



Academia Nacional de Ingeniería  
Uruguay

**UNIT** 75 años  
al servicio de la comunidad  
1939 - 2014

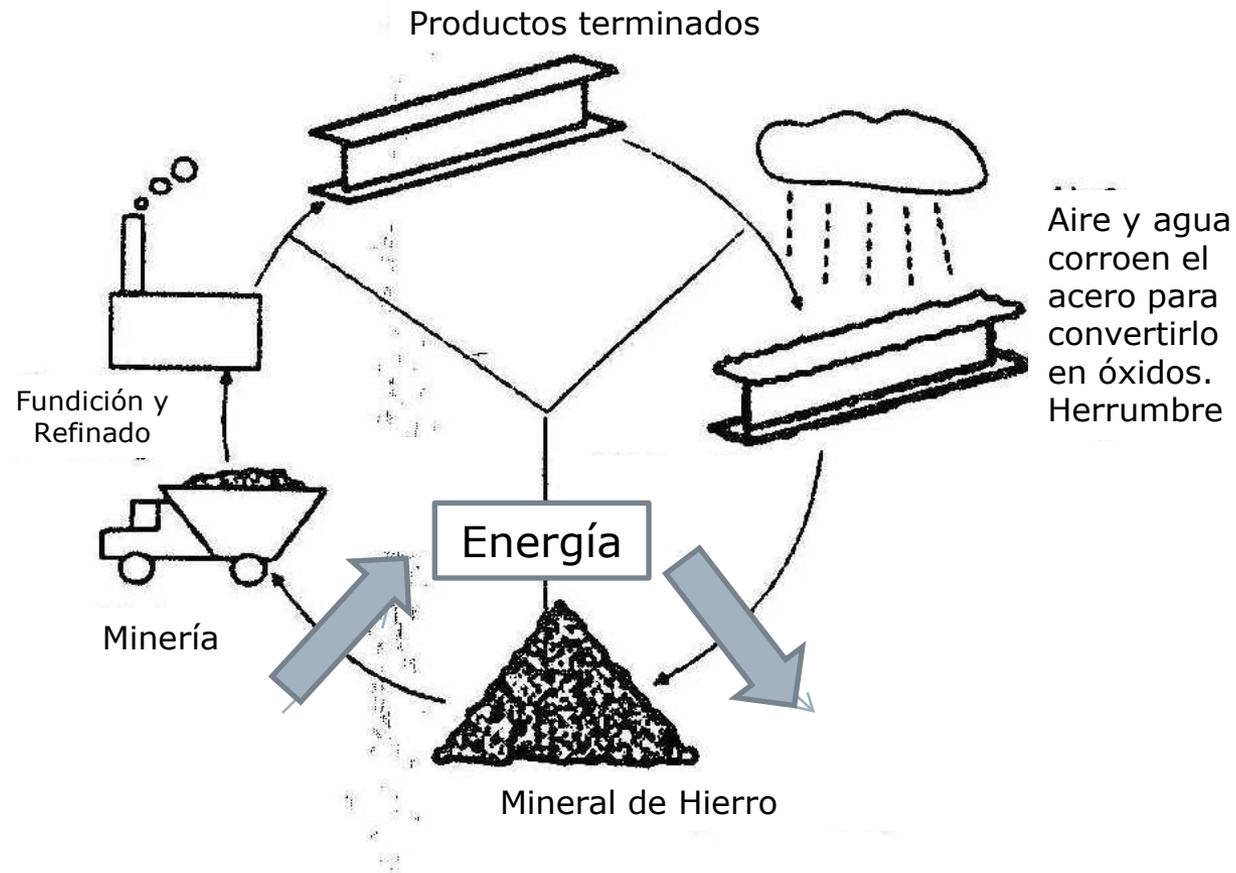
---

# **La Corrosión, Fenómeno Natural a Controlar.**

**14 de agosto de 2014**

---

# La Corrosión, Fenómeno Natural a Controlar.

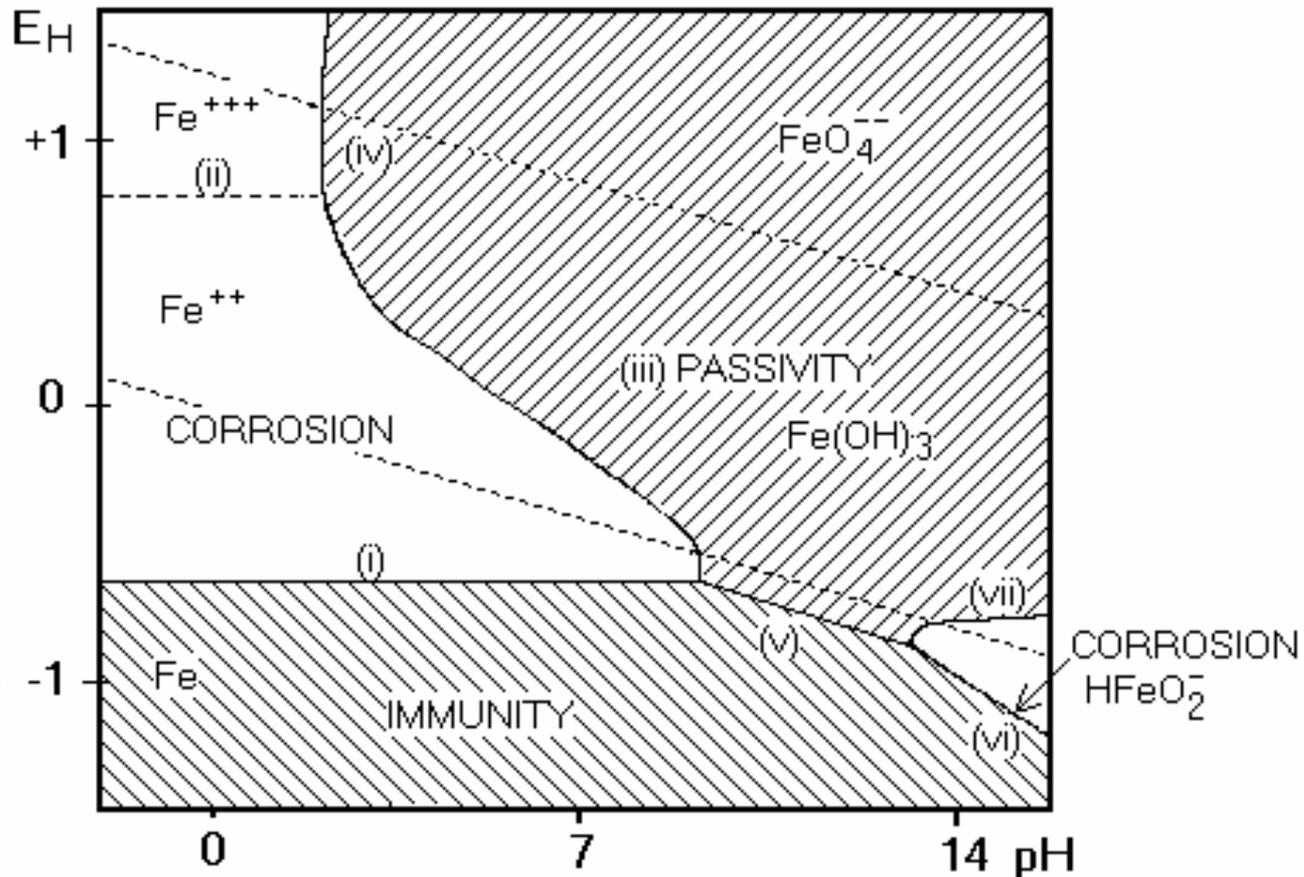


# Historia y definiciones

---

- ❑ 1903, Whitney. persuade a la comunidad científica que la corrosión era causada por un proceso electroquímico.
  - ❑ 1918, "Bronze Admiralty" aleaciones resistentes a la corrosión del agua de mar. (76% Cu, 22% Zn)
  - ❑ 1935, Marcel Pourbaix establece los diagramas de Potencial vs. pH.
-

# Historia y definiciones



# Historia y definiciones

---

- Destrucción de los materiales bajo la acción química o electroquímica del medio circundante.

*Marcel Pourbaix, Leçons en corrosion electrochimique, 1964.*

---

# Historia y definiciones

---

- ❑ Deterioro de los materiales a causa de la reacción con el ambiente.
- ❑ Destrucción de los materiales por otros medios que los mecánicos.
- ❑ Metalurgia extractiva a la inversa.

# Historia y definiciones

---

- El deterioro de una sustancia (usualmente un metal) o sus propiedades a causa de su interacción con el medio circundante

*NACE basics corrosion course, 1983*

---

# Historia y definiciones

---

- 1960, Corrosión influenciada por organismos vivos. Corrosión microbiológica (Biofouling)
  - 1980-2000 Introducción de otras ramas de la ciencias: medicina, aeroespacial, nanotecnologías, etc.
-

# Historia y definiciones

---

□ Corrosión es la degradación de las propiedades de los materiales debido a la interacción con el entorno o ambiente, y la corrosión de muchos metales y muchos otros materiales es inevitable. A pesar que se asocia fundamentalmente con los metales todos los tipos de materiales son susceptibles a la degradación.

*By Barbara a. Shaw and Robert G. Kelly, **The Electrochemical Society**,  
What is corrosion?, 2006*

---

# Historia y definiciones

---

Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.

*Real Academia Española © Todos los derechos reservados*

---

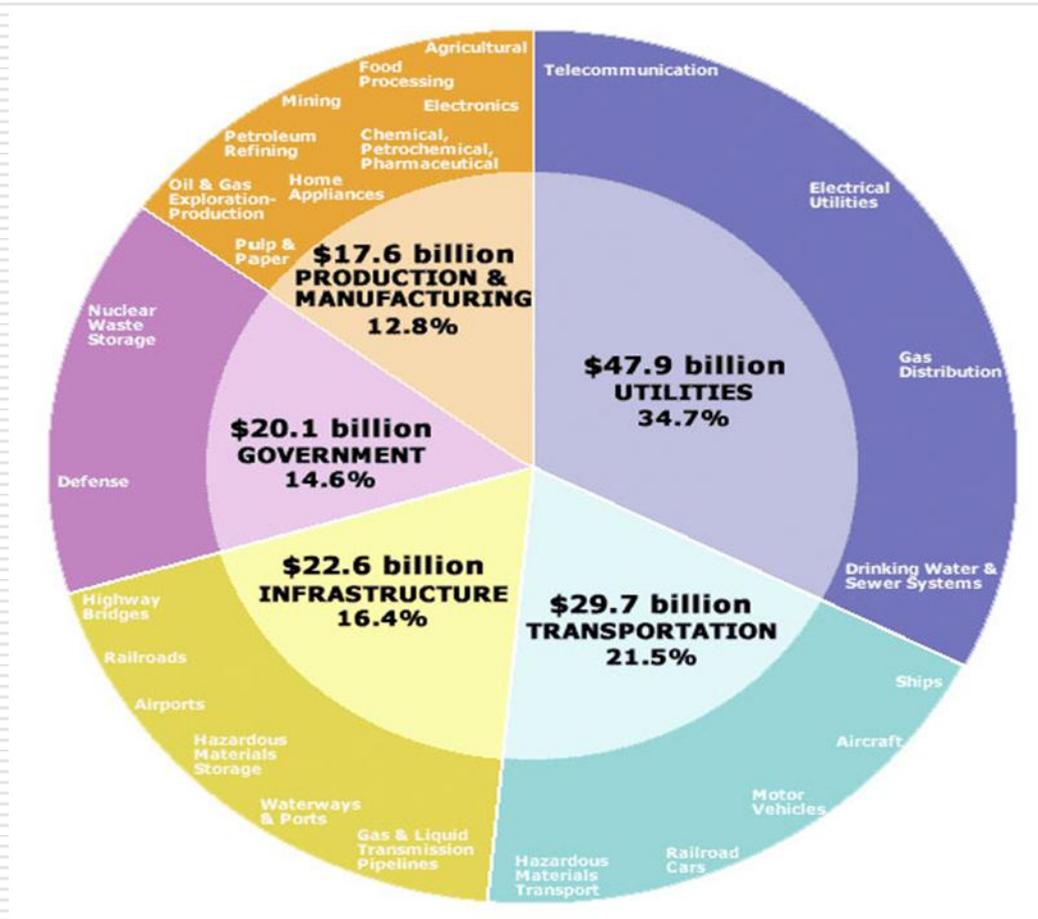
# Costo de la corrosión

---

Estudios previos:

- 1950 H.H. Uhlig – Estudio en USA: 2,1% PBI
  - 1966 S. Liechtenstein. Estudio en USA:  
3,5%PBI
  - 1970 T.P. Hoar – Estudio en UK: 3,5% PBI
  - 1974 Estudio en Japón: 1,2% PBI
  - 1975 Battelle/NBS – Estudio en USA:  
4,5%PBI
-

# Costo de la corrosión



# Costo de la corrosión

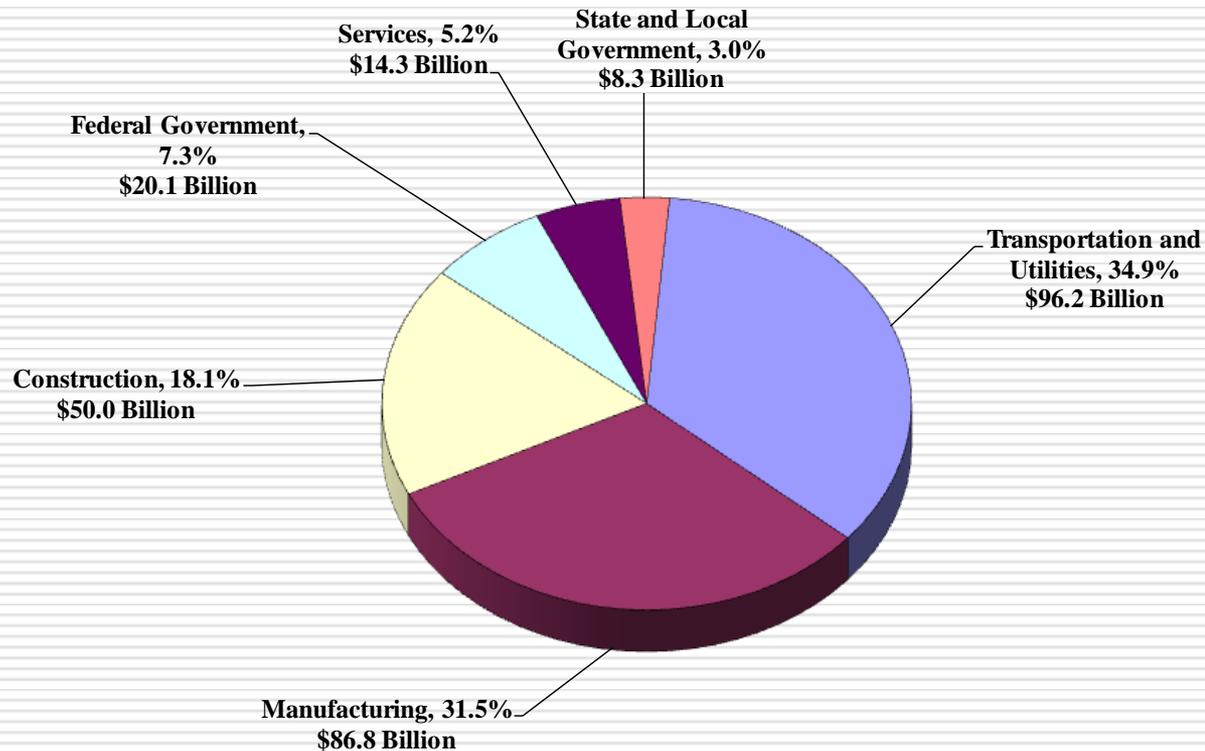
**Costo Directo Total de la Corrosión en U.S.A.  
B\$276 / año = 3.1% of GDP**

**1998 U.S.A. GDP  
B\$8,790**

# Costo de la corrosión

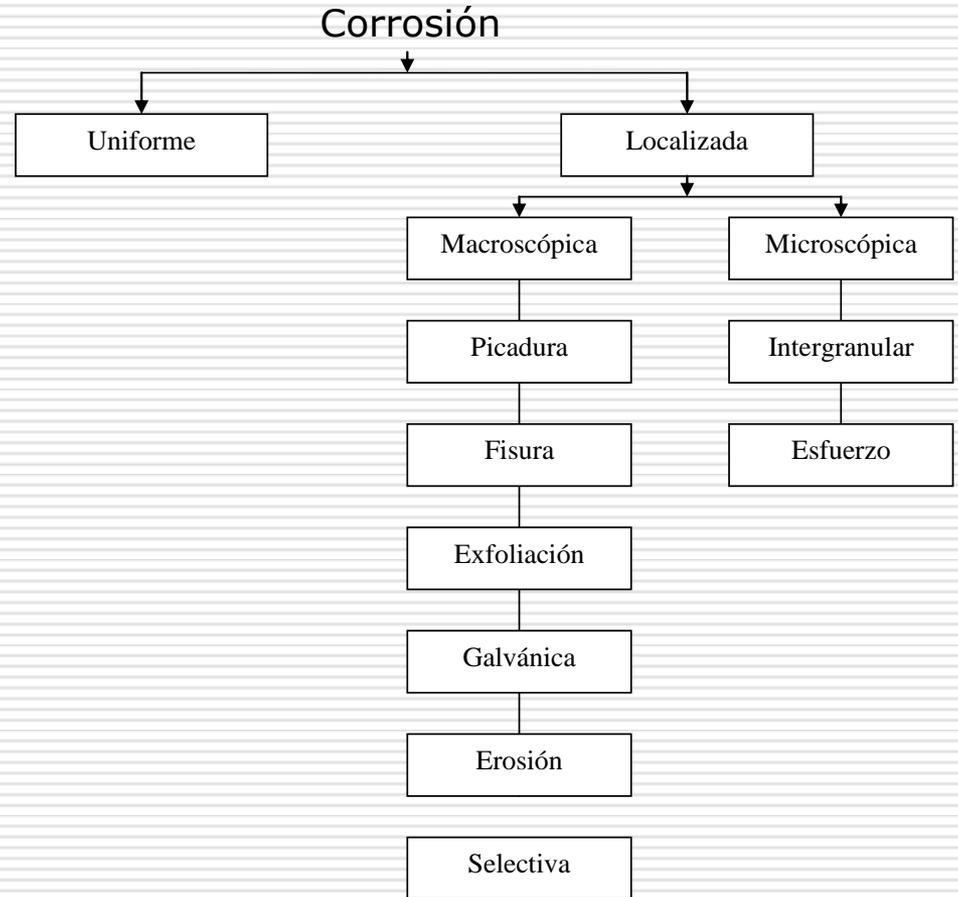
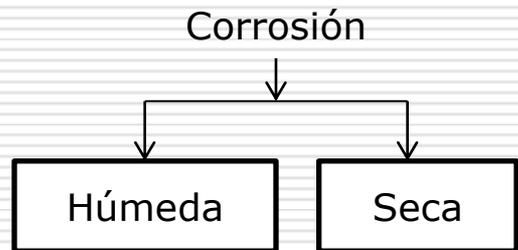
---

Corrosion Costs: \$276 billion, 3.1% of GDP

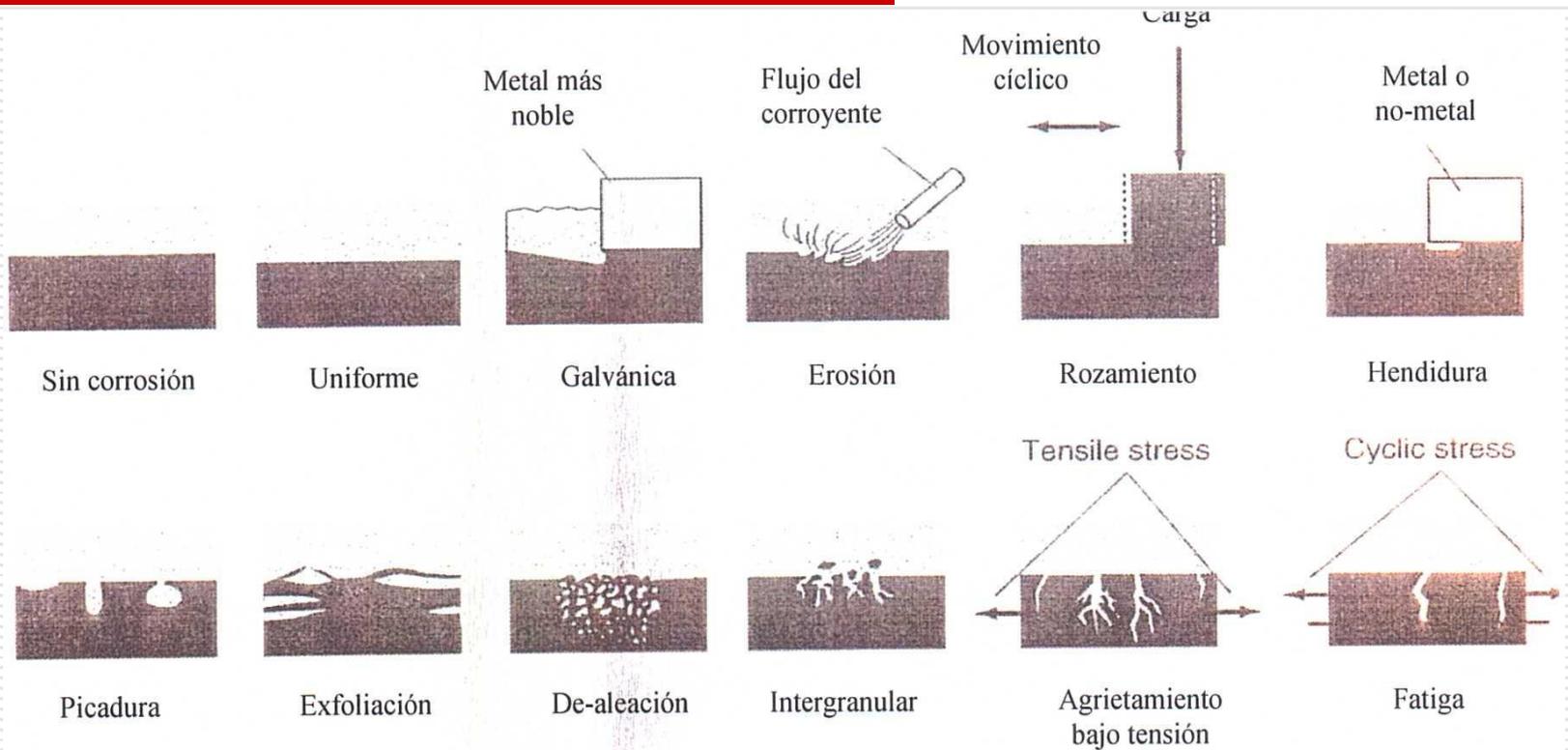


# Formas de corrosión

---



# Formas de corrosión

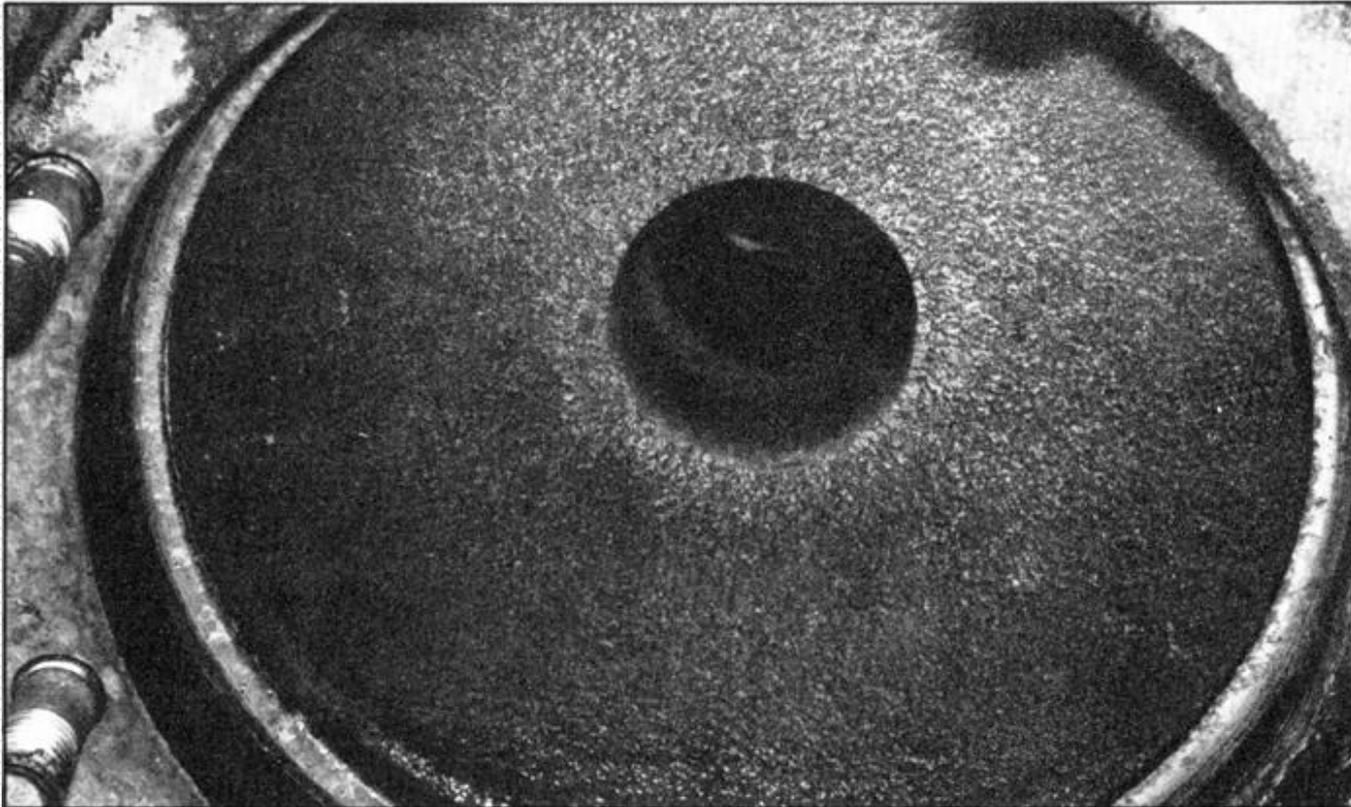


Esquemas de las formas más comunes de corrosión

# Formas de corrosión

---

## □ Corrosión uniforme



# Formas de corrosión

---

## □ Corrosión galvánica



# Formas de corrosión

---

## **Serie Galvánica Simplificada**

Anódico (Más propicio a la corrosión)

Magnesio

Cinc

Aluminio

Acero al carbono y aceros de alta resistencia y baja aleación

Hierro fundido

Plomo

Estaño

Cobre, Latón, Bronce

Níquel (pasivo)

Titanio

Aceros inoxidables 430/304/316 (pasivos)

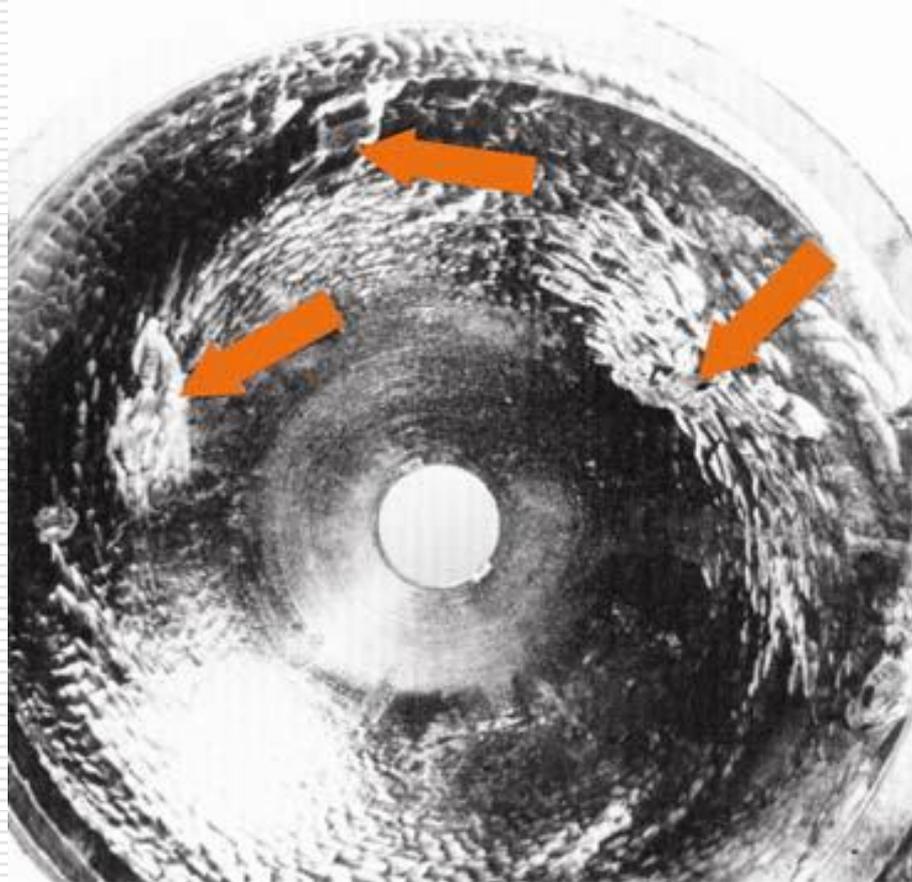
Catódico (Menos propicio a la corrosión)

---

# Formas de corrosión

---

## □ Erosión



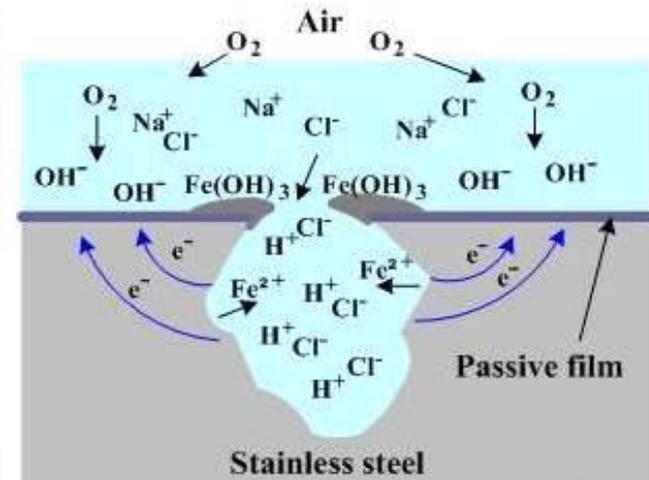
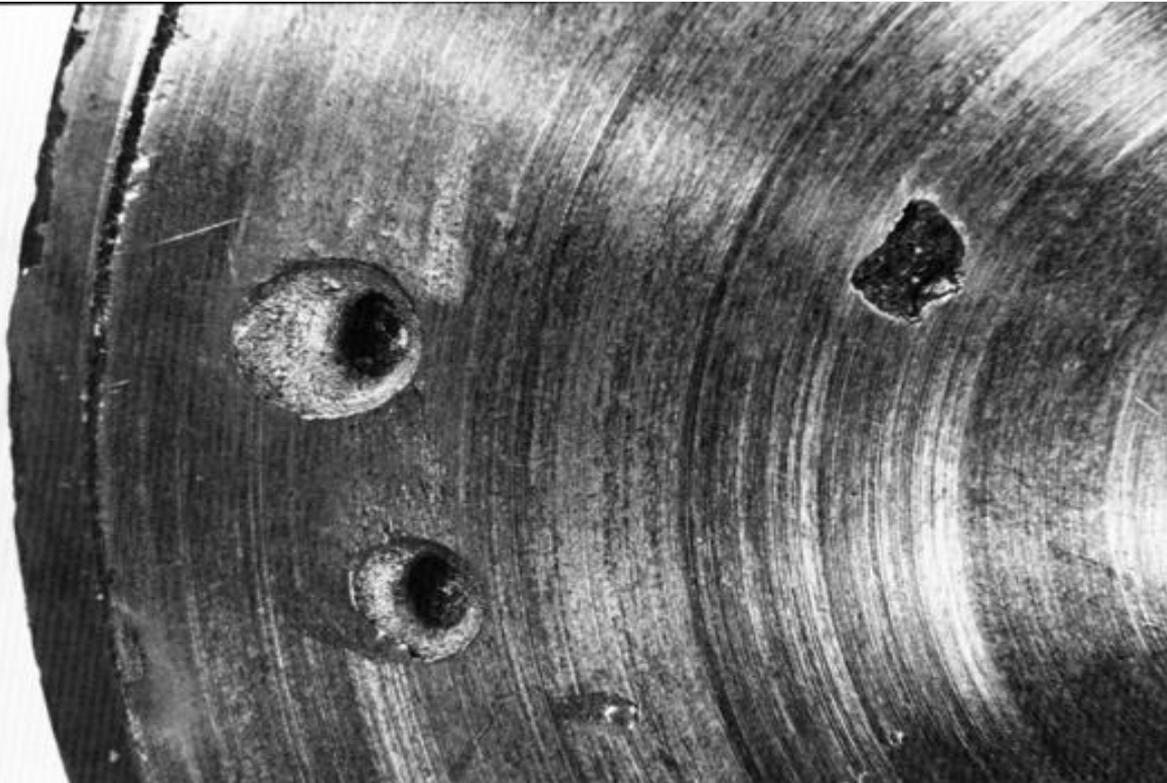
# Formas de corrosión

---

## ☐ Hendidura



# Formas de corrosión

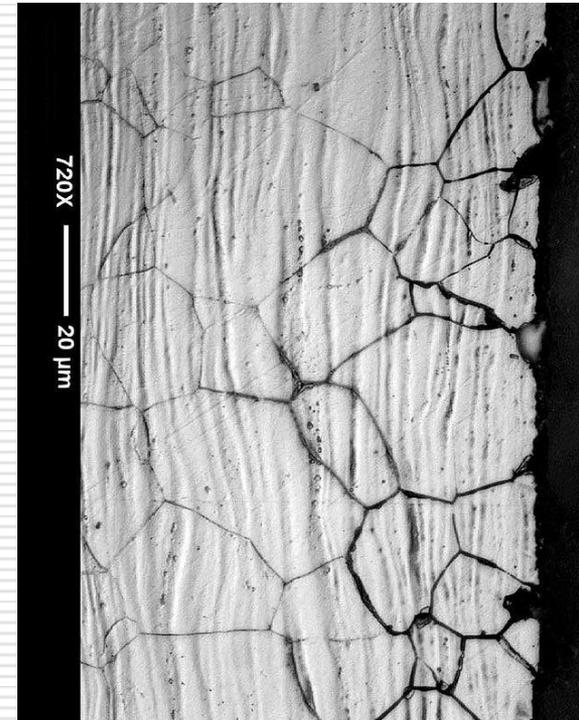
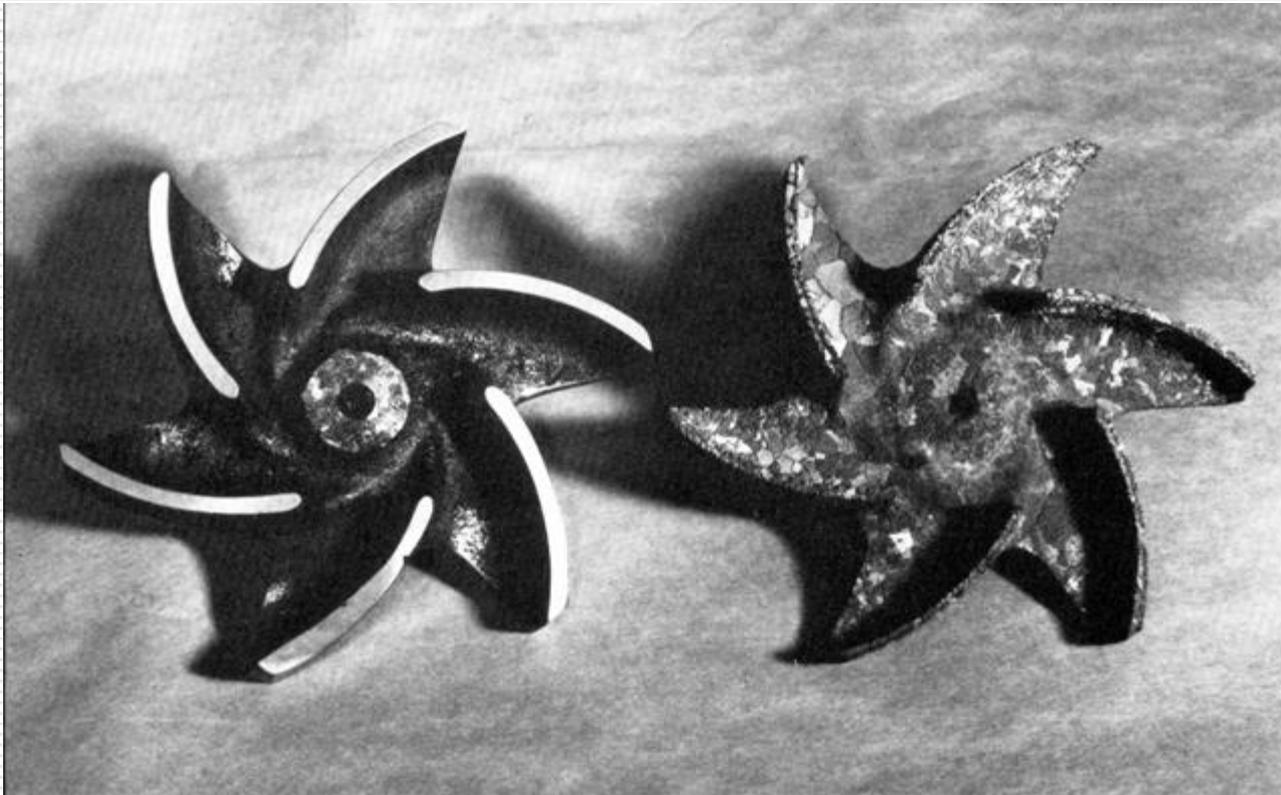


$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3.3\text{Mo} + 16\text{N}$$

# Formas de corrosión

---

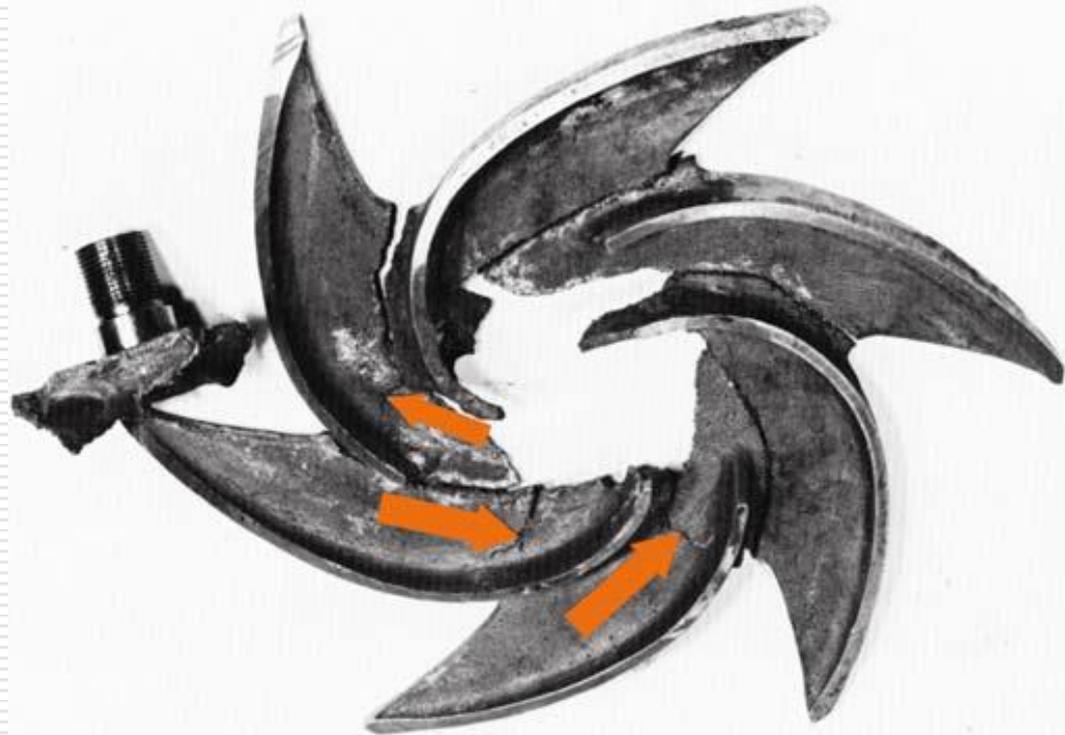
## □ Intergranular



# Formas de corrosión

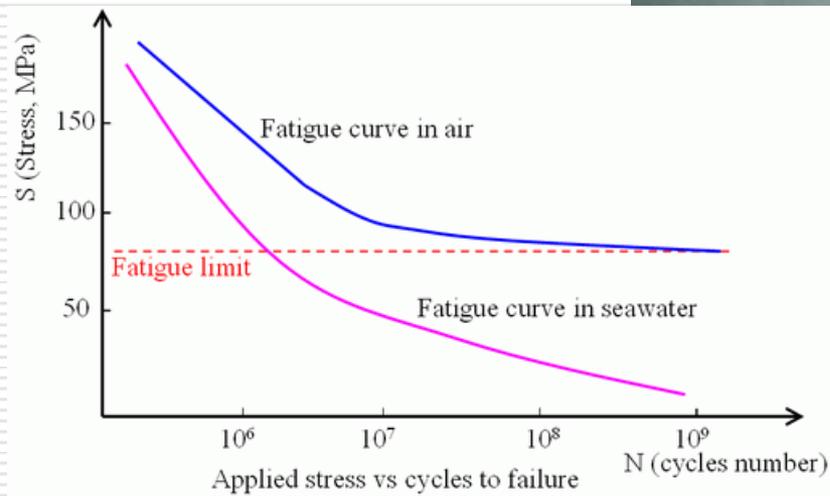
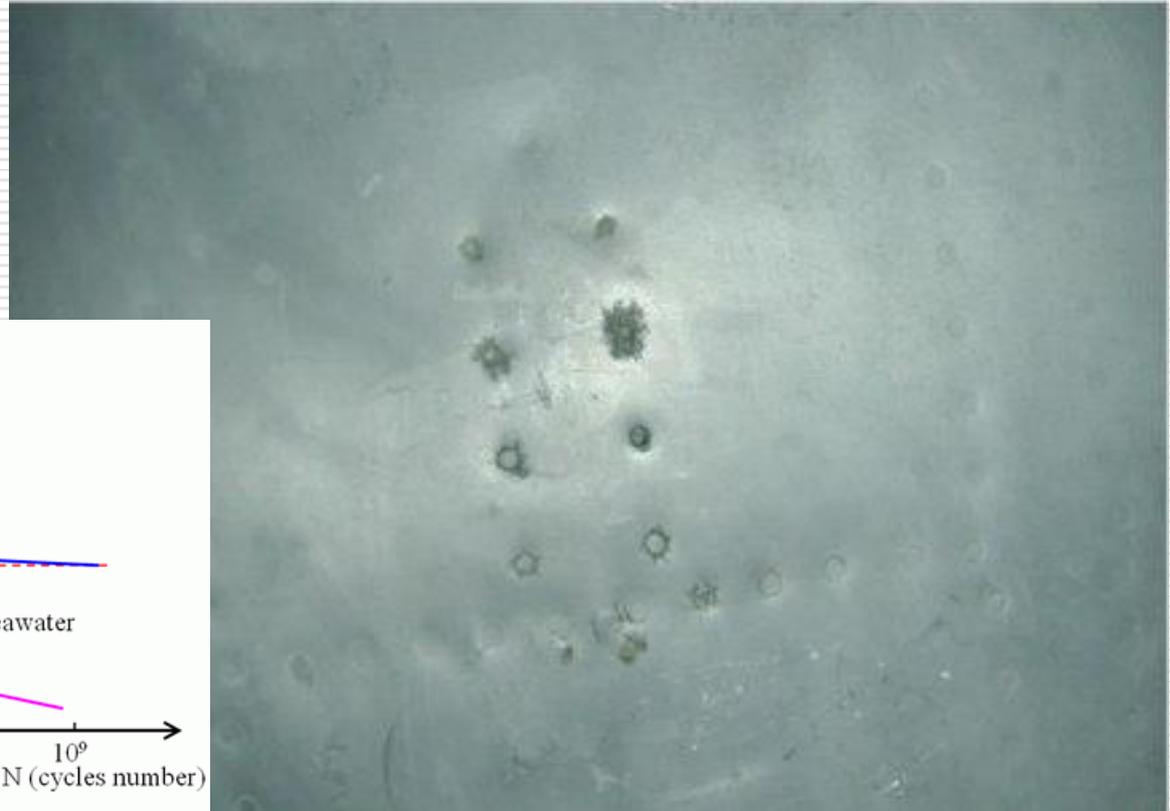
---

## □ Rotura baja tensión



# Formas de corrosión

## □ Fatiga



# Formas de corrosión

---



# Protección contra la corrosión

---

- Selección adecuada del material.
  - Forma adecuada de los elementos.
  - Uso de inhibidores de corrosión.
  - Utilización de revestimientos.
  - Protección electroquímica.
-

# Protección contra la corrosión

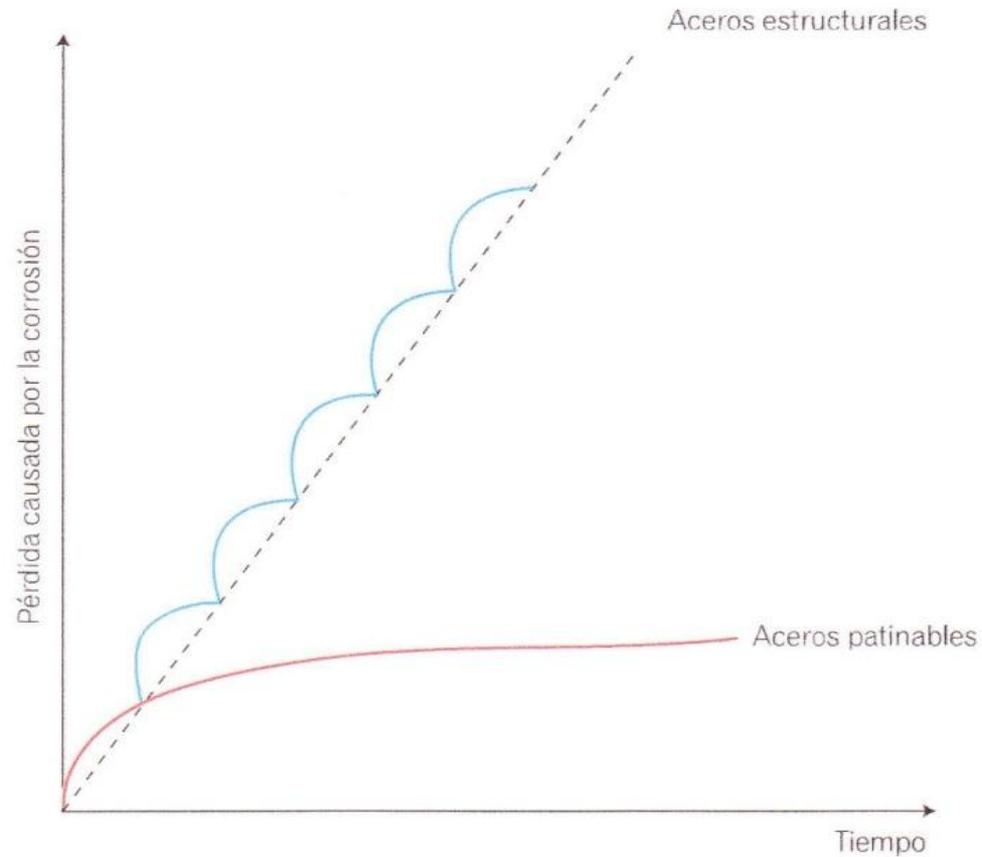
---

## **Materiales de construcción:**

- ❑ Aceros, aceros patinables.
  - ❑ Aceros inoxidable y superinoxidables
  - ❑ Aleaciones de cobre
  - ❑ Aleaciones de aluminio y titanio
  - ❑ Aleaciones de Níquel: Hastelloys, etc.
  - ❑ Zirconio y Tantalio
  - ❑ Polímeros, plásticos reforzados, grafito cerámicas, fibra de carbono, etc
  - ❑ Hormigón armado
-

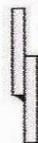
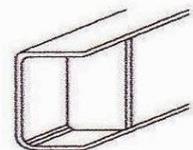
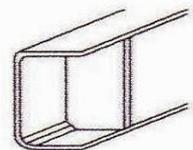
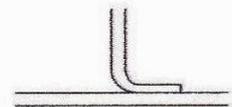
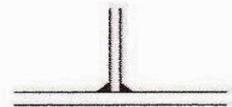
# Protección contra la corrosión

Aceros  
estructurales y  
aceros  
patinables



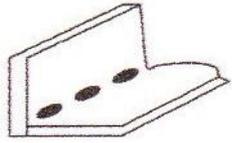
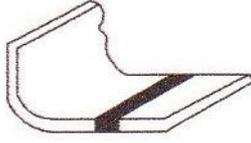
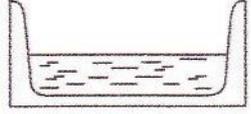
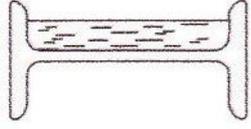
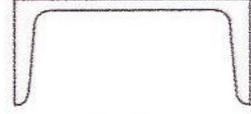
# Protección contra la corrosión

## Diseños constructivos:

Problema	Solución típica
Agua retenida 	No acumular agua 
Soldadura en la base produce grieta 	Soldadura del tope de la unión 
Los rigidizadores impiden el drenaje 	Deje espacio de drenaje 
Formación de grieta 	Eliminación de grieta 

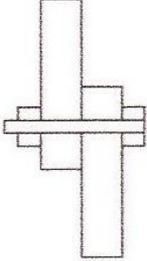
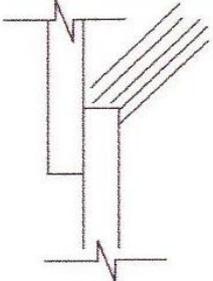
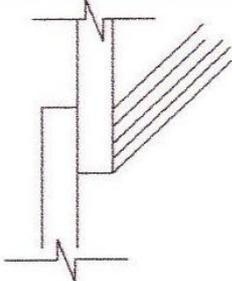
# Protección contra la corrosión

## Diseños constructivos:

<p>Cantos vivos y soldadura discontinua</p>	<p>Cantos redondeados y soldadura continua</p>
	
<p>Cuidado con la acumulación de agua y de suciedad</p>	<p>Cree situaciones que eviten la acumulación de suciedad y agua</p>
 	 

# Protección contra la corrosión

## Diseños constructivos:

Problema	Solución típica
Humedad penetra en la fisura	Utilice cordón de soldadura o sellante
	
Condición desfavorable	Condición favorable
	

# Protección contra la corrosión

---

## **Inhibidores**

Actúan sobre el medio al que están expuestos los diferentes materiales

Disminuyen la velocidad de corrosión

Usos en agua, vapor y aire.

Catódicos, anódicos, orgánicos.

---

# Protección contra la corrosión

---

## **Revestimientos:**

Metálicos anódicos

Metálicos catódicos

Anodizados

Fosfatación y cromatizado

Revestimientos orgánicos:

Pinturas y barnices

Bituminosos

Poliméricos

---

# Protección contra la corrosión

---

## **Protección electroquímica:**

- Protección catódica:
    - Con electrodo consumible
    - Con corriente impuesta
-

# Protección contra la corrosión

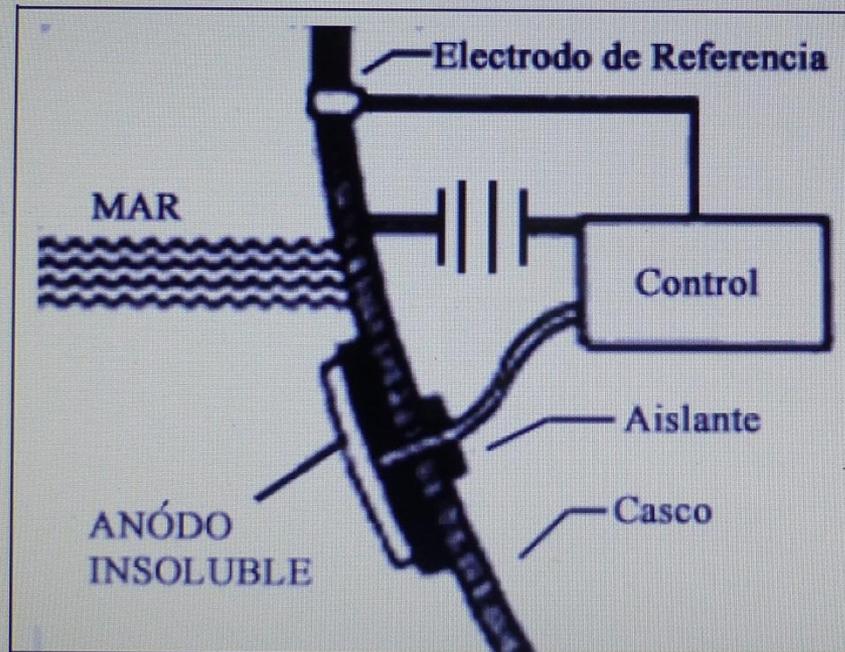
---



*Figura 3.5 Protección catódica con ánodo de sacrificio (Fuente: Ávila, 1996)*

# Protección contra la corrosión

---



*Figura 3.6 Protección catódica con corriente impresa (Fuente: Ávila, 1996)*

# Protección contra la corrosión

---

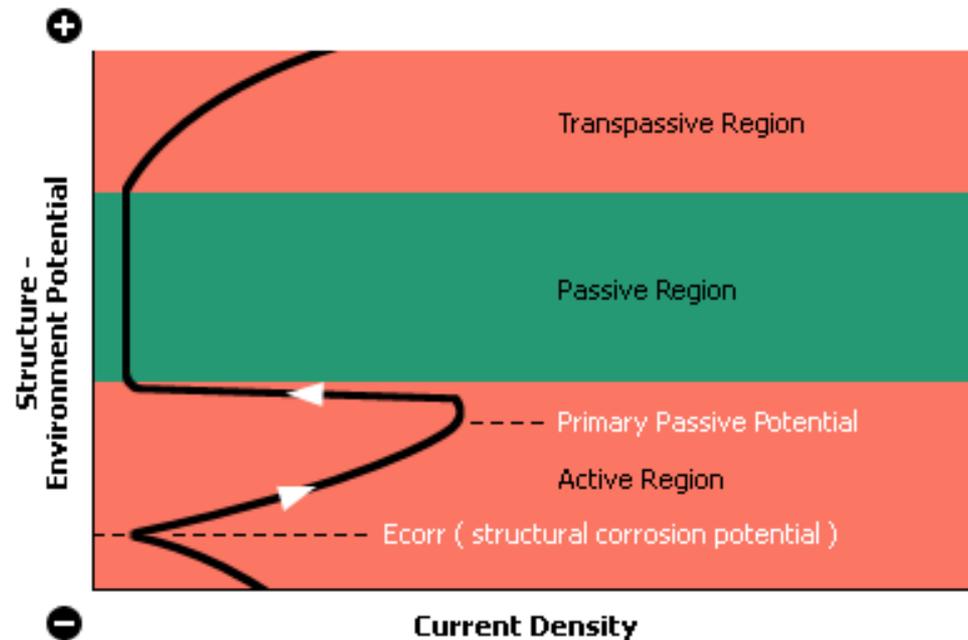


# Protección contra la corrosión

## Protección electroquímica:

□ Protección anódica

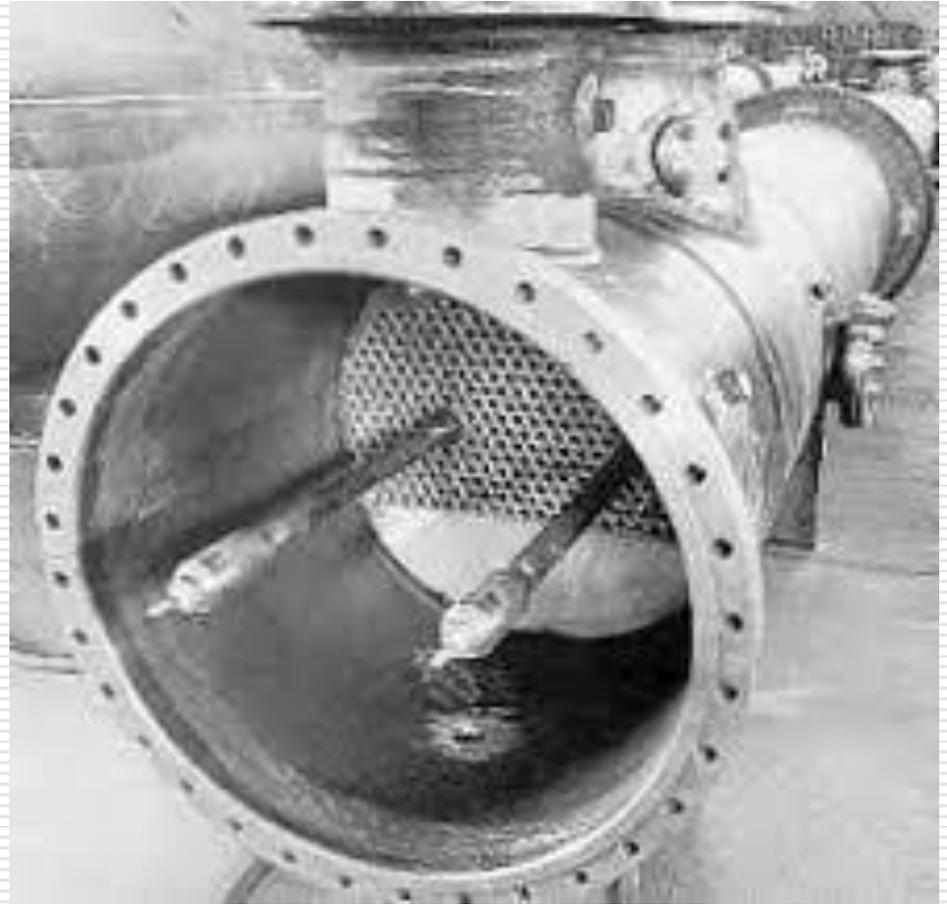
■ Pasivación



# Protección contra la corrosión

---

Intercambiador  
de calor con  
protección  
anódica



# Educación

---

## Las Academias Nacionales de Estados Unidos de América:

- Academia Nacional de Ciencias (NAS)
  - Academia Nacional de Ingeniería (NAE)
  - Instituto de Medicina (IOM)
-

# Educación

---

- El Consejo Nacional de Investigación (NRC) es una unidad de trabajo de las Academias Nacionales en EE.UU., que produce informes para determinar las políticas, informar a la opinión pública, y avanzar en investigación de la ciencia, la ingeniería y la medicina.
-

# Educación

---

Para combatir la corrosión y reducir su costo, el NCR hace una serie de recomendaciones de corto y largo plazo para la industria, las agencias gubernamentales, instituciones educativas y comunidades como forma de mejorar la educación, la información y dar a la futura fuerza de trabajo los conocimientos necesarios.

---

# Educación

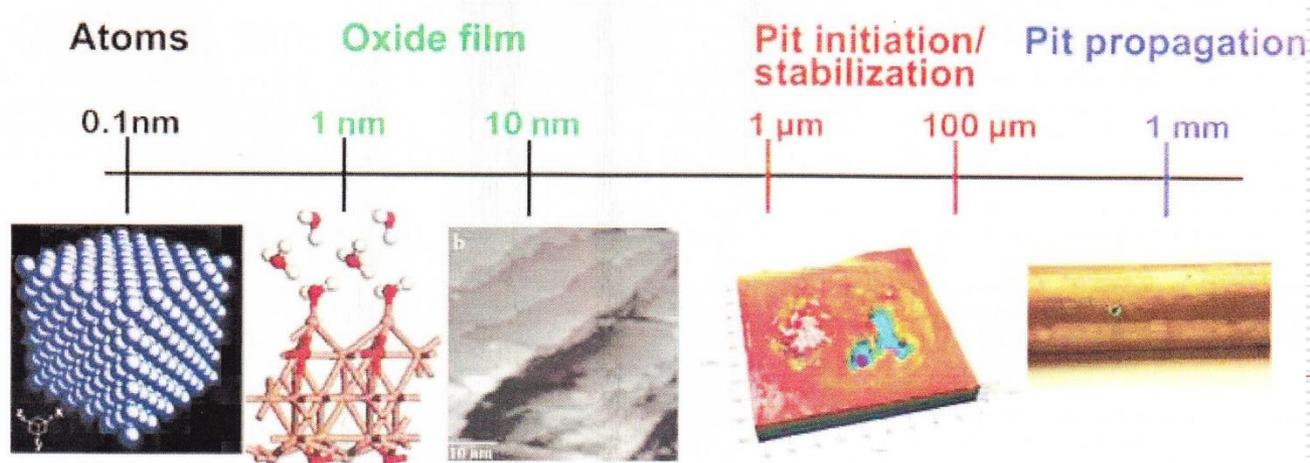
---

- ❑ Desinterés en su estudio.
  - ❑ Cursos de formación en las empresas.
  - ❑ Educación a distancia.
  - ❑ Incorporar su enseñanza en currículos existentes.
  - ❑ Integrar en la formación de los ingenieros el conocimiento de la degradación de todos los materiales en diferentes medios.
-

# Educación

---

- El experto o especialista en corrosión debe ser versados en la ingeniería de materiales, la química, la electroquímica y mecánica en el caso de la corrosión químico-mecánica.
- El estudio del NRC, señala como dificultad la naturaleza “multi-escala” del fenómeno de la corrosión (espacio y tiempo) Del nivel molecular a centímetros. De picosegundos a años.



# Educación

---

- **Conclusiones:** la corrosión tiene un impacto en la seguridad, la fiabilidad y la economía en la más amplia gama de aplicaciones de la tecnología, desde la defensa nacional a la infraestructura, de la salud al bienestar de las poblaciones. La aplicación exitosa de la ingeniería de corrosión puede ahorrar muchos recursos y mejorar el bienestar de la comunidad y a su vez ayudar a cumplir con el ingeniero los grandes retos del futuro. Para llevar a cabo estos objetivos se necesita una fuerza laboral altamente capacitada
-

# Organizaciones

---



ABRACO - Associação Brasileira de Corrosão foi fundada em 1968, hoje com sede própria situada no Rio de Janeiro. Nestas quatro décadas a ABRACO promoveu diversos cursos, seminários e congressos, envolvendo empresas privadas e estatais, universidades, centros de pesquisas e consultores dedicados a corrosão e sua prevenção.

---



# Organizaciones

---



NACE International is a technical society dedicated to promoting technology on corrosion prevention and control for all materials.

Many of NACE's 30,000 members participate in the activities of more than 300 NACE technical committees.

---

# Organizaciones



## MATERIALS TECHNOLOGY INSTITUTE

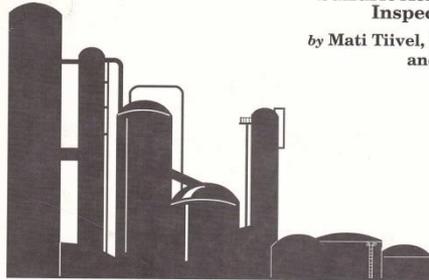
### Materials Selector for Hazardous Chemicals

**Vol. 1: Concentrated Sulfuric Acid and Oleum**

**C. P. Dillon**

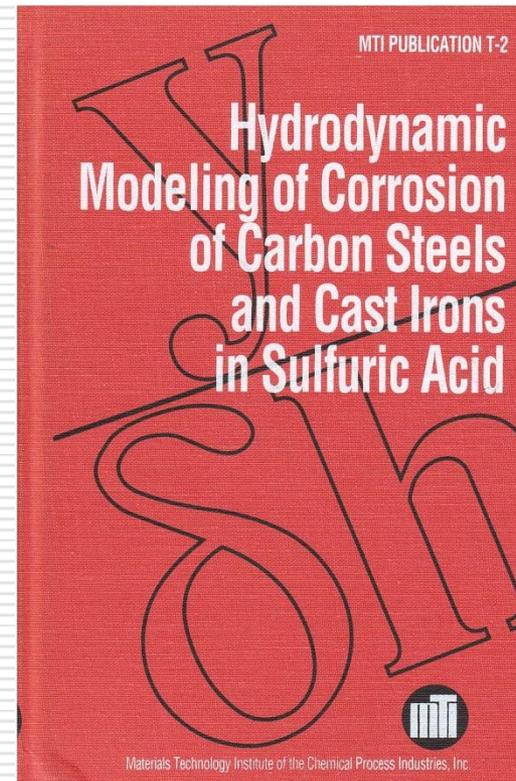
*includes Carbon Steel Sulfuric Acid Storage Tank: Inspection Guidelines*

*by Mati Tiivel, Frank J. McGlynn and Athol A. Trickett*



**MTI Publication MS-1**

**Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, Inc.**



# Organizaciones

---

The EFC is a federation of 33 societies with interests in corrosion based in twenty-six different countries within Europe and beyond.



# Organizaciones

---



The International Corrosion Council (ICC) fundado en 1961 para avanzar en la ciencia y la ingeniería de la corrosión con representación de más de 68 países del mundo.

---

# Organizaciones

---



24 de abril 2014

Fundada en 2006 por la Asociación Australiana de Corrosión (ACA), Sociedad de Corrosión y Protección (CSCP) de China, la Federación Europea de Corrosión (EFC) y NACE International

---

1. Aumentar la conciencia pública sobre la corrosión y la mitigación de la corrosión.
  2. Identificar las mejores prácticas en la gestión de la corrosión.
  3. Facilitar la prestación de asesoramiento especializado sobre corrosión a los gobiernos, industrias y comunidades.
  4. Normalizar los estándares relacionados con la corrosión en todo el mundo.
-

# Normalización

---

Serie de normas técnicas UNIT y UNIT-ISO y UNIT-NM sobre pinturas, ensayos.

Comité técnico de pigmentos, pintura y solventes

---

# Normalización

---

- ❑ Serie de Normas Técnicas ABTN
    - Pinturas industriales
    - Protección catódica
    - Corrosión atmosférica
    - Inhibidores de corrosión
  - ❑ AENOR: AEN/CTN 112 - Corrosión y Protección de los materiales metálicos
-

# Normalización

---



Más de 150 documentos:

- Guías prácticas (SPs)
- Requerimiento de materiales (MRs)
- Métodos de ensayo (TMs)

**Capacitaciones:** Inspector en recubrimientos, protección catódica, tuberías



Más de 120 Normas: Corrosión atmosférica, en suelo, agua, erosión, fricción, medidas electroquímicas, ensayos de laboratorio, etc.

---

# Normalización

---

- **ISO** – TC 156 con varios grupos de trabajo:

General, Terminología. Corrosión atmosférica y corrosividad, Corrosión intergranular, Ensayos acelerados, Protección catódica, Corrosión a alta temperatura, Ensayos Electroquímico.

Normas sobre corrosividad atmosférica:  
ISO 9223, 9224, 9225 y 9226.

---

# Normalización

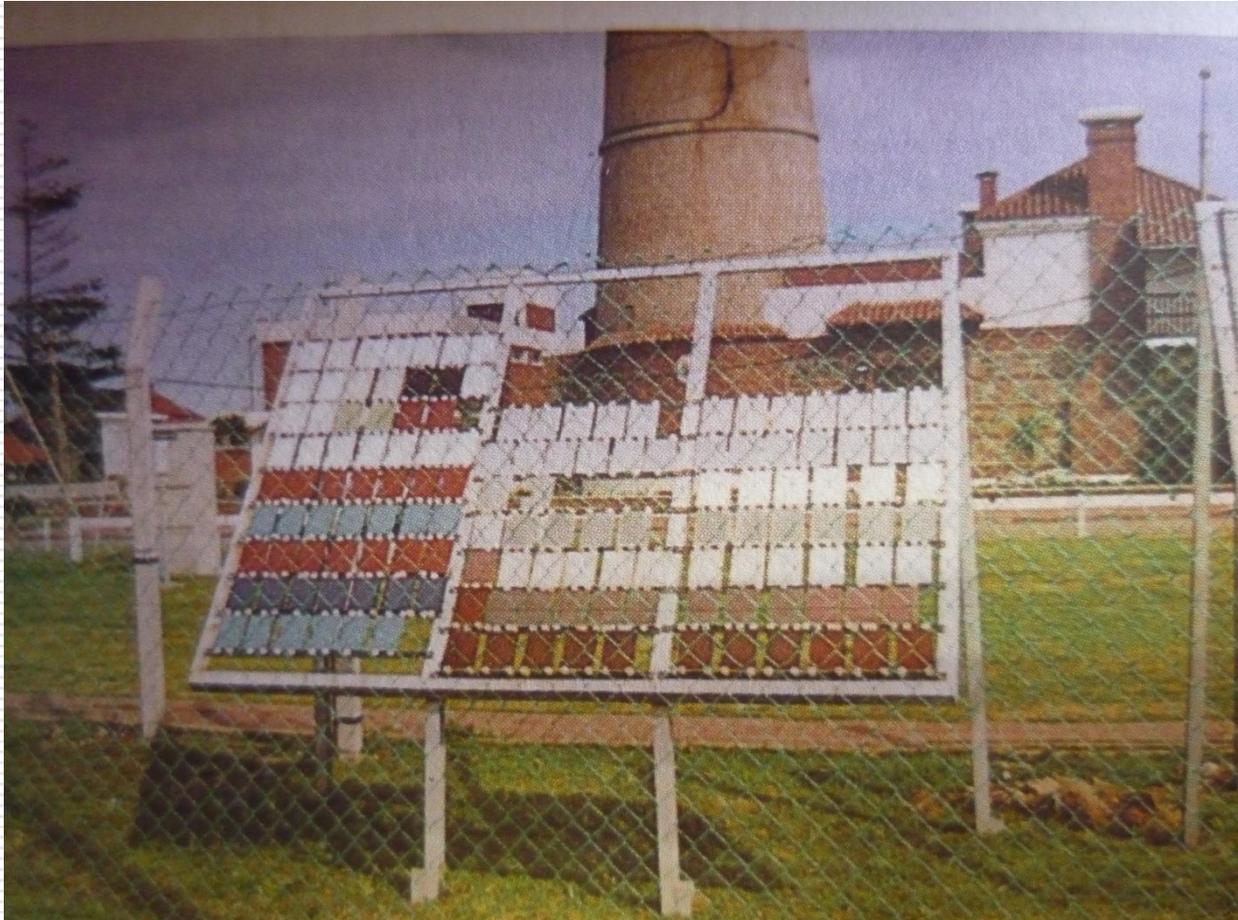
---

## Corrosividad en ambientes atmosféricos

- ❑ C1- Muy baja: Desiertos, Antártida, baja contaminación.
  - ❑ C2- Baja: Rural o pequeñas ciudades.
  - ❑ C3- Media: Áreas urbanas, zonas costeras.
  - ❑ C4- Alta: Zonas templadas con contaminación, urbanas e industriales.
  - ❑ C5- Muy alta: Zonas tropicales y templadas con muy alta contaminación en línea costera.
  - ❑ CX- Extrema: Tropical, alta humedad y muy alta contaminación. Spray de sal. Instalaciones industriales en la costa o offshore
-

# Normalización

---



Ensayos de  
corrosividad  
con cupones  
normalizados.

Punta del  
Este,

Programa CYTED,  
1998, Corrosión y  
Protección de  
metales en las  
atmósferas de  
Iberoamérica

---

# Ambiente y corrosión

---

- ❑ Modificaciones en el ambiente puede modificar las velocidades de corrosión.
  - Aumento de contaminantes por la actividad humana e industrial: CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.
  - Cambio Climático.
-

# Ambiente y corrosión

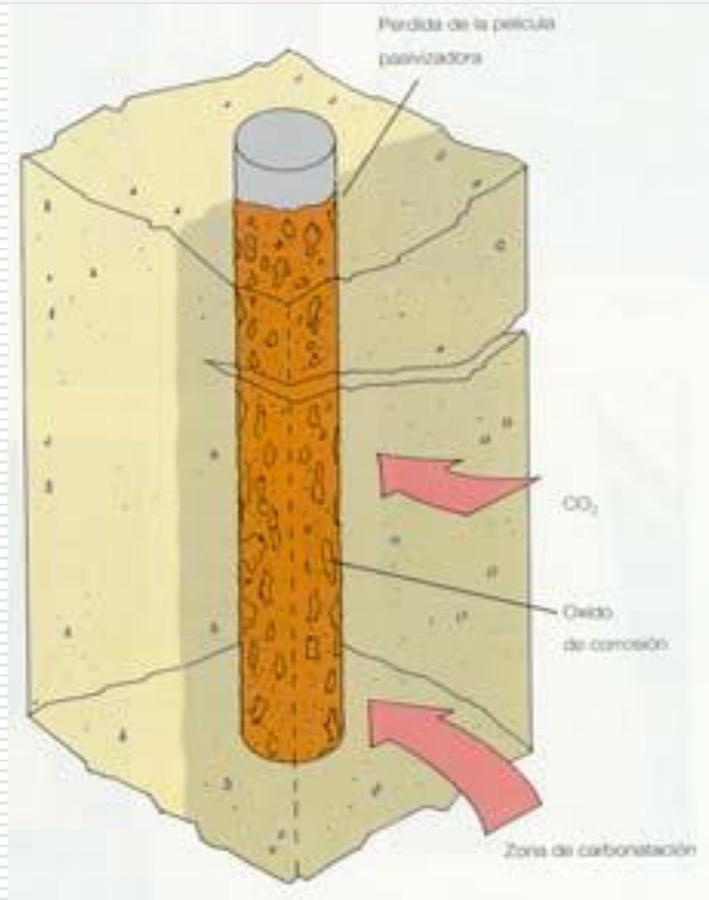
---

## □ Hormigón armado



# Ambiente y corrosión

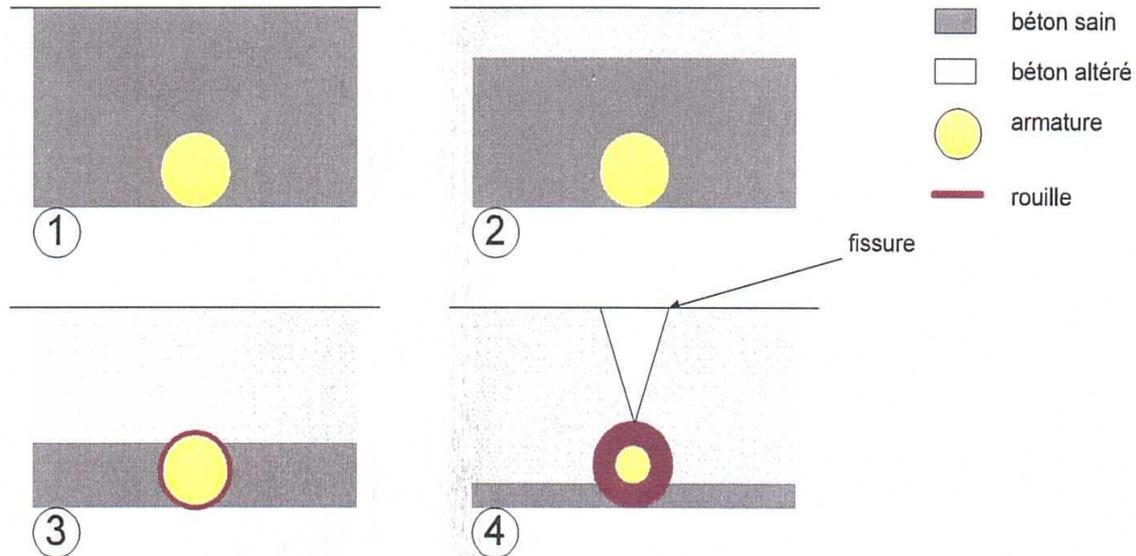
---



Corrosión del hierro en el  
hormigón armado

# Ambiente y corrosión

Groupe de travail AFGC / CEFRA COR



# Ambiente y corrosión

---



# Ambiente y corrosión

---



Medidas de profundidad y potencial  
de la armadura

# Ambiente y corrosión

---



# Ambiente y corrosión

---

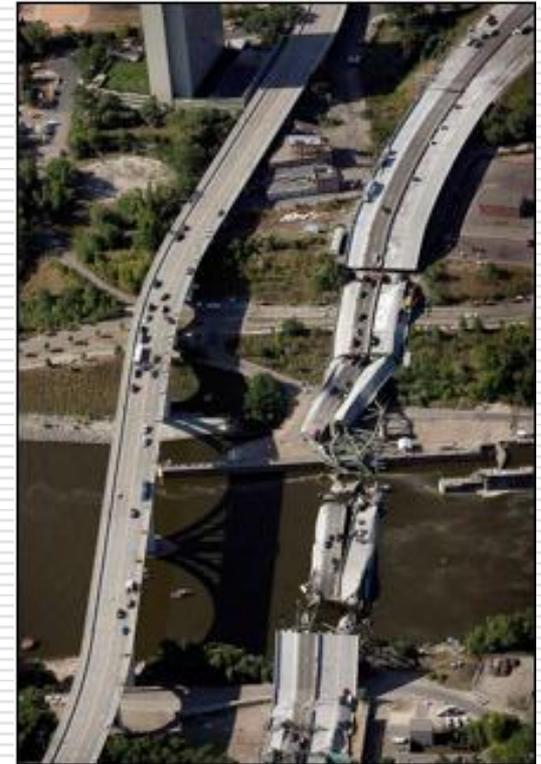
- ❑ Fallas por corrosión puede afectar el ambiente y las comunidades.
  - Explosiones.
  - Difusión de productos tóxicos.
  - Incendios.
  - Emisiones ionizantes
  - Fallas en infraestructuras
-

# Comunidad y corrosión

---



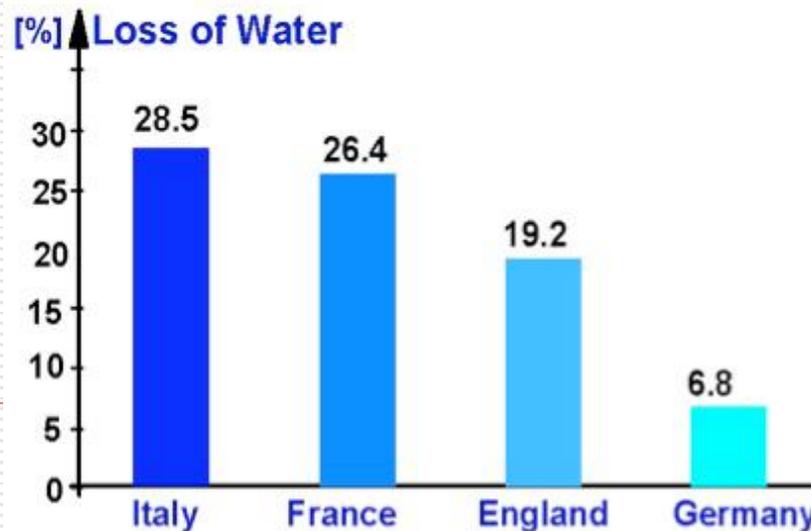
Berlín: corrosión bajo tensión



Puente río Mississippi

# Comunidad y corrosión

---



# Medicina y corrosión

---



# Cultura y corrosión

---



# Conclusiones

---

- ❑ Por último, la corrosión siempre estará ahí, los medios para combatirla no dejarán de mejorar. Hoy, tenemos la posibilidad de elegir los medios de protección, prevención y vigilancia.
  - ❑ La lucha contra la corrosión es, en última instancia, adoptar una buena estrategia, tener rápidas respuestas, estar atento a los detalles y siempre aprovechar los avances tecnológicos lo cual determina mantenerse constantemente informado sobre las novedades en este ámbito.
-