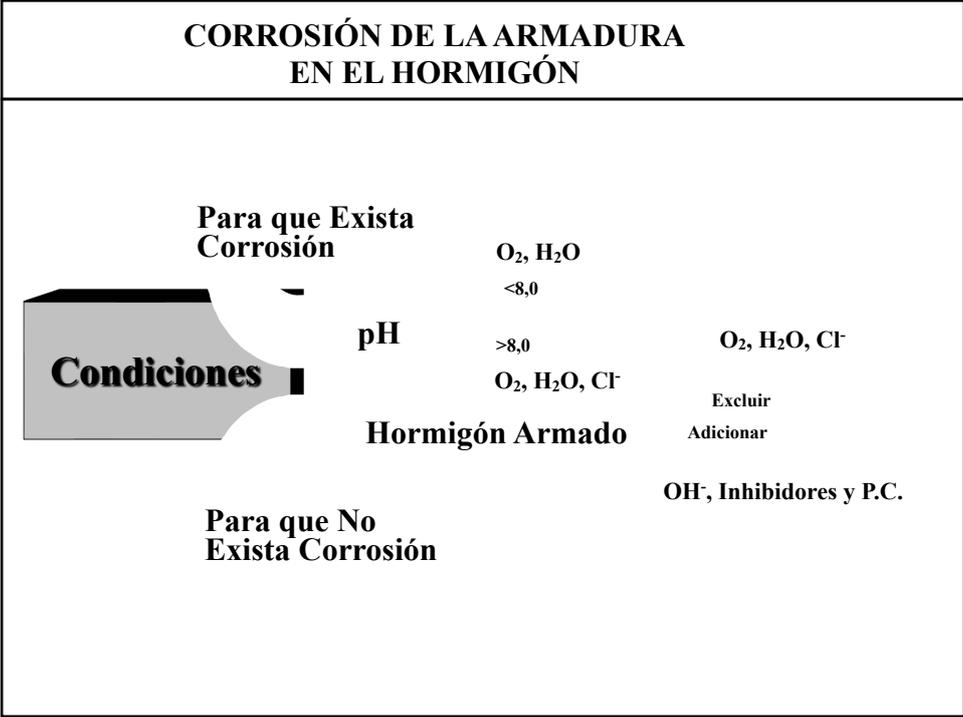
**Mecanismos para que la Corrosión
pueda iniciarse y mantenerse**

**Reducción de la
alcalinidad por
Lixiviación de la solución
alcalina en poros.
Neutralización con CO₂,
y otros ácidos.**

**Acción
Electroquímica
del ión Cl⁻ en
presencia de O₂**

Anódica: $2\text{Fe} \rightarrow 2\text{Fe}^{++} + 4\text{e}^-$
Catódica: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

10



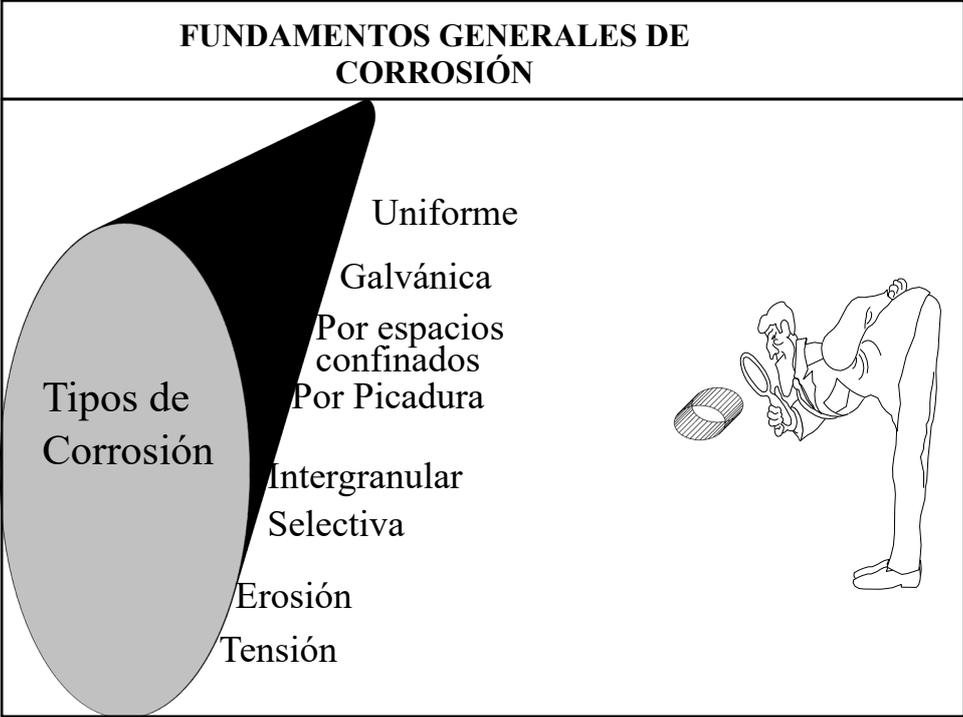
11

**CORROSIÓN DE LA ARMADURA
EN EL HORMIGÓN**

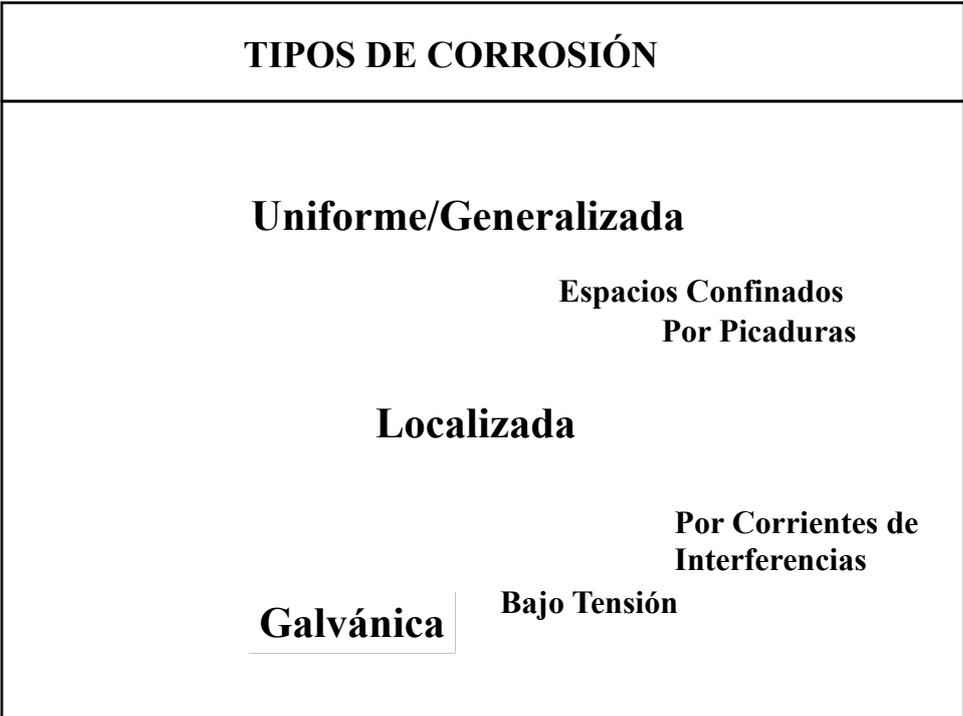
Frecuencia de Fallas en Metales

Tipo de Falla corrosiva	Frecuencia (%)
General	31
Por Tensión	24
Picaduras	10 65
Intergranular	09
Erosión	08
En soldaduras	05
Fatiga Térmica	04 26
Fatiga	02
Por Hidrógeno	02
Espacios confinados	02
Galvánica	02
Disolución selectiva	01 09
	100%

12



13



14

TIPOS DE CORROSIÓN UNIFORME/GENERALIZADA

Pérdida generalizada de la Película Pasiva

HORMIGON

Causas

Carbonatación

CO₂
O₂
Cl⁻

Cl⁻

Lixiviación

Cl⁻

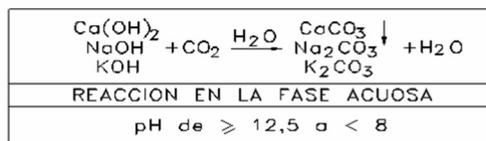
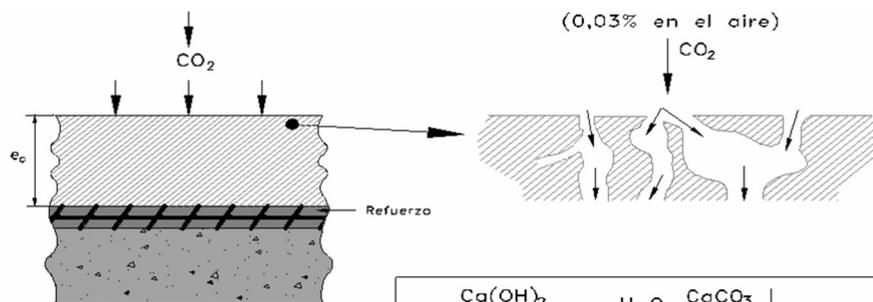
Cl⁻

Cl⁻ Cl⁻ Cl⁻ Cl⁻

15

TIPOS DE CORROSIÓN

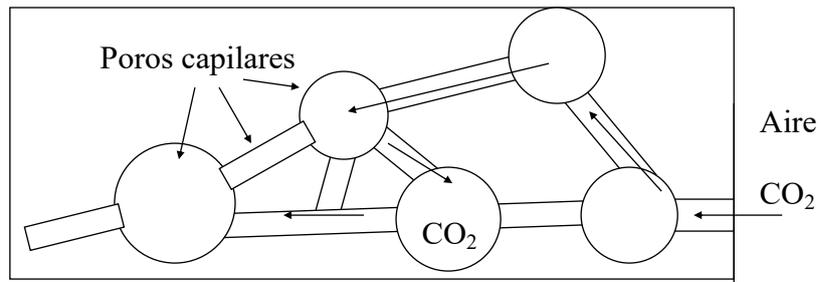
Mecanismo de Corrosión Uniforme (Carbonatación)



16

FUNDAMENTOS

Protección del Acero en el Hormigón



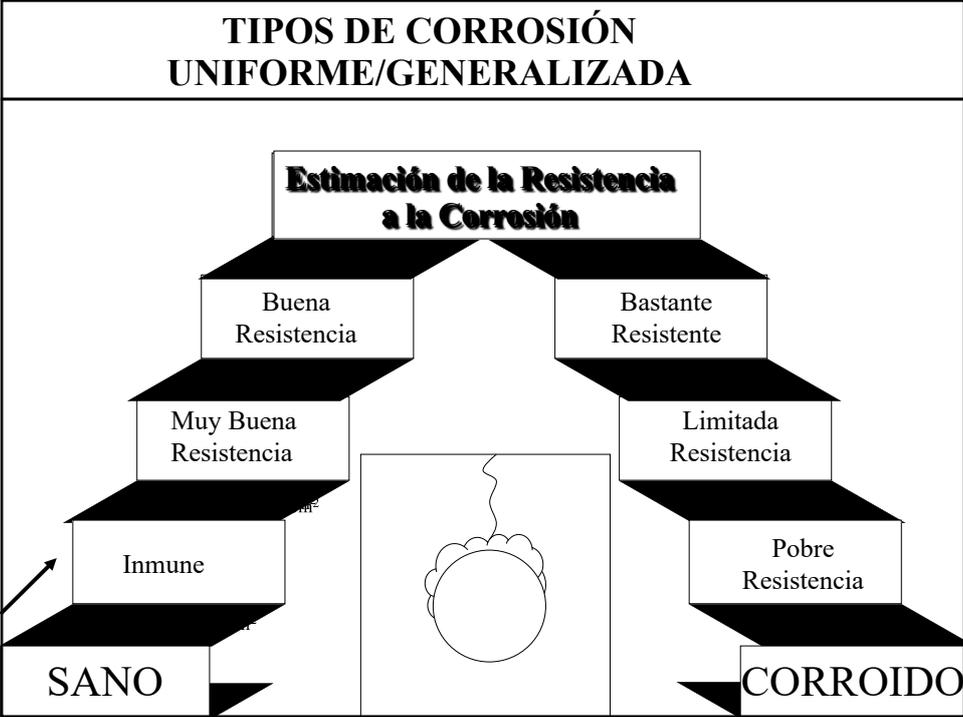
17

TIPOS DE CORROSIÓN

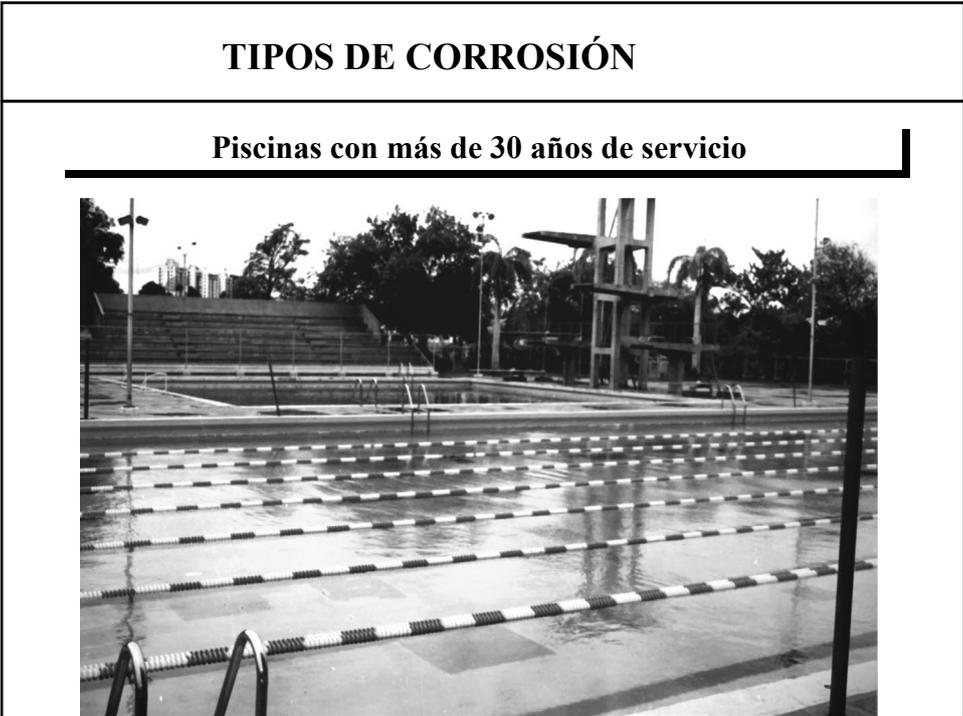
Mecanismo de Corrosión Uniforme (Carbonatación)



18



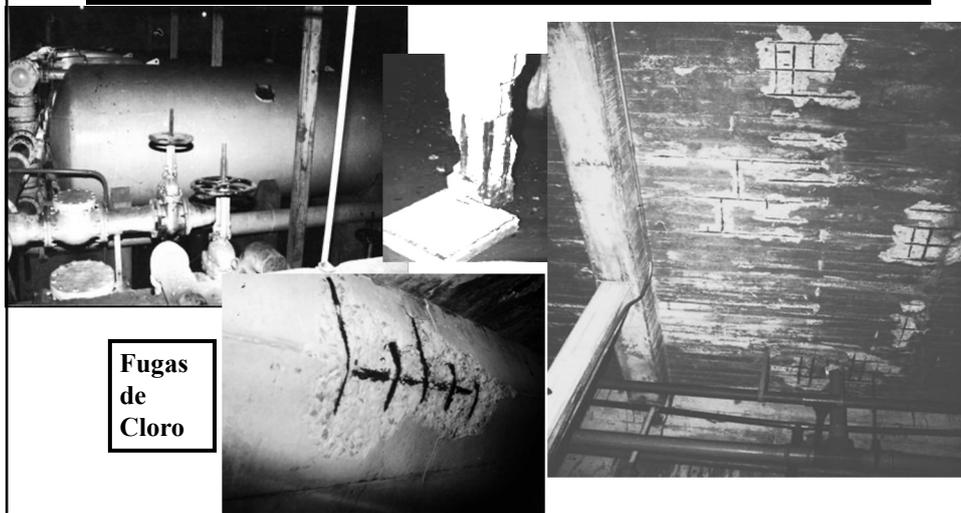
19



20

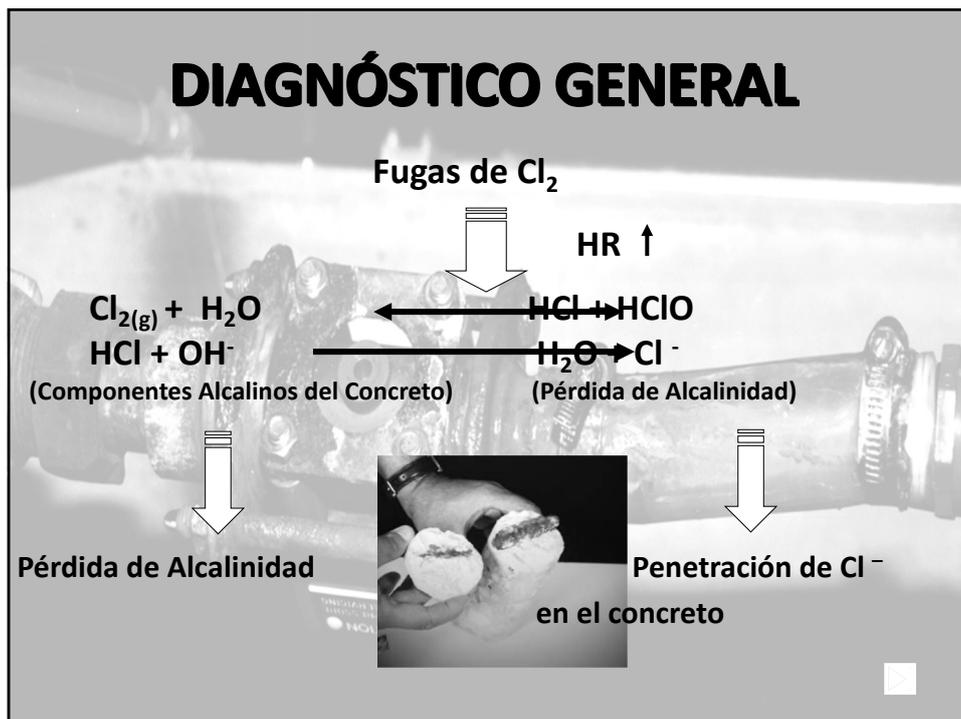
TIPOS DE CORROSIÓN

Piscinas con más de 30 años de servicio
(Sótano/Tratamiento Químico con Cloro)



21

DIAGNÓSTICO GENERAL



22

Lixiviación del hormigón por aguas blandas



Aguas: blandas son de muy bajo contenido de sales (aguas puras, de condensación, de lluvia, etc.) y agresivas tienen alto contenido de CO₂ "libre".



Acción indirecta: disolución del calcio de la estructura, consecuente destrucción de los demás componentes, desmoronamiento del hormigón

despasivación del acero



Iones alcalinos: aumentan la velocidad de disolución



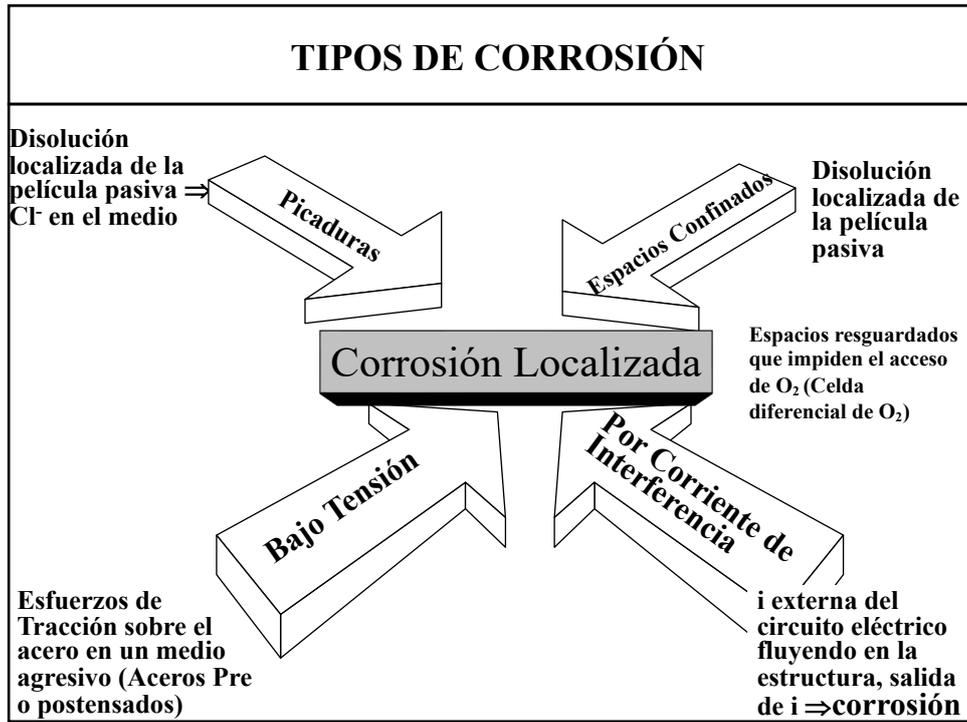
Morfología: desprendimiento del cal en la forma de eflorescencias en la superficie del hormigón, especialmente en la proximidad de cangrejeras, grietas y en la zonas de variación del nivel de líquido

TIPOS DE CORROSIÓN

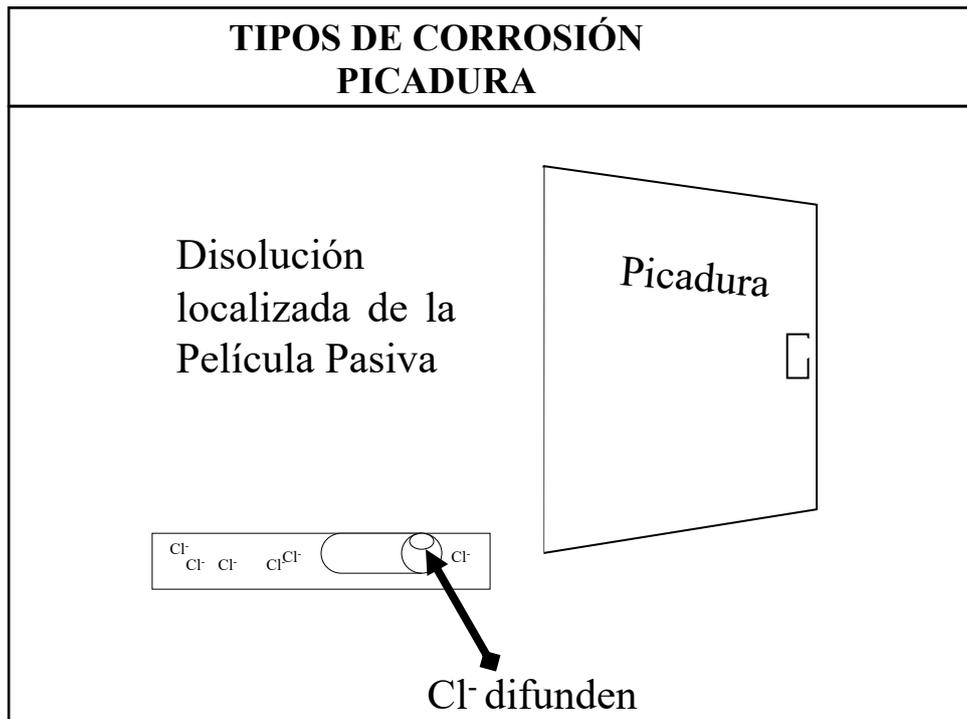
**Piscinas con más de 30 años de servicio
(Sótano/Tratamiento Químico con Cloro)**



**Ataque por el Cloro
y por los Cloruros**



25



26

TIPOS DE CORROSIÓN

Mecanismos de Corrosión por Picadura

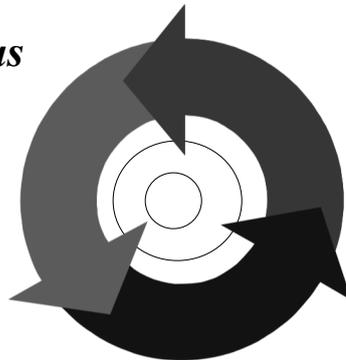
Reacción Catódica: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
 Reacción Anódica: $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$
 En el ánodo:
 $Fe^{++} + Cl^- + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 \downarrow + 2H^+ + Cl^-$
 $4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$
 Otros productos posibles:
 $Fe_2O_3, Fe_3O_4, Fe_2O_3 \cdot H_2O$

27

TIPOS DE CORROSIÓN ESPACIO CONFINADO

Ataque localizado sobre áreas resguardadas o pequeñas cavidades con soluciones estancadas.

CAUSAS



Inyección de Grietas con Material Epóxico

Falta de Adhesión entre Recubrimiento Orgánico y la Armadura (Por ej.: Epóxicas)

28

TIPOS DE CORROSIÓN



Muelle Mexicano

29

PUENTE PAJARITOS



30



31

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

- **Ubicación:** Km 5+840 carretera Coatzacoalcos-Villahermosa
- **Número de Pilas:** 18, cada pila consta de una cabezal y tres pilotes
- **Número total de Pilotes:** 54
- **Tipos de pilotes:** concreto reforzado



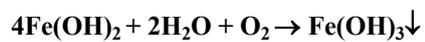
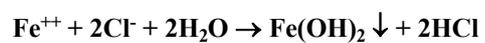
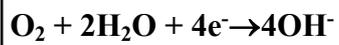
32

PUENTE PAJARITOS



33

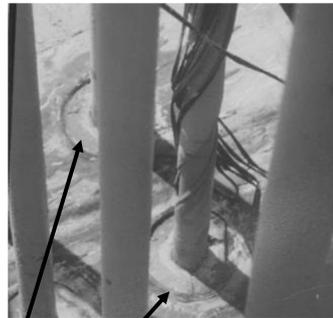
TIPOS DE CORROSIÓN ESPACIO CONFINADO



pH=2-3

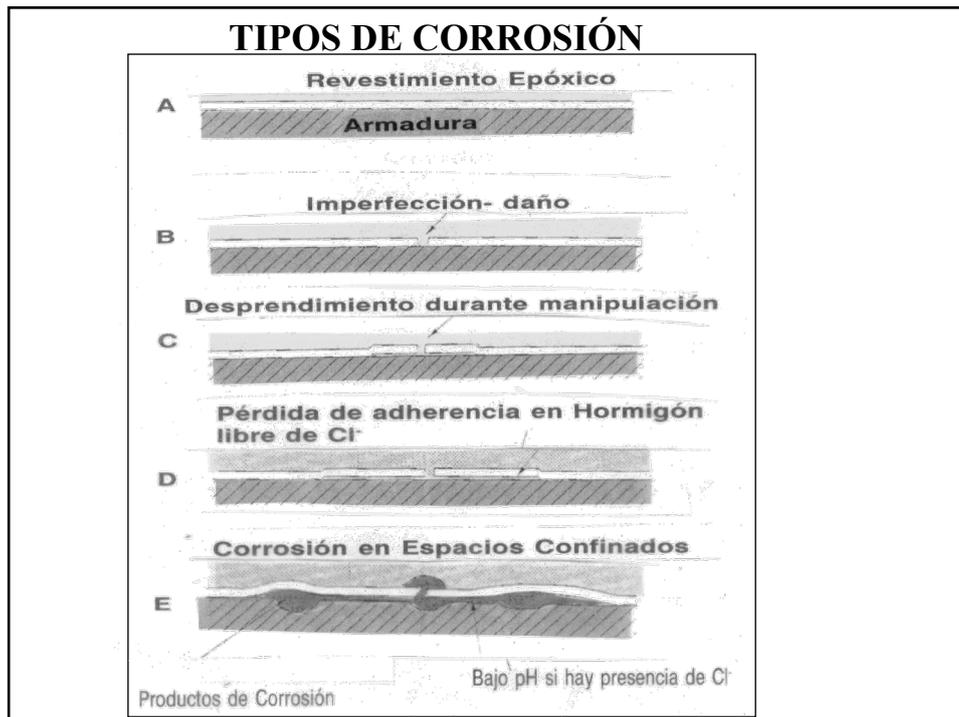
Proceso autocatalítico

Acelera V_{corr}



Espacio confinado

34



35

TIPOS DE CORROSIÓN ESPACIO CONFINADO

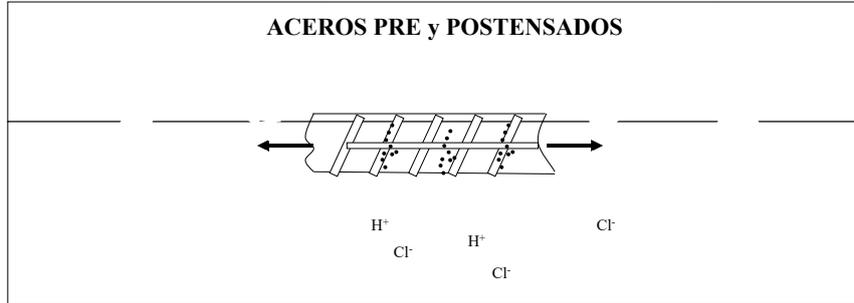
- ☒ **Procesos de Incubación largos: 6 a 1 año**
- ☒ **Iniciado el proceso autocatalítico se propaga rápidamente**
- ☒ **Ocurre preferencialmente en Metales y aleaciones que son resistentes a la corrosión por películas de óxido (pasivas). Por ejemplo: Fe, Al, Ti, Acero Inoxidable, etc.**

36

TIPOS DE CORROSIÓN BAJO TENSIÓN

Acción simultánea de un Esfuerzo de Tensión y de un Medio Agresivo

ACEROS PRE y POSTENSADOS



Mal relleno
de las pilas

Causas

Presencia de iones (aportados por
aditivos, Cl⁻ del medio, etc.)

Mala calidad de hormigón

37

TIPOS DE CORROSIÓN GALVÁNICA

**Contacto eléctrico
o cupla de Metales
diferentes
en el mismo
electrolito**

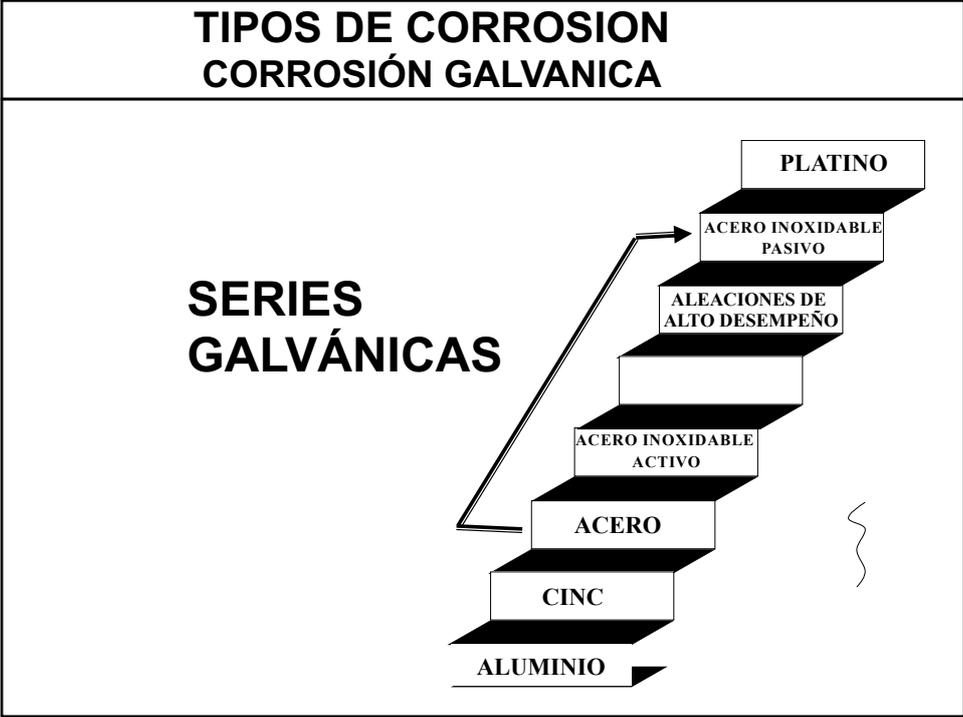
Causas

Daño localizado de la Película Pasiva

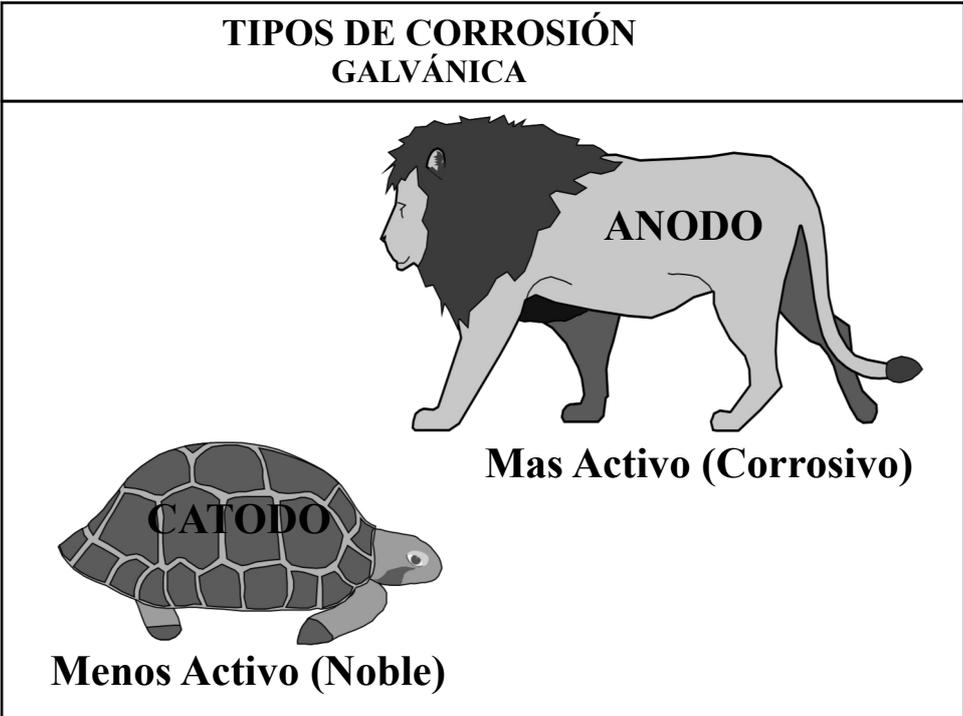
**Armaduras exteriores Corroídas/
Armaduras Interiores Pasivas**

**Zonas reparadas (acero pasivo)/
Zonas sin reparar (acero activo)**

38

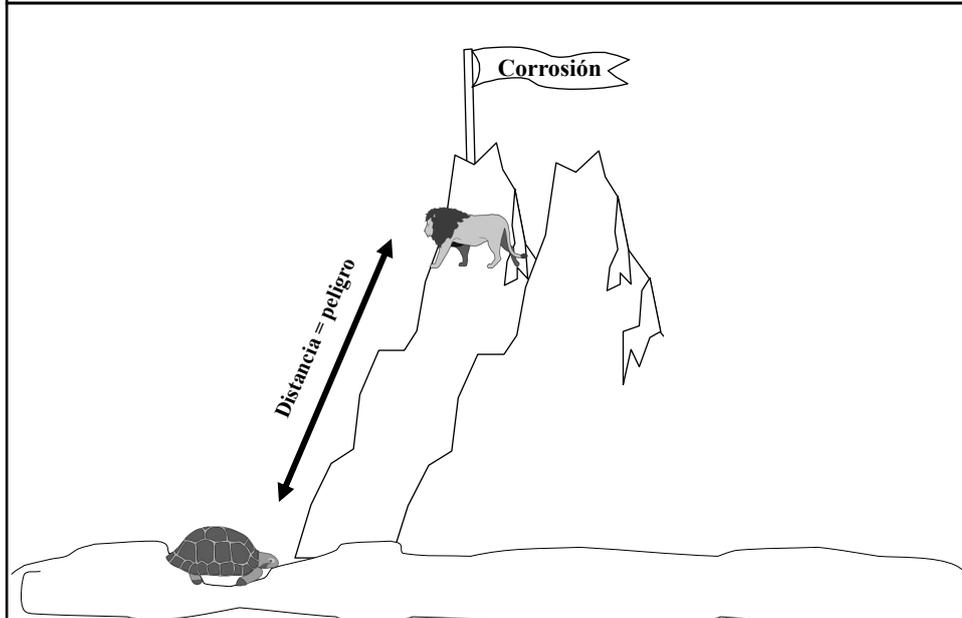


39



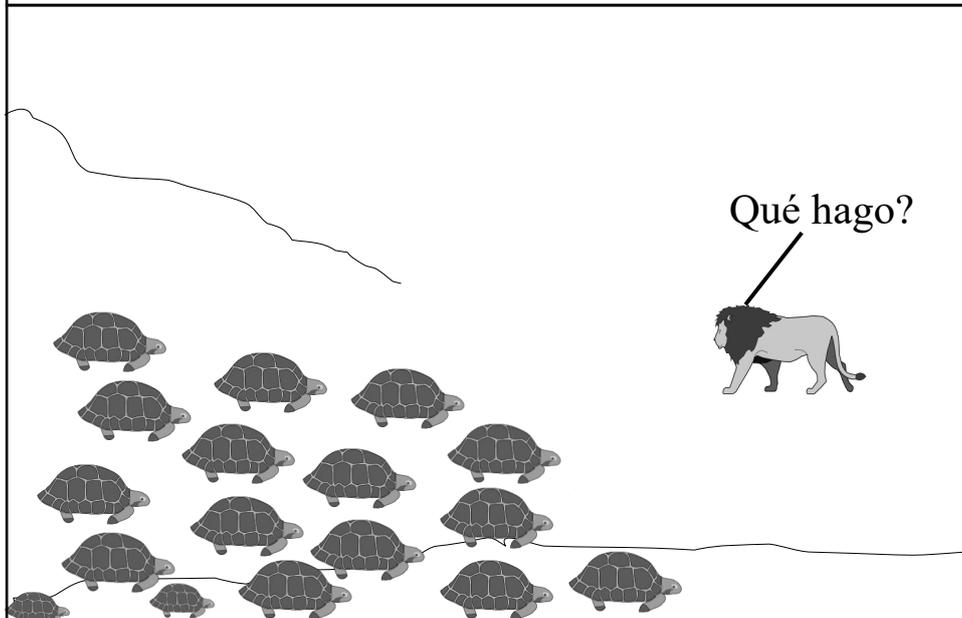
40

TIPOS DE CORROSIÓN GALVÁNICA

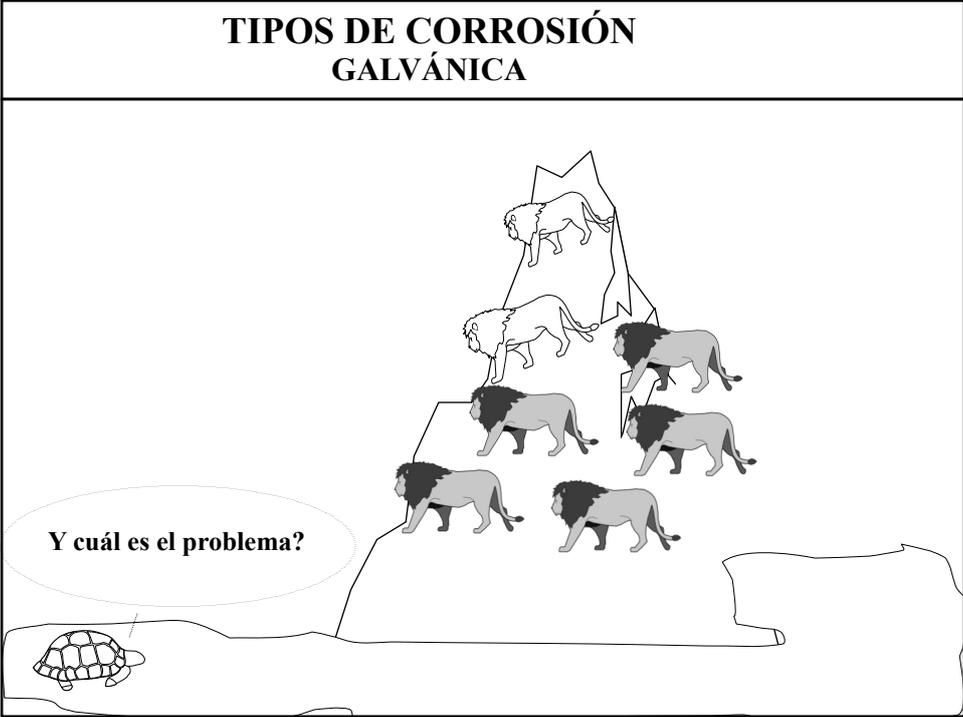


41

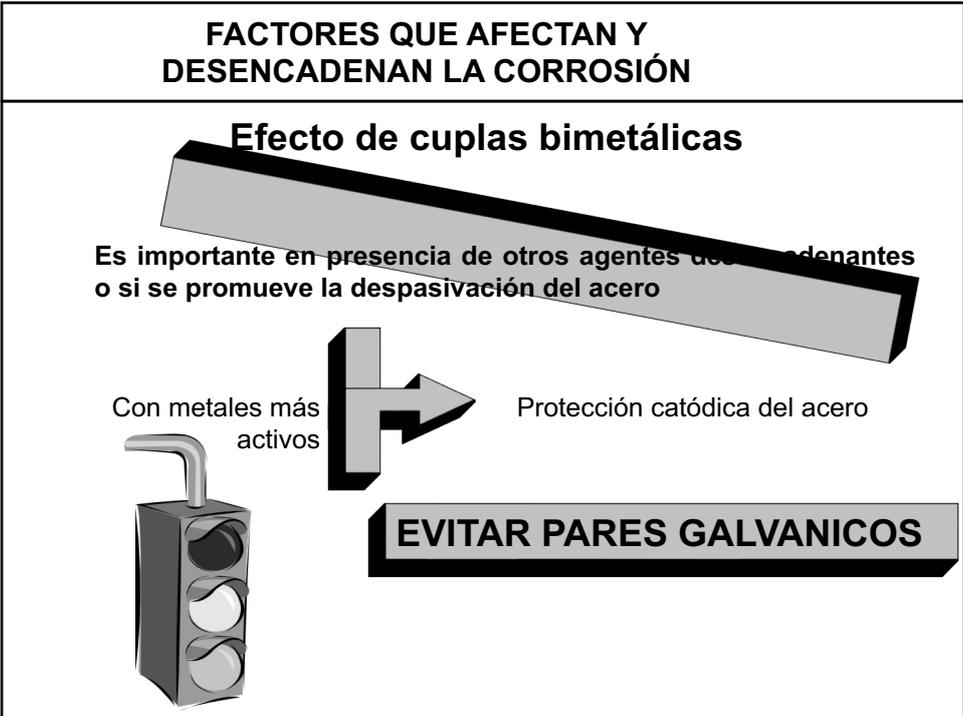
TIPOS DE CORROSIÓN GALVÁNICA



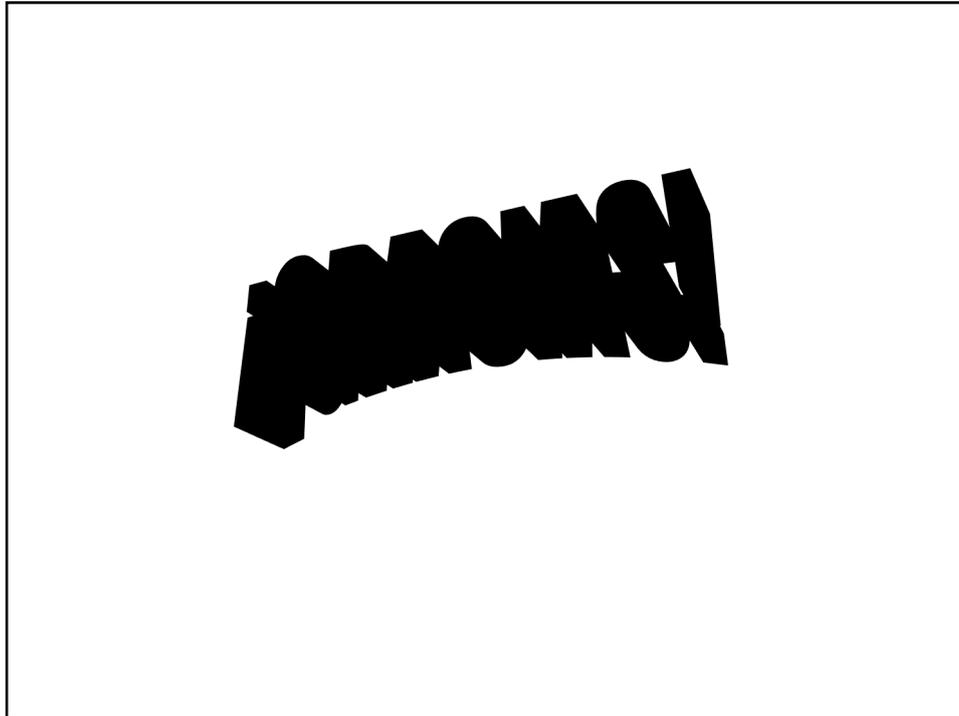
42



43



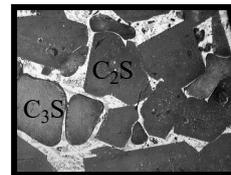
44



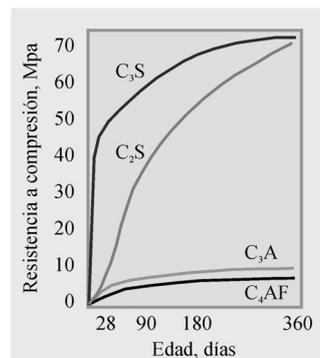
45

Constituyentes del cemento portland

Silicato tricálcico (C_3S , 30-70%): se presenta como cristales incoloros y opacos de sección prismática con contornos rectangulares o hexagonales. Es hidráulicamente activa, presentando una alta velocidad de hidratación que determina la elevada resistencia inicial. La reacción del C_3S es exotérmica y la cantidad de calor liberado total está en el orden de 500 J/g.



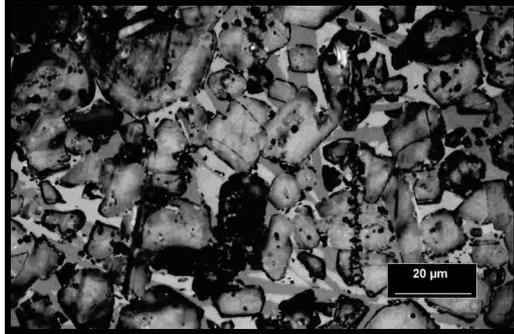
Silicato bicálcico (C_2S , 10-40 %): Los cristales tienen un mayor brillo que los cristales de C_3S , son de forma redondeada y estriados. La velocidad de reacción del C_2S es más lenta y libera menor calor total (250 J/g) que el correspondiente al C_3S y confiere al cemento alta resistencia a largo plazo.



46

Constituyentes del cemento portland

El material intersticial (celita) está compuesto por el C_4AF y por el C_3A .



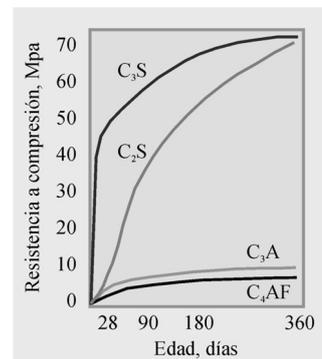
Esta fotografía muestra una sección pulida de clinker portland. La fase principal azul es alita, la negra es belita y la fase intersticial consiste en aluminato (gris oscuro) y ferrita (gris claro)

47

Constituyentes del cemento portland

Ferroaluminato tetracálcico: (5 a 20 %) son cristales prismáticos bien formados, con tonos pardos y de gran poder reflector. Reacciona rápidamente con el agua y produce el fraguado en pocos minutos. El calor liberado durante la hidratación es del orden de 420 J/g y el aporte de resistencia que proporciona al conjunto es pequeño.

Aluminato tricálcico: (0 a 15 %) Es de color gris oscuro con forma rectangular, prismática y amorfa. Reacciona inmediatamente con el agua y produce el fraguado instantáneo de la pasta, con una elevada liberación de calor (850 J/g). Produce una pequeña contribución en la resistencia.



48

Constituyentes menores

Trióxido de azufre: El yeso se incorpora como modificador de fraguado, pero en contenidos elevados puede causar variaciones de volúmenes debido a una alta formación de ettringita, la cual pierde mucha cantidad de agua durante el secado y aumenta la contracción de la pasta. O bien expansiones diferidas por la precipitación de yeso dentro de la pasta.

- El contenido óptimo depende del contenido de C_3A y álcalis del clinker y la finura a que se va a moler el conjunto. Generalmente, en el cemento portland normal, la relación molar SO_3/C_3A se encuentra comprendida entre 0.7 y 1.2.



49

Constituyentes menores

Álcalis: (Na_2O , K_2O) Los álcalis provienen de las materias primas y/o del combustible. Se volatilizan en el quemador y condensan sobre el material crudo en los intercambiadores de calor.

- En general no presentan un problema en sí, con excepción de que cementos con elevados contenidos de álcalis se utilicen con agregados reactivos.
- El contenido de álcalis del cemento varía entre 0,4 y 1,6%. Se expresan en peso equivalente de Na_2O como:

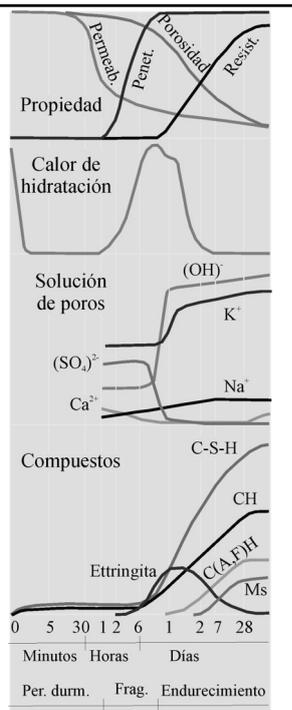
$$\text{Alcalis(\%)} = \%Na_2O + 0,654 \%K_2O$$



50

Hidratación del CP

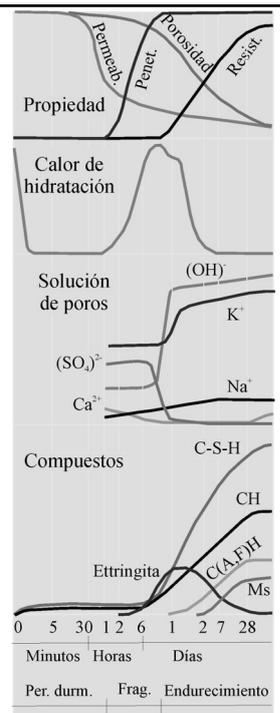
- Cuando el cemento es mezclado con el agua, se produce una solución sobresaturada de CH como resultado de la hidrólisis de los silicatos. También se encuentran iones SO_4^{2-} , Ca^{2+} y alcalinos (Na^+ , K^+) y en menor medida sílice, alúmina y óxido de hierro.
- La precipitación CH, la ettringita y el C-S-H formando una capa sobre los granos de cemento que retarda la hidratación futura. El periodo durmiente hay una relativa inactividad y la pasta permanece plástica y trabajable durante 2 horas.
- El final del periodo durmiente y el inicio del fraguado se atribuye a la ruptura de la capa de C-S-H que permite que continúe la hidratación.



51

Hidratación del CP

- Los compuestos formados llenan progresivamente los espacios entre los granos de cemento y los puntos de contactos que se crean causan la rigidización de la pasta (**inicio del fraguado**).
- La aceleración de la hidratación aumenta la concentración de hidratos y la mayor cantidad de puntos de contactos, restringen totalmente la movilidad de la pasta y se alcanza el fraguado final.
- Al cabo de un día el SO_4^{2-} es consumido y comienza la transformación de ettringita a monosulfoluminato.
- Finalmente, comienza el periodo de **endurecimiento** donde la pasta comienza a ganar resistencia y disminuir la porosidad durante el cual las reacciones se desaceleran.



52

Características de hidratación de los compuestos del cemento

Compuesto	Velocidad de Reacción	Cantidad de calor Liberado	Contribución al Cemento	
			Resistencia mecánica	Calor liberado
C ₃ S	Moderado	Moderado	Alto	Alto
C ₂ S	Lento	Bajo	Bajo inicialmente, Alto posteriormente	Bajo
C ₃ A + yeso	Rápido	Muy alto	Bajo	Muy Alto
C ₄ AF + yeso	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado