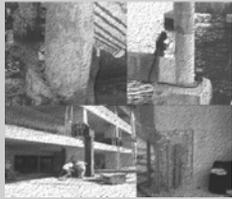


rehabilitar



Capítulo 1

ACCIONES SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

CORROSION DE LA ARMADURA

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

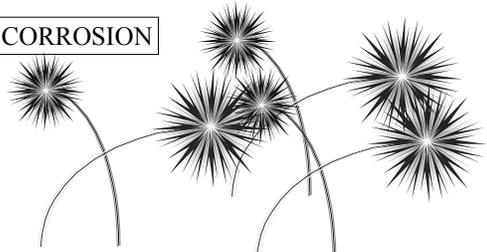
Autor: Oladis T. de Rincón
Profesor: Andrés Torres Acosta

Rehabilitación de Puentes y Estructuras de Concreto dañadas por Corrosión

Culiacán, SIN., México 2004

DEFINICION

CORROSION



Oxidación destructiva de materiales metálicos en un medio específico

FUNDAMENTOS

Protección del Acero en el Hormigón

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Silicato Tricálcico, C₃S
Silicato Dicaélico, C₂S
Aluminato Tricálcico, C₃A
Aluminoferrita Tetracálcico, C₄AF

PRODUCTOS DE HIDRATACIÓN

$C_3S + C_2S + 5H_2O \rightarrow C_3S_2 \cdot 3H_2O + 2Ca(OH)_2$

PROTECCIÓN NATURAL

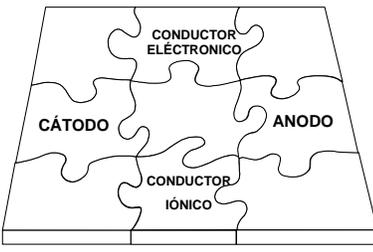
ALCALINIDAD

pH > 12,5

BARRERA FÍSICA

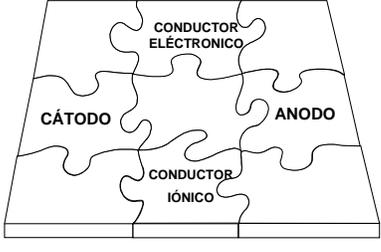
FUNDAMENTOS

Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión



FUNDAMENTOS

Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión

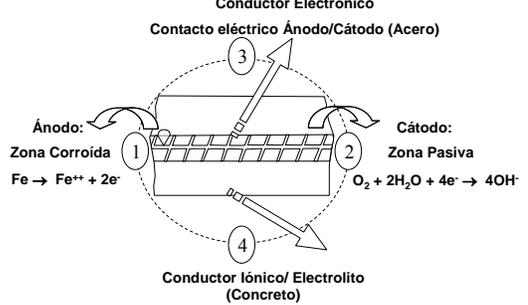


CORROSIÓN DE LA ARMADURA EN EL HORMIGÓN

Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión

Conductor Electrónico

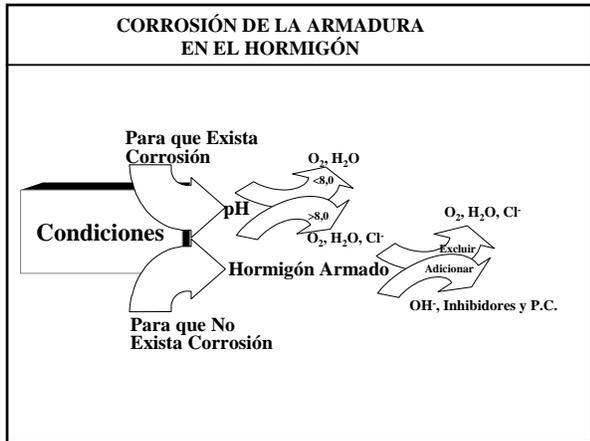
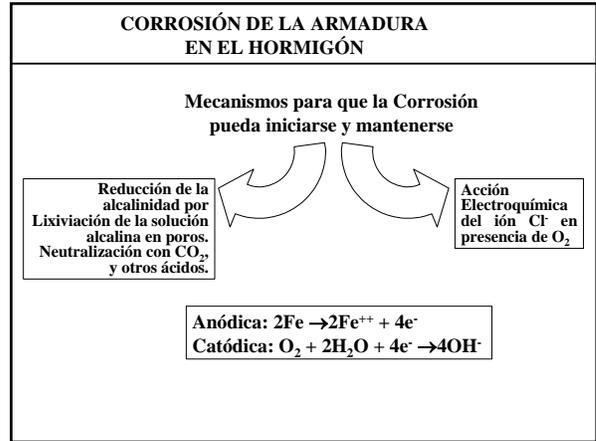
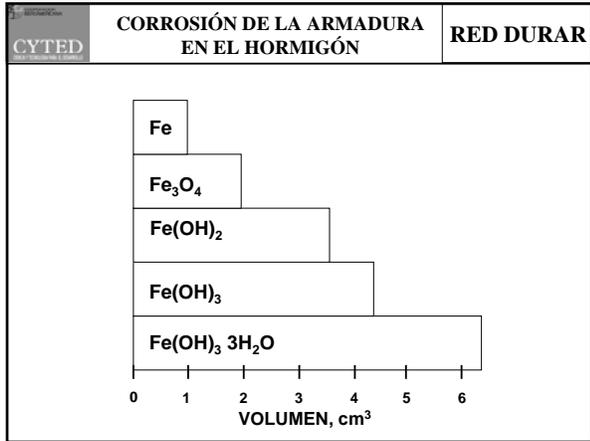
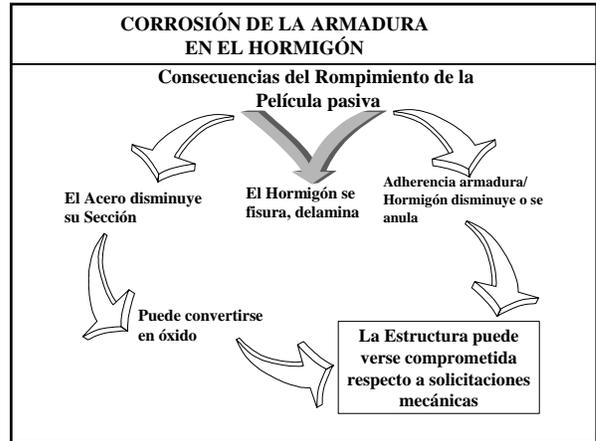
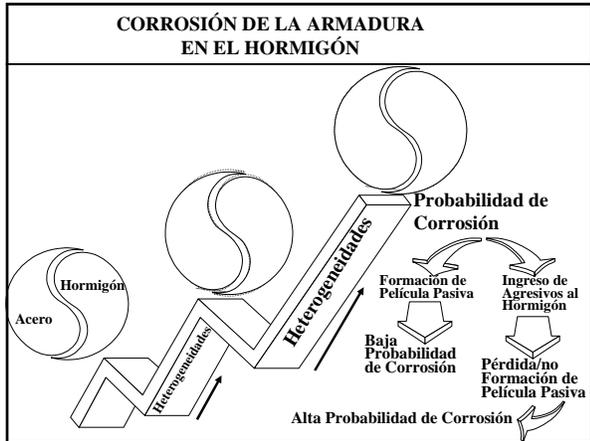
Contacto eléctrico Ánodo/Cátodo (Acero)



Ánodo: Zona Corroída
 $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$

Cátodo: Zona Pasiva
 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

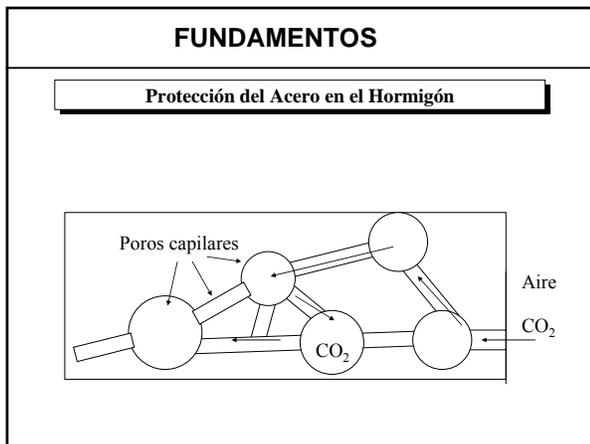
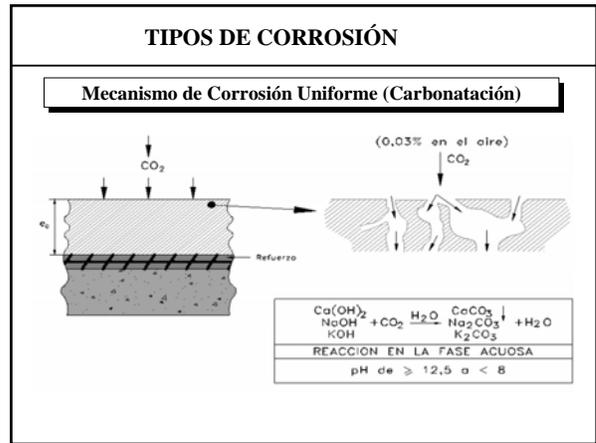
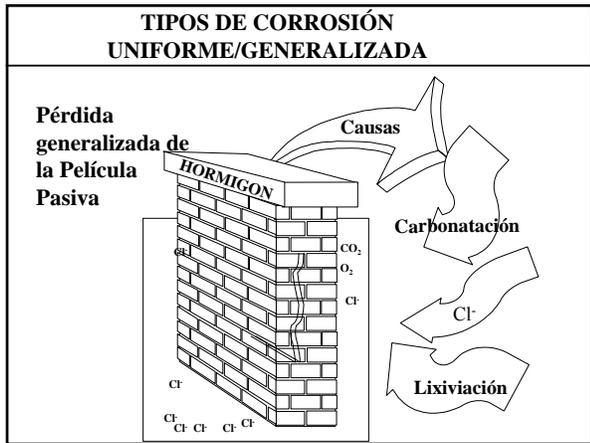
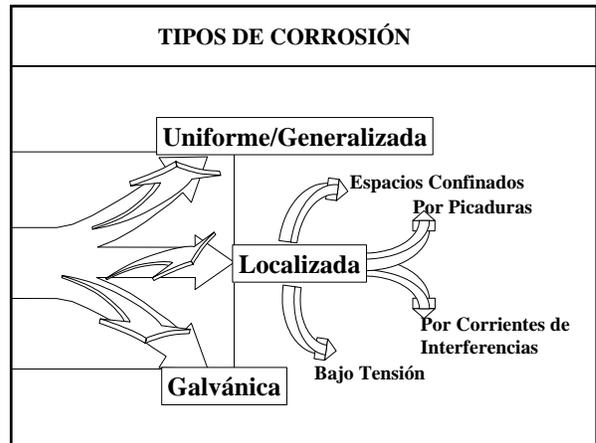
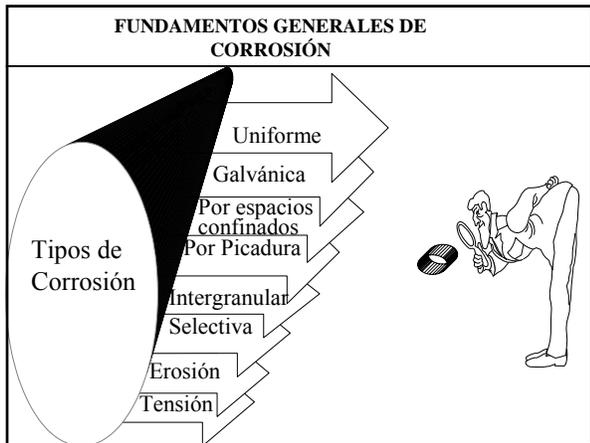
Conductor Iónico/ Electrolito (Concreto)

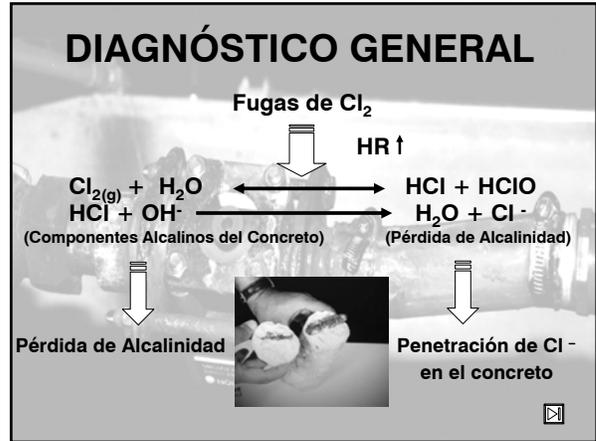
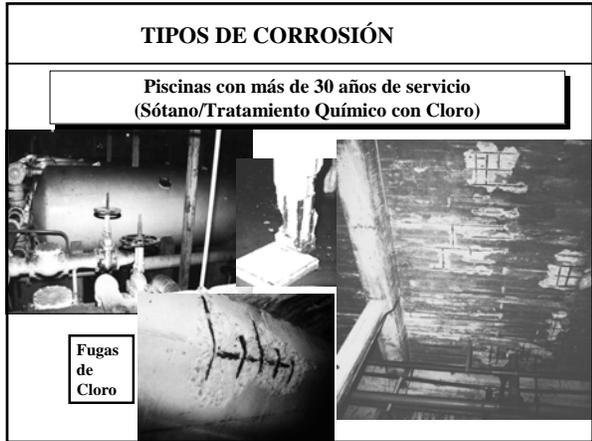
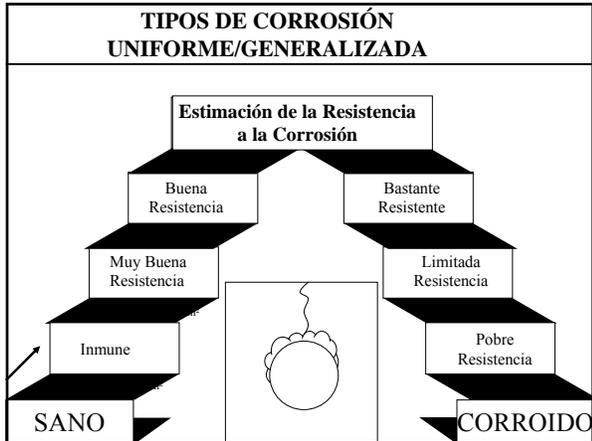


CORROSIÓN DE LA ARMADURA EN EL HORMIGÓN

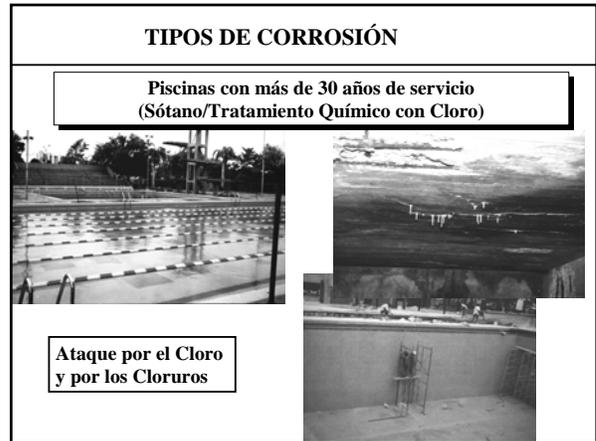
Frecuencia de Fallas en Metales

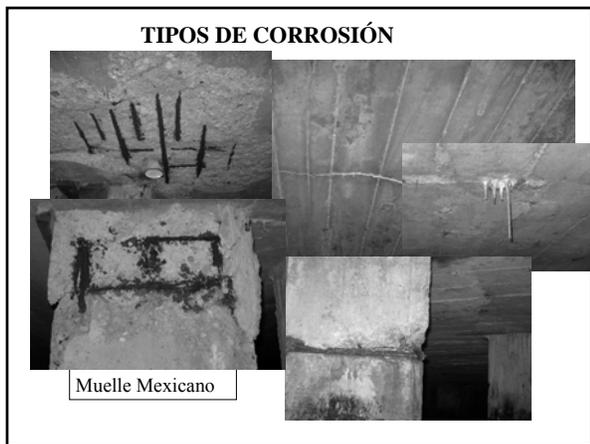
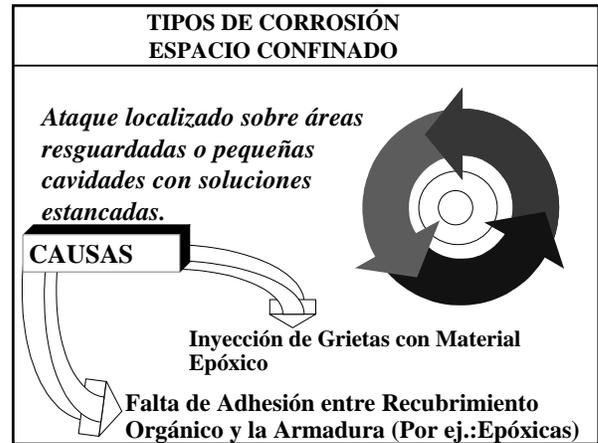
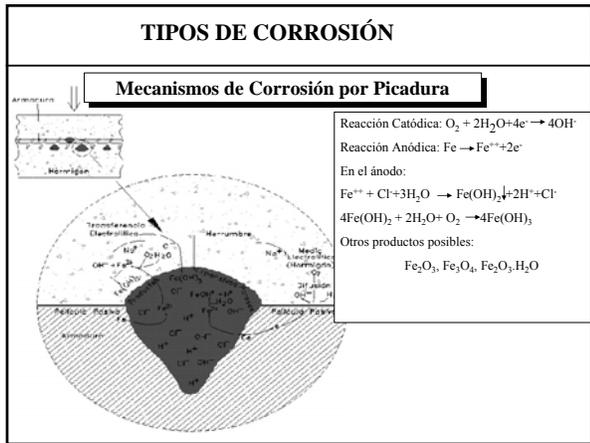
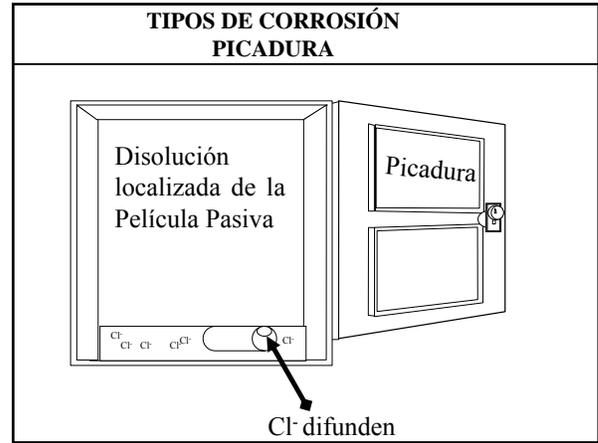
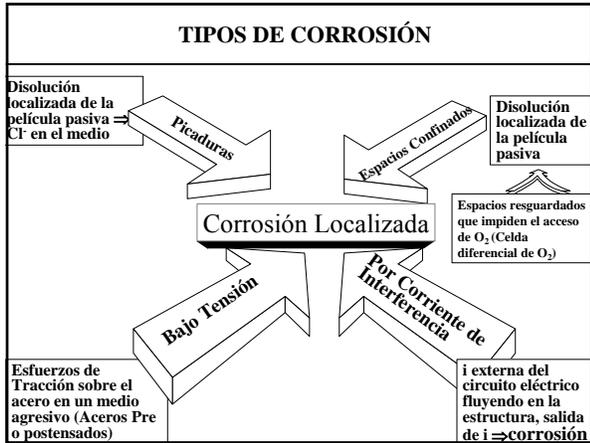
Tipo de Falla corrosiva	Frecuencia (%)
General	31
Por Tensión	24
Picaduras	10 65
Intergranular	09
Erosión	08
En soldaduras	05
Fatiga Térmica	04 26
Fatiga	02
Por Hidrógeno	02
Espacios confinados	02
Galvánica	02
Disolución selectiva	01 09
100%	





TIPOS DE CORROSIÓN	RED DURAR
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 CO ₂ "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 las zonas de variación del nivel de líquido







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



TIPOS DE CORROSIÓN ESPACIO CONFINADO

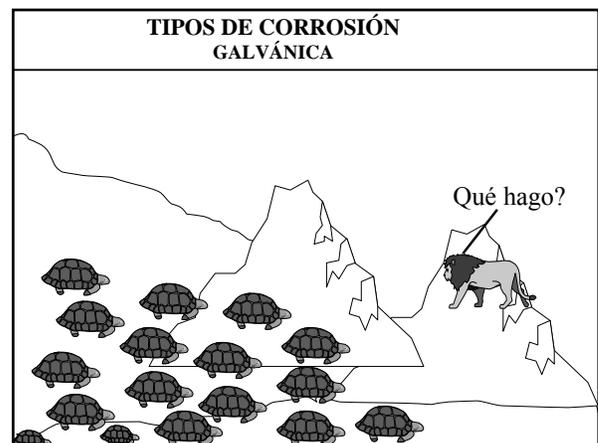
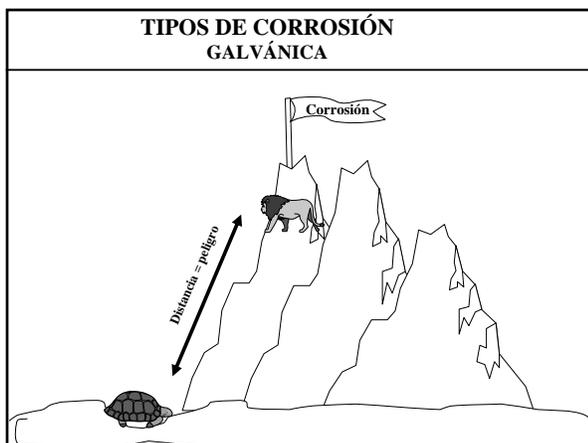
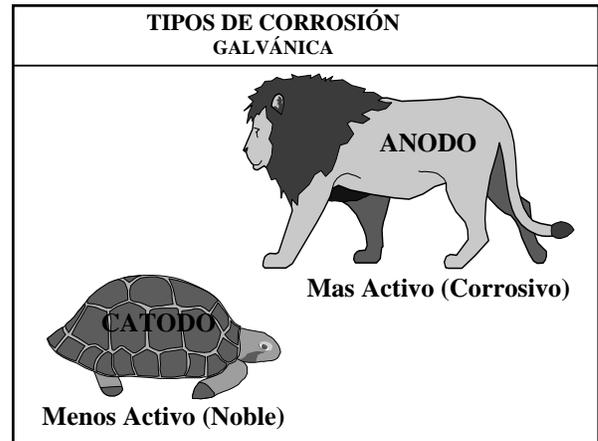
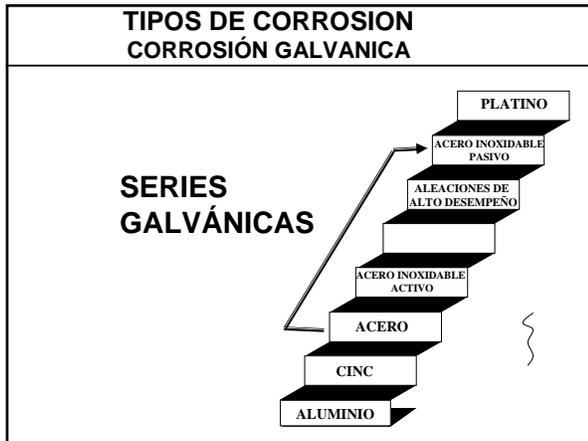
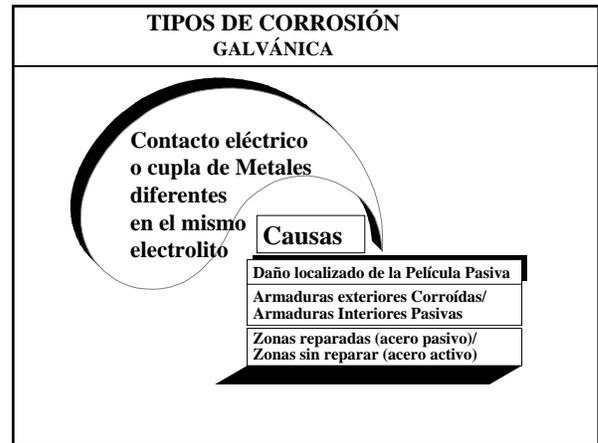
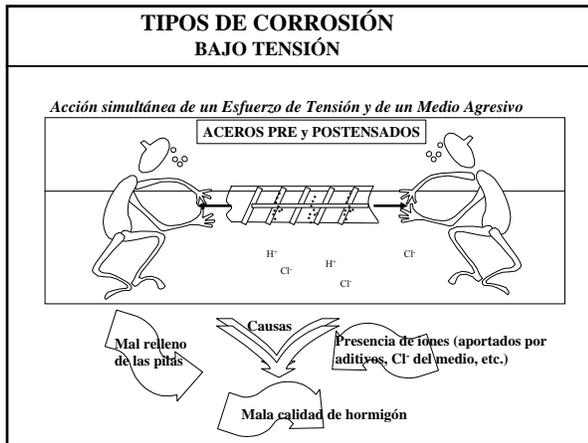
$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$
 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
 $Fe^{++} + 2Cl^- + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 \downarrow + 2HCl$
 $4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow$

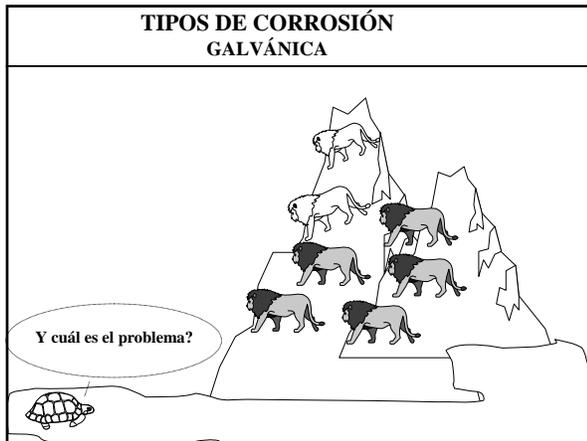
pH=2-3
Proceso autocatalítico
Acelera V_{corr}



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.





FACTORES QUE AFECTAN Y DESENCADENAN LA CORROSIÓN

Efecto de cuplas bimetalicas

Es importante en presencia de otros agentes desencadenantes o si se promueve la despasivación del acero

Con metales más activos

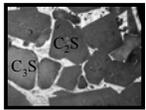
Protección catódica del acero

EVITAR PARES GALVANICOS

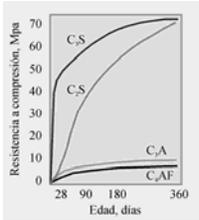


Constituyentes del cemento portland

Silicato tricálcico (C₃S, 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 C₃S es exotérmica y la cantidad de calor liberado total está en el orden de 500 J/g.

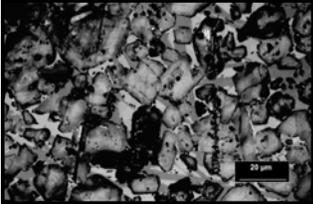


Silicato bicálcico (C₂S, 10-40 %): Los cristales tienen un mayor brillo que los cristales de C₃S, son de forma redondeada y estriados. La velocidad de reacción del C₂S es más lenta y libera menor calor total (250 J/g) que el correspondiente al C₃S y confiere al cemento alta resistencia a largo plazo.



Constituyentes del cemento portland

El material intersticial (celita) está compuesto por el C₄AF y por el C₃A.

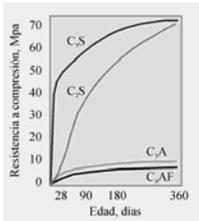


Esta fotografía muestra una sección pulida de clinker portland. La fase principal azul es alita, la negra es belita y la fase intersticial consiste en aluminato (gris oscuro) y ferrita (gris claro)

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.




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.



Constituyentes menores

Alcalis: (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.

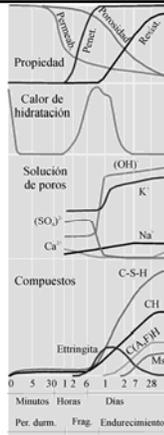
- En general no presentan un problema en sí, con excepción de que cementos con elevados contenidos de álcalis se utilicen con agregados reactivos.
- El contenido de álcalis del cemento varía entre 0,4 y 1,6%. Se expresan en peso equivalente de Na_2O como:

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



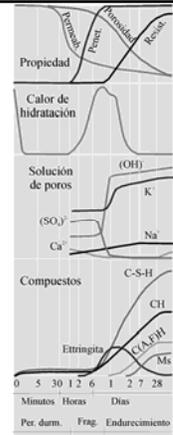
Hidratación del CP

- 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.



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.



Características de hidratación de los compuestos del cemento

Compuesto	Velocidad de Reacción	Cantidad de calor Liberado	Contribución al Cemento	
			Resistencia mecánica	Calor liberado
C_3S	Moderado	Moderado	Alto	Alto
C_2S	Lento	Bajo	Bajo inicialmente, Alto posteriormente	Bajo
C_3A + yeso	Rápido	Muy alto	Bajo	Muy Alto
C_4AF + yeso	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado

