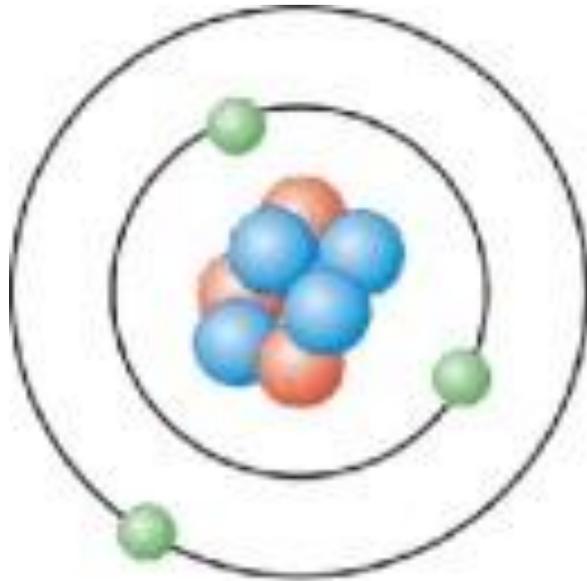


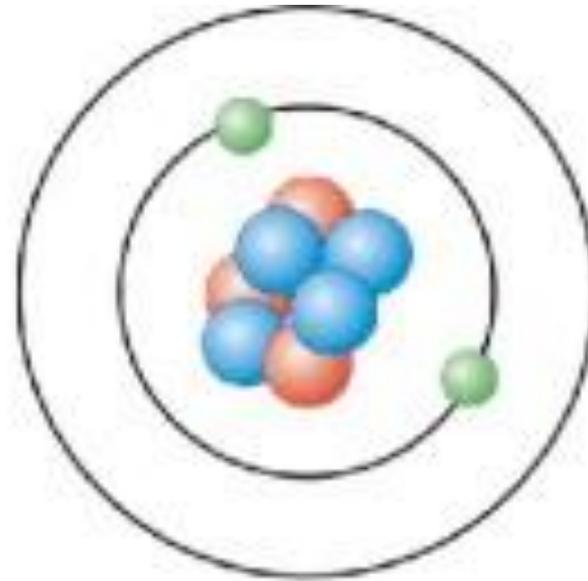
OXIDACIÓN Y CORROSIÓN

Julio Alberto Aguilar Schafer

| Industria o sector | Coste estimado (millones de libras) | Ahorro potencial estimado (millones de libras) |
|--------------------------------------|--|--|
| Construcción | 250 (\$190.000.000.000) | 50 (\$38.000.000.000) |
| Alimentación | 40 (\$30.400.000.000) | 4 (\$3.040.000.000) |
| Ingeniería en general | 110 (\$836000000000) | 35 (\$26.600.000.000) |
| Agencias y dptos. gubernamentales | 55 (\$41.800.000.000) | 20 (\$15.200.000.000) |
| Marina | 280 (\$212.800.000.000) | 55 (\$41.800.000.000) |
| Refino del metal y semielaborados | 15 (\$11.400.000.000) | 2 (\$1.520.000.000) |
| Petróleo y productos químicos | 180 (\$136.800.000.000) | 15 (\$11.400.000.000) |
| Energía | 60 (\$45.600.000.000) | 25 (\$19.000.000.000) |
| Transporte | 350 (\$266.000.000.000) | 100 (\$76.000.000.000) |
| Agua | 25 (\$19.000.000.000) | 4 (\$3.040.000.000) |
| TOTAL | 1365 (\$1.037.400.000.000) | 310 (\$235.600.000.000) |



Protones = 3
Neutrones = 4
Electrones = 3

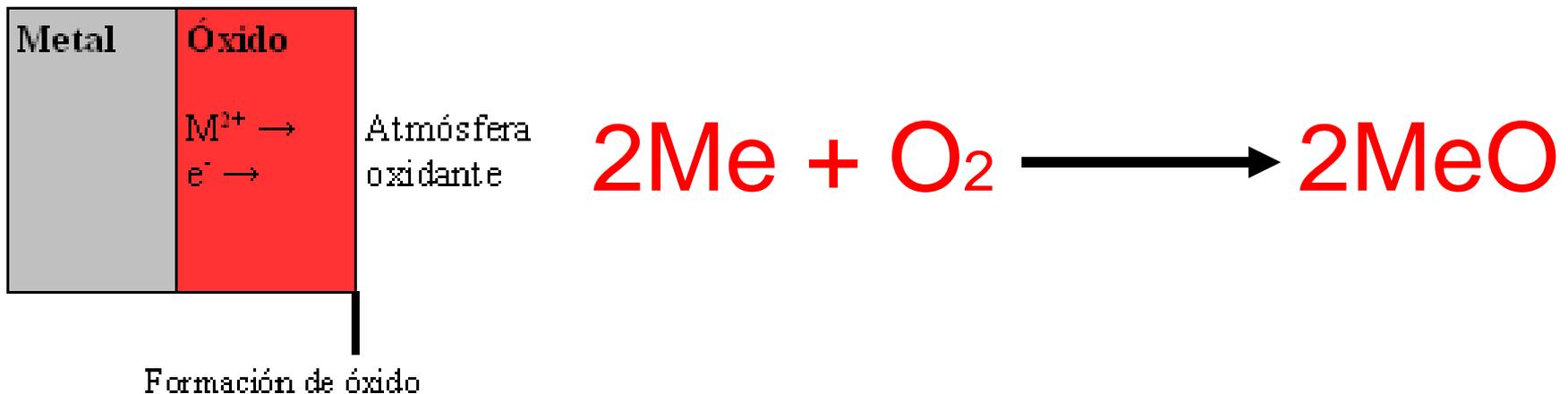


Protones = 3
Neutrones = 4
Electrones = 2

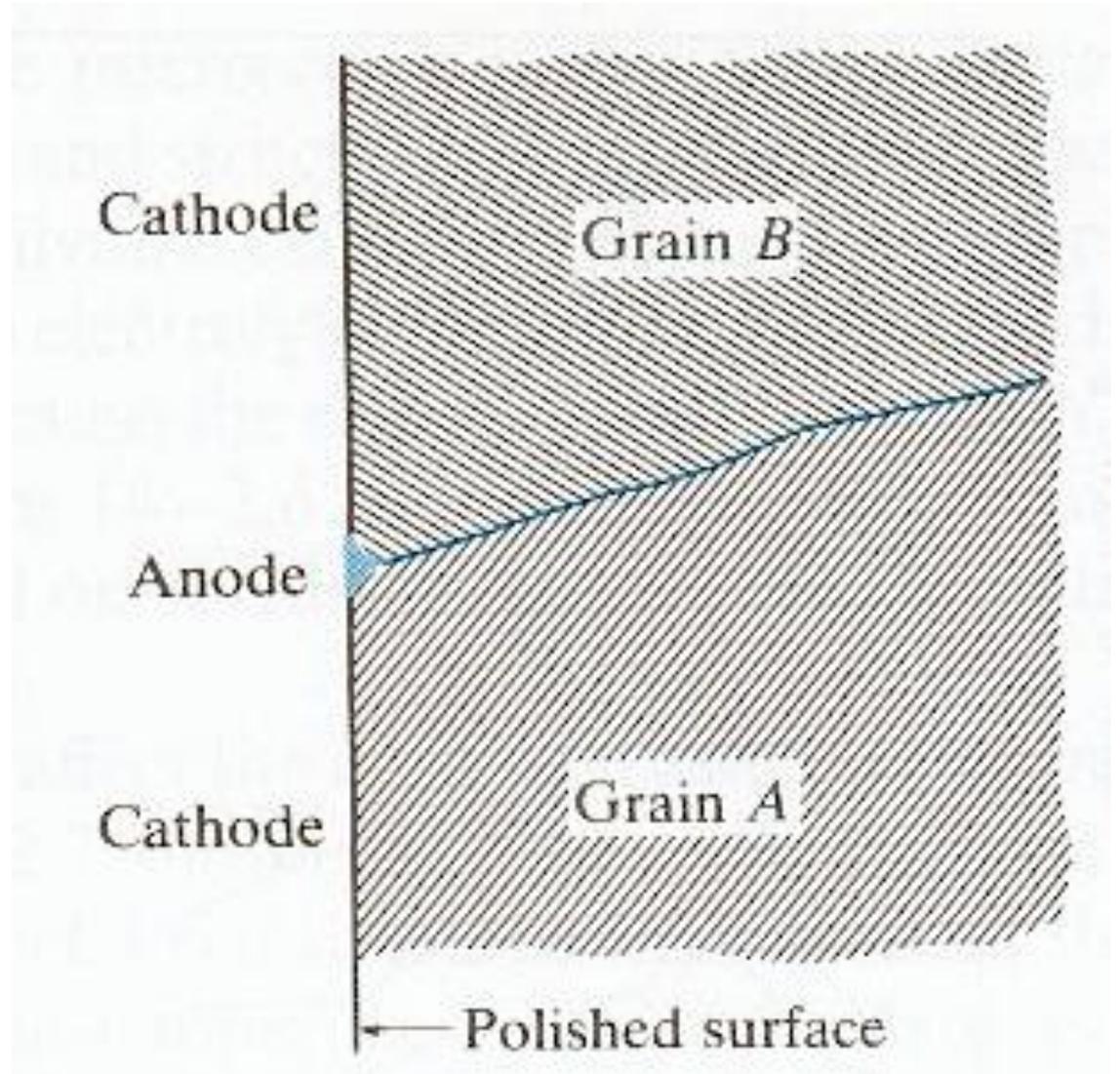
El número de oxidación se define como: El número de electrones que un elemento puede ganar o perder cuando se combina con los átomos de otro elemento.

Oxidación

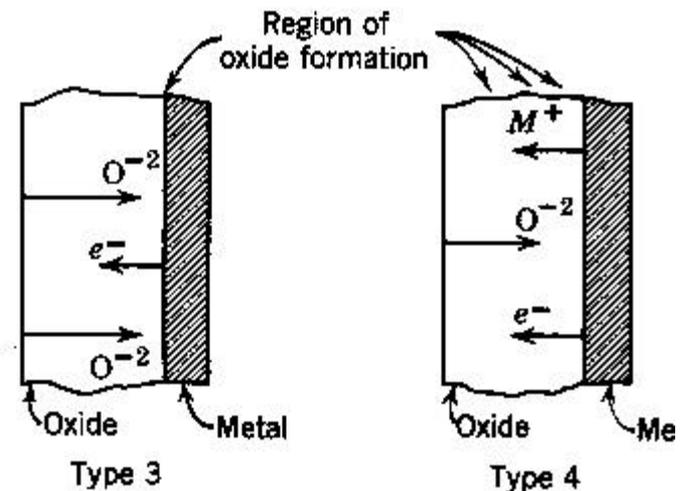
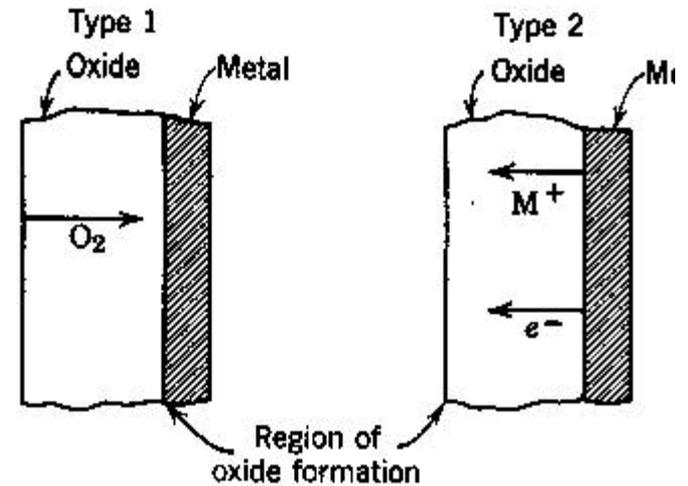
- Todos los materiales, los metálicos y los no-metálicos, sufren oxidación por el simple hecho de la presencia de oxígeno en la atmósfera.



Los átomos de los bordes de grano tienen energía más alta
→ actúan como ánodo



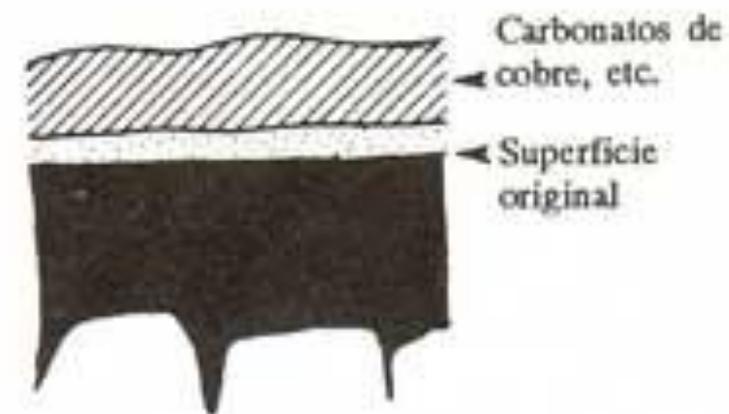
- (i) Reacción de oxidación ocurre en interfase aire-óxido
- (ii) Reacción de oxidación ocurre en interfase metal-óxido
- (iii) Mecanismo combinado de los dos anteriores.



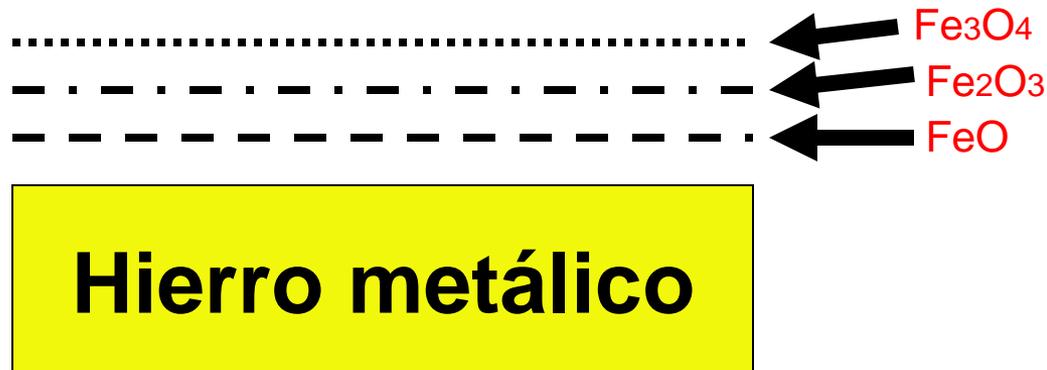
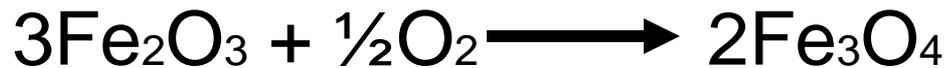
La oxidación de los metales se forma una capa de óxidos sobre la superficie de los mismos

- En la mayor parte de los metales no ferrosos y en algunos de los ferrosos se forma una capa homogénea de óxidos de los mismos, que autoprotege al material evitando que continúe la oxidación, por ejemplo en el Aluminio:





En el caso del hierro el fenómeno anterior no se da, porque se produce una evolución de sus de diferentes óxidos produciendo fracturas que permiten la continuación de la oxidación:

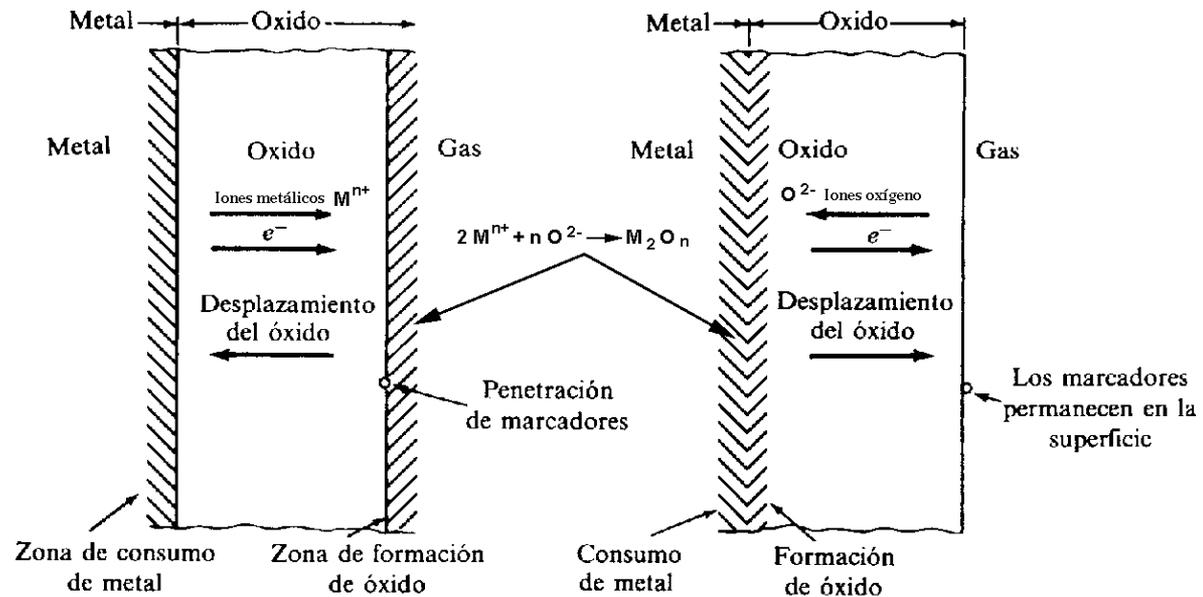
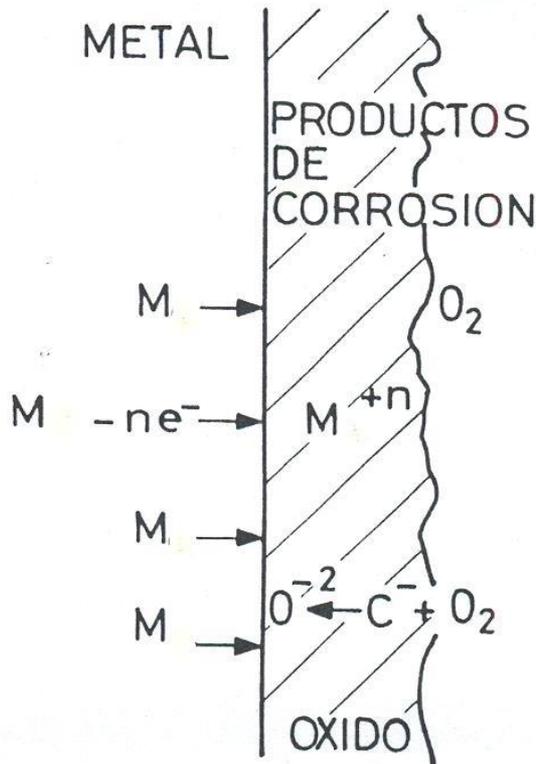


MICROMECHANISMOS DE OXIDACIÓN

La reacción simplificada $M + O \rightarrow MO$ se realiza en dos etapas:

1) el metal pasa a ión, cediendo electrones: $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$

2) los electrones son captados por el oxígeno y forman el ión: $1/2O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$



La oxidación forma capa de óxido que aumenta de espesor recubriendo el material

PROTECCIÓN FRENTE A LA OXIDACIÓN

- Acción del **propio óxido** (salvo los óxidos no protectores o muy frágiles)

- Adición de ciertos **elementos de aleación** (Ni, Cr y Co al hierro)

- **Recubrimientos** con capas protectoras (pinturas, plásticos, cerámicas,...)

Recubrimientos metálicos: acero galvanizado, hojalata...

Recubrimientos inorgánicos: acero vidriado, pavonado...

Recubrimientos orgánicos: pinturas, imprimaciones, barnices...





Corrosión

- **Por ataque químico directo:**

- Industrial
- Por lluvia ácida

- **Por flujo de electrones (pila galvánica):**

- corrosión:
 - *intergranular
 - *por tensiones
 - *galvánica de dos metales
 - *por fisuras
 - *por picaduras

Ataque químico directo:

- Industrial:

-decapado:



- Lluvia ácida:

combustión de hidrocarburos:



PROCESO DE CORROSION

Tres requisitos

↪ Electrolito

✦ Electrodos

↗ Anodo

↗ Cátodo

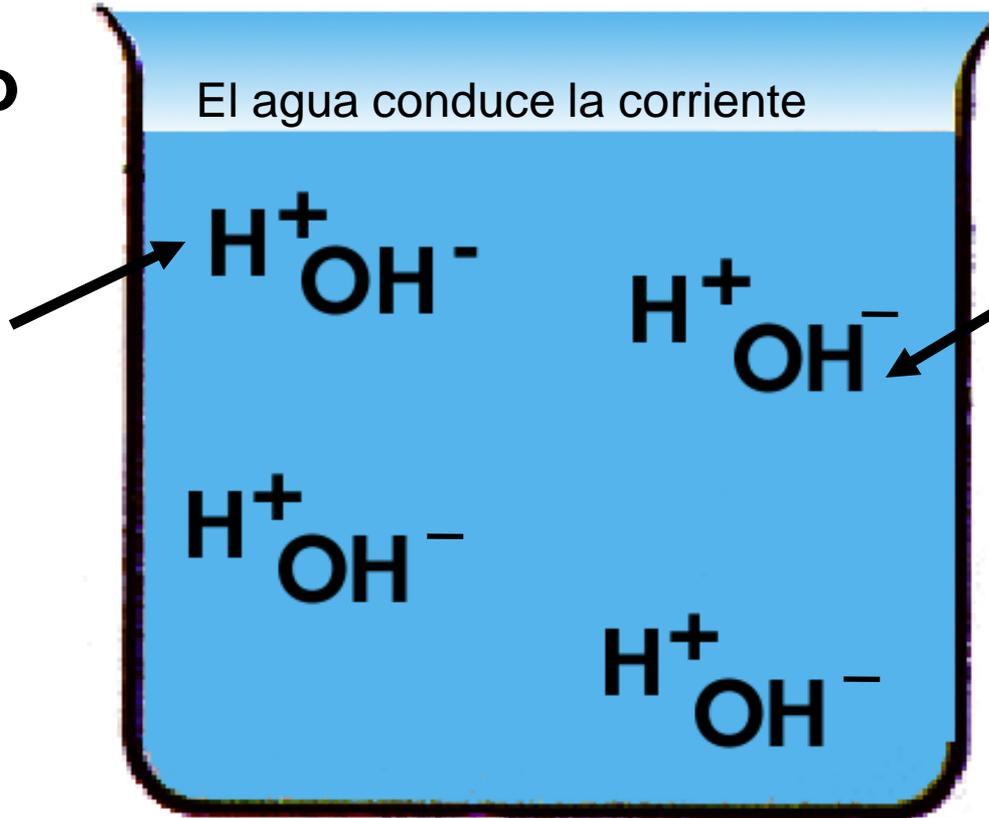
✦ Paso de electrones

PROCESO DE CORROSION POR FLUJO DE ELECTRONES



Electrolito

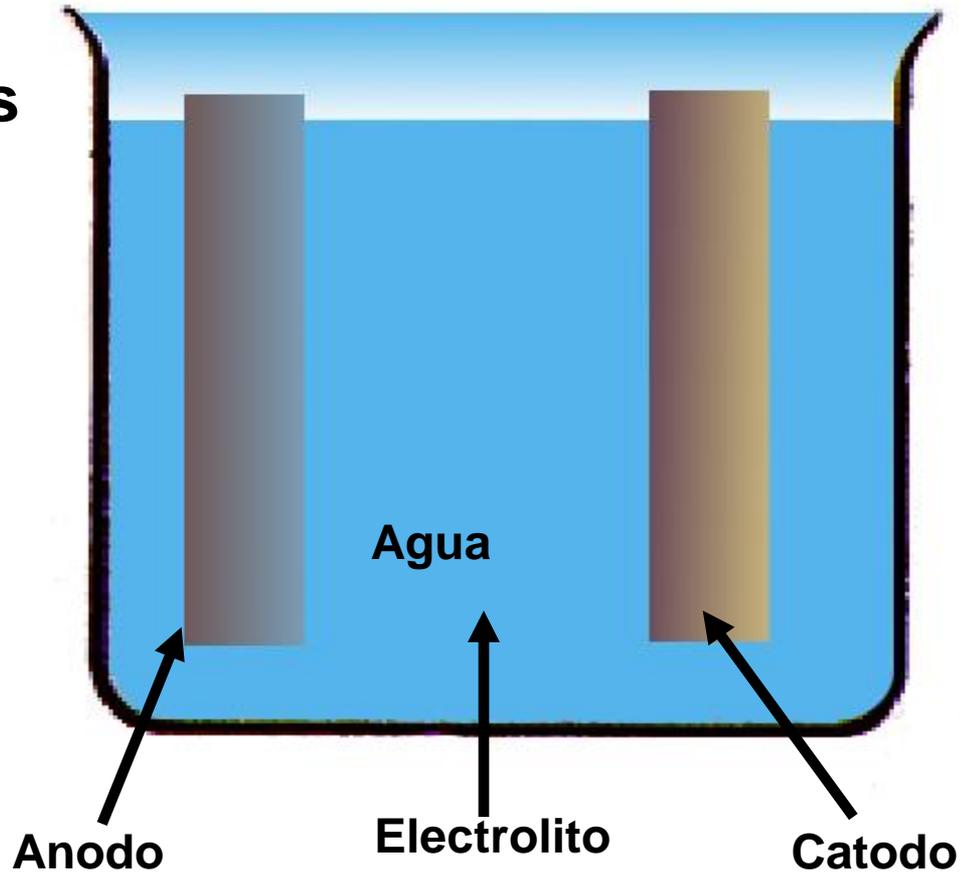
Iones de hidrógeno positivos



Iones negativo hidróxilo

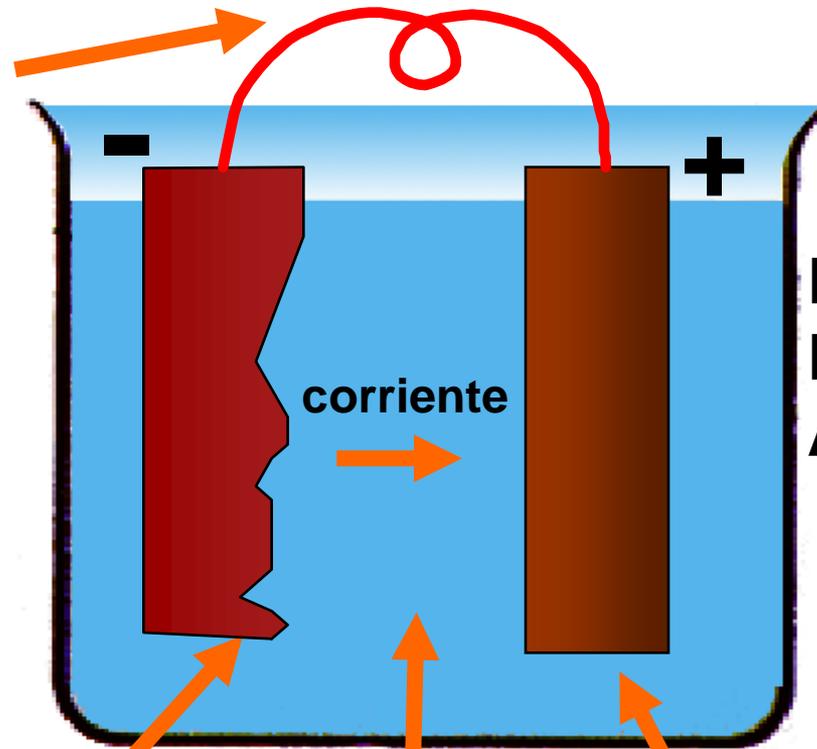
PROCESO DE CORROSION

-  **Electrodos**
-  **Anodo**
-  **Catodo**



PROCESO DE CORROSION

 Paso de e^-
Para completar
El circuito



Los electrones
Fluyen de ánodo
A cátodo

Anodo
(corrosión)

Electrolito
(Agua)

Catodo
(protegido)

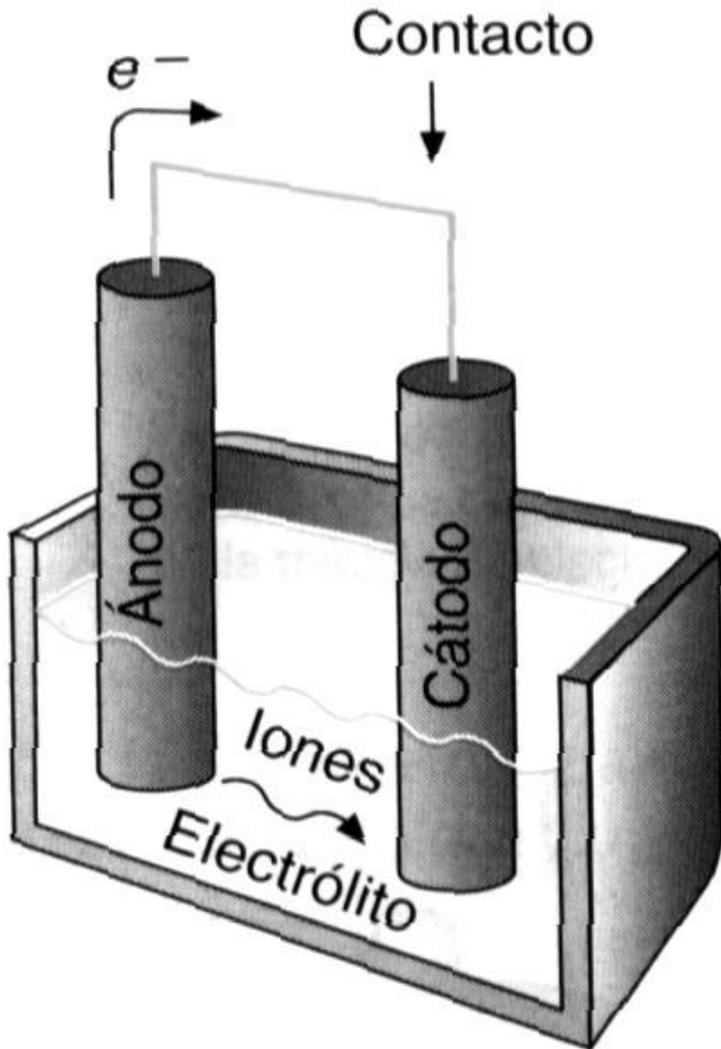
Los componentes de una pila electroquímica son:

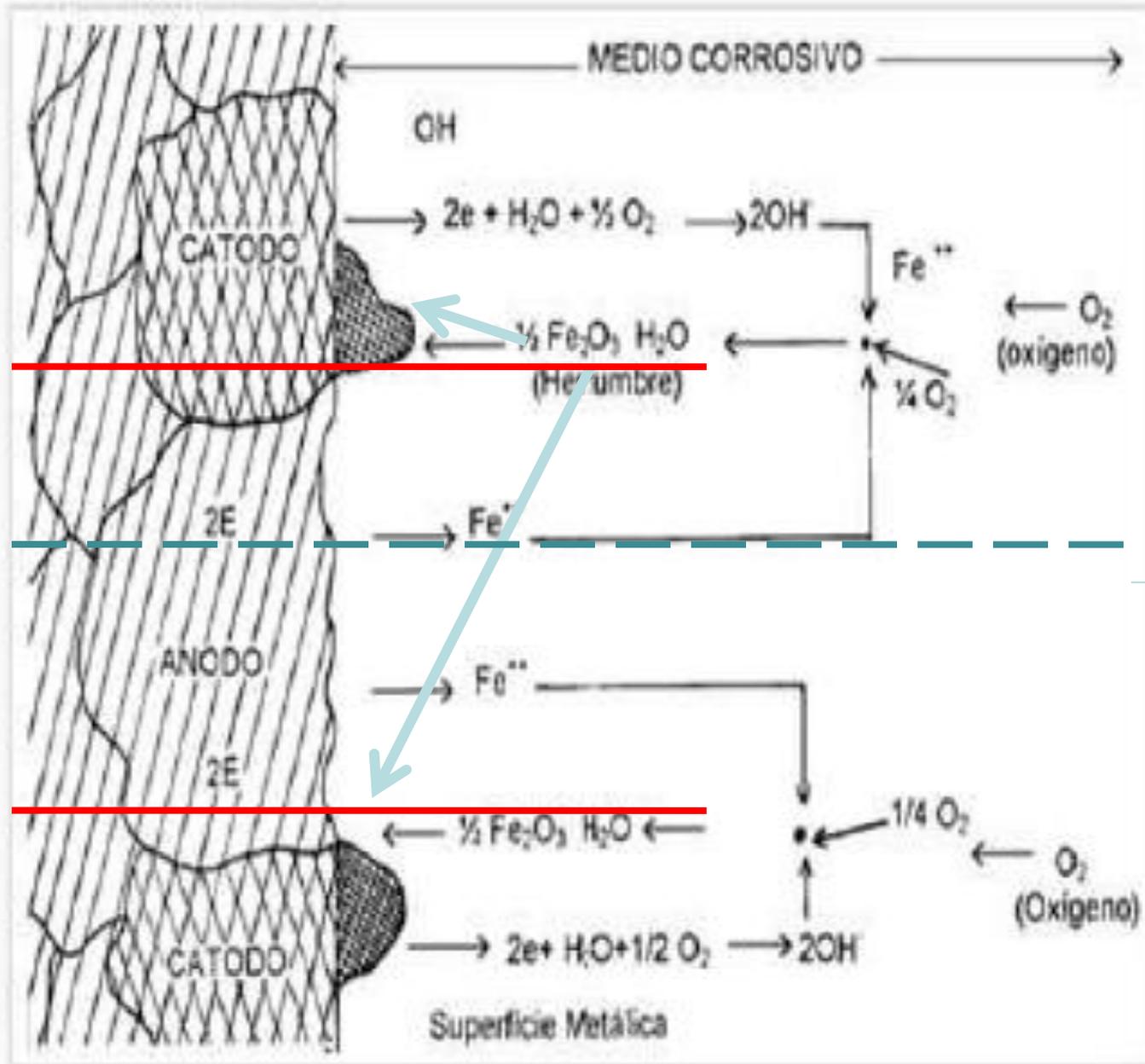
→ **Ánodo:** Electrodo metálico en una celda electrolítica que se disuelve dando cationes y electrones al circuito externo. Cede electrones al circuito y se corroe.

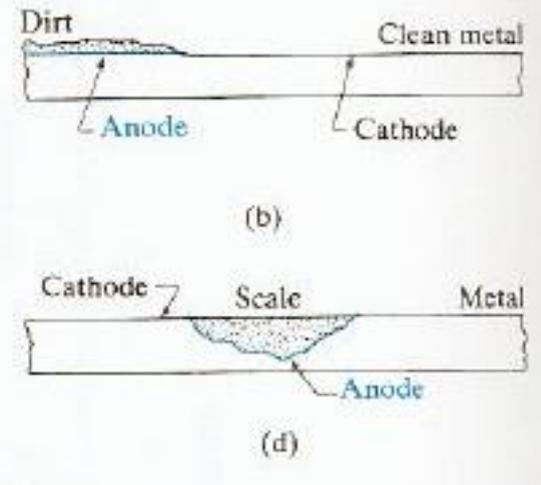
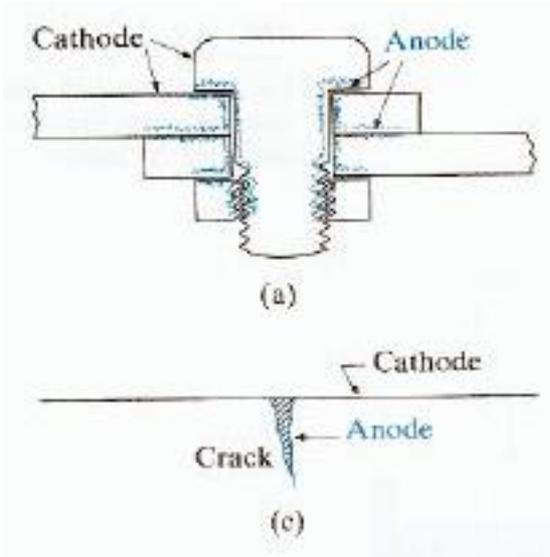
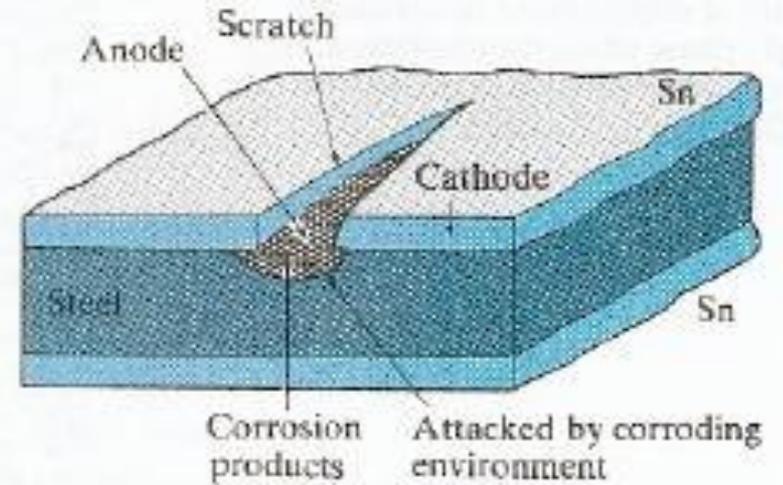
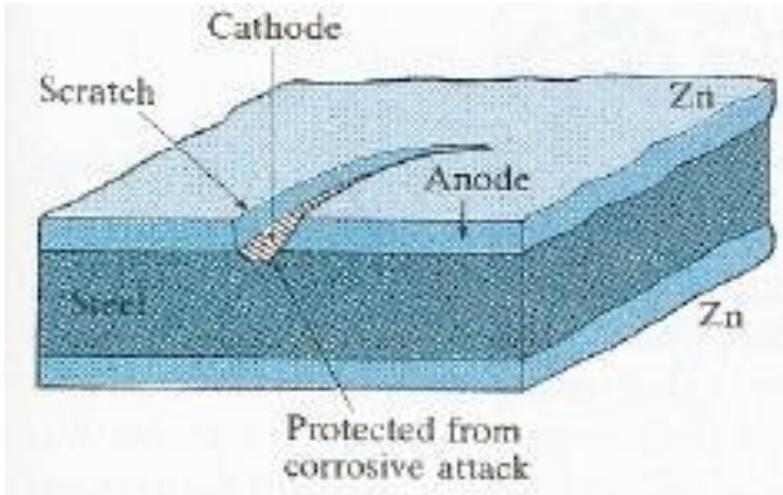
→ **Cátodo:** Receptor de electrones del circuito a través de una reacción química. Los iones que se combinan con los electrones producen un subproducto en el cátodo.

→ **Contacto físico o puente de conexión:** Medio físico de conexión entre ánodo y cátodo, por donde fluyen los electrones del ánodo al cátodo.

→ **Electrolito:** Líquido que está en contacto tanto con el ánodo como con el cátodo. Debe ser un conductor. Este líquido proporciona el medio a través del cual los iones metálicos abandonan la superficie del ánodo, y asegura que los iones se desplacen hacia el cátodo que acepta los electrones.





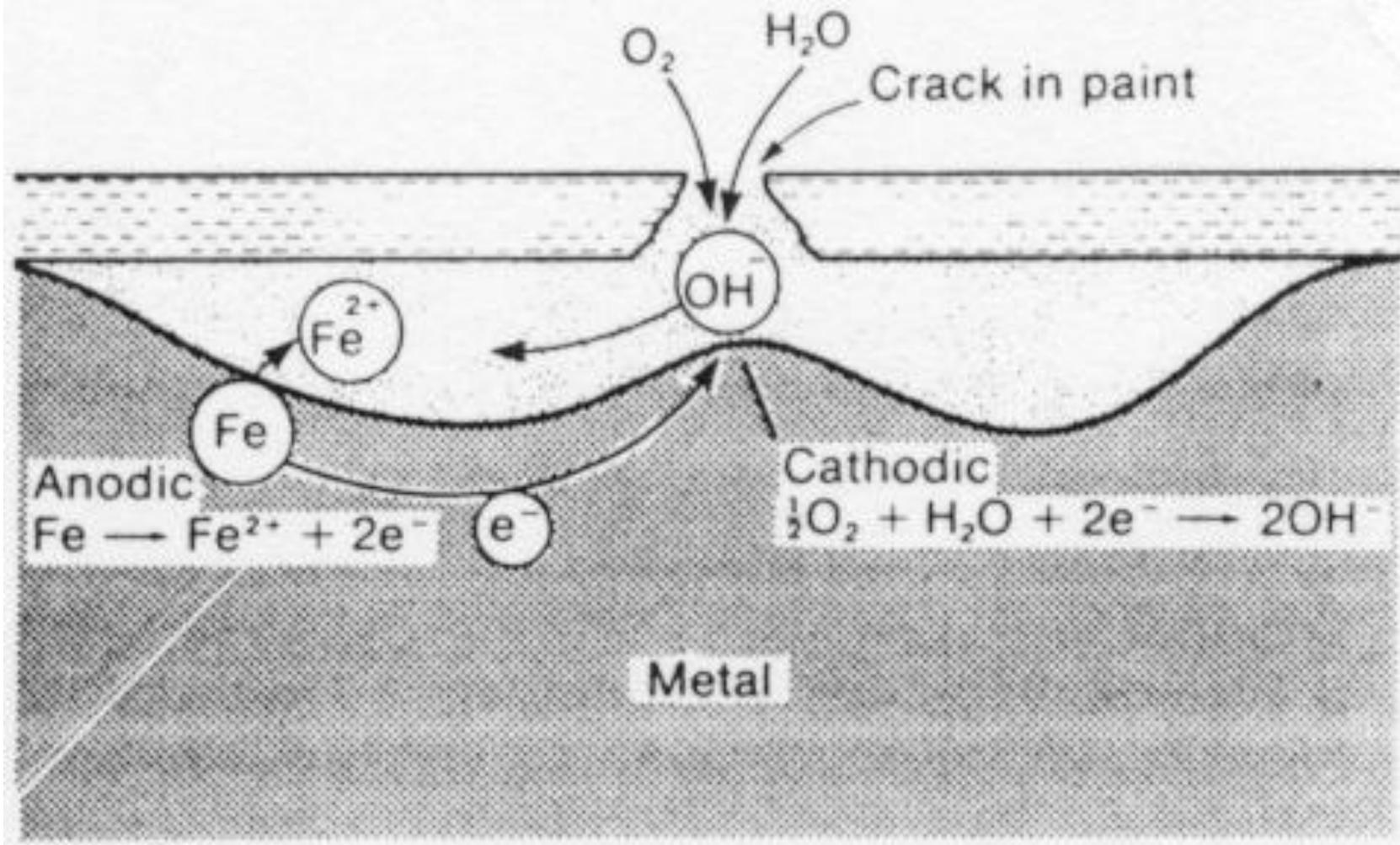




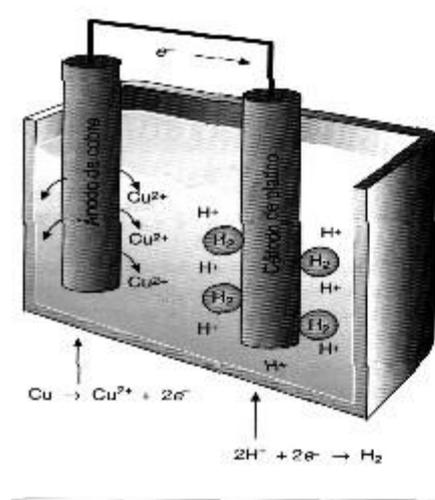
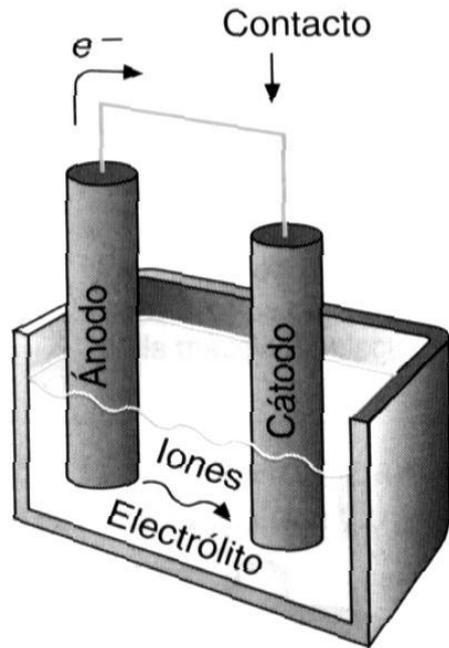
(oxidación, ánodo)



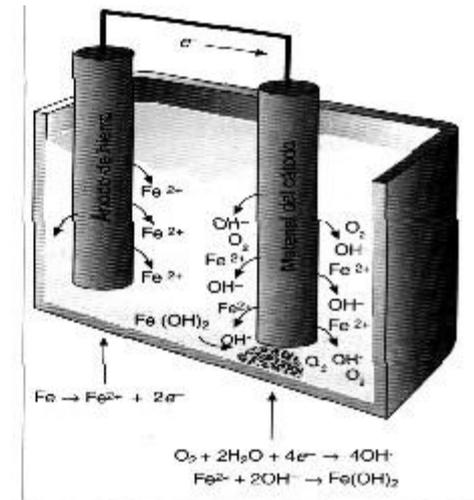
(reducción, cátodo)



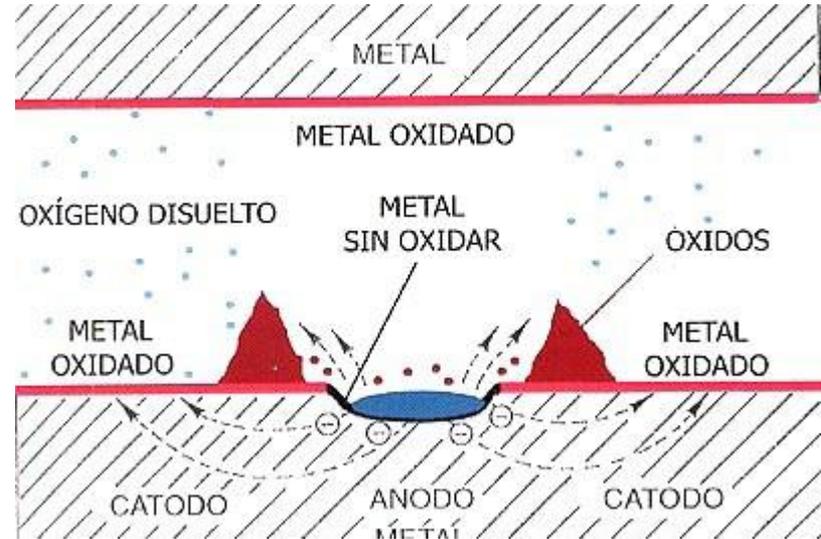
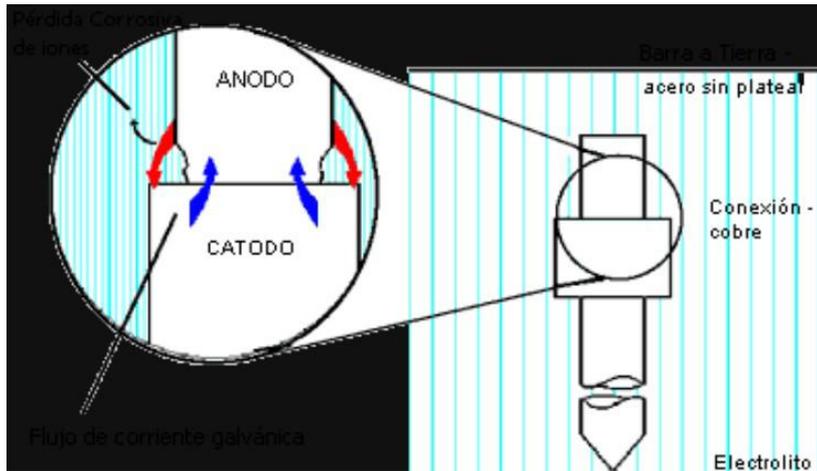
La pila de corrosión electroquímica o celda electroquímica



Electrodo de hidrógeno



Electrodo de oxígeno



Formas en que se puede producir la corrosión en los metales



Corrosión
Uniforme



Corrosión
por Esfuerzos



Corrosión
Galvánica



Corrosión
por Picaduras

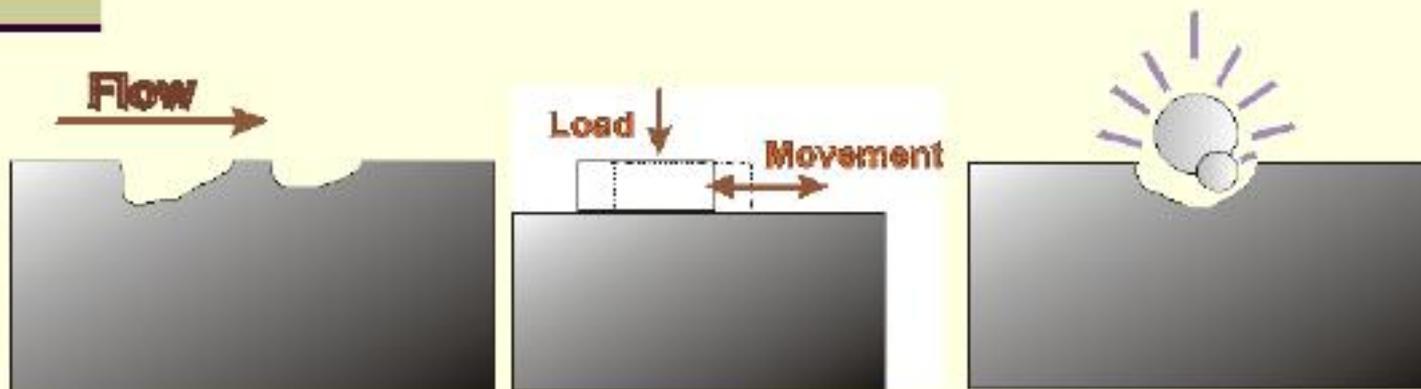
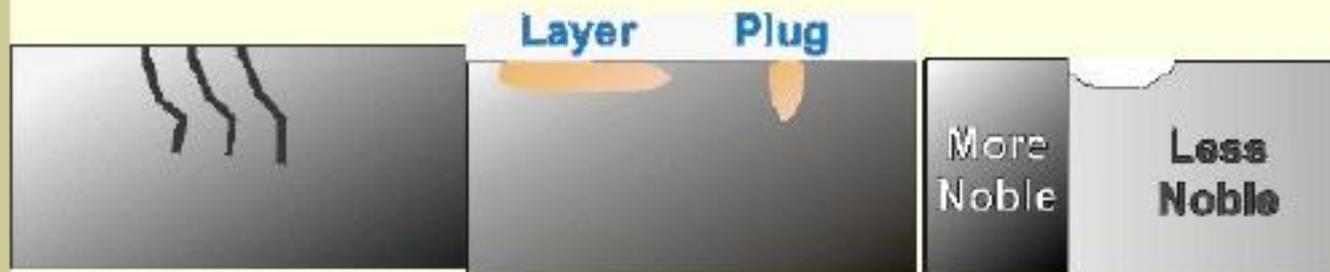
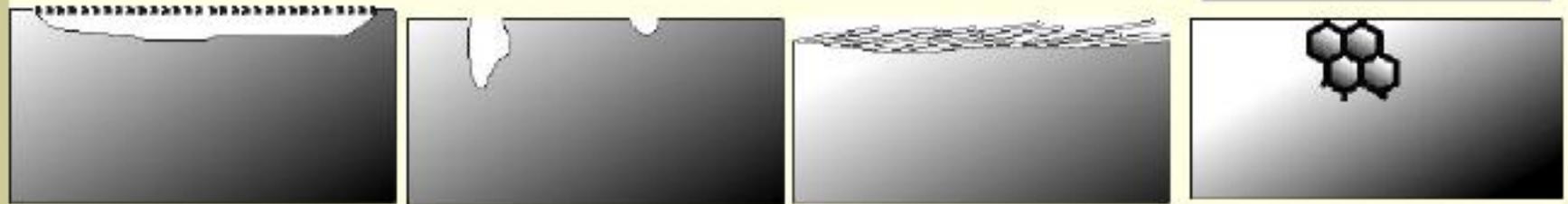


Corrosión
Intergranular

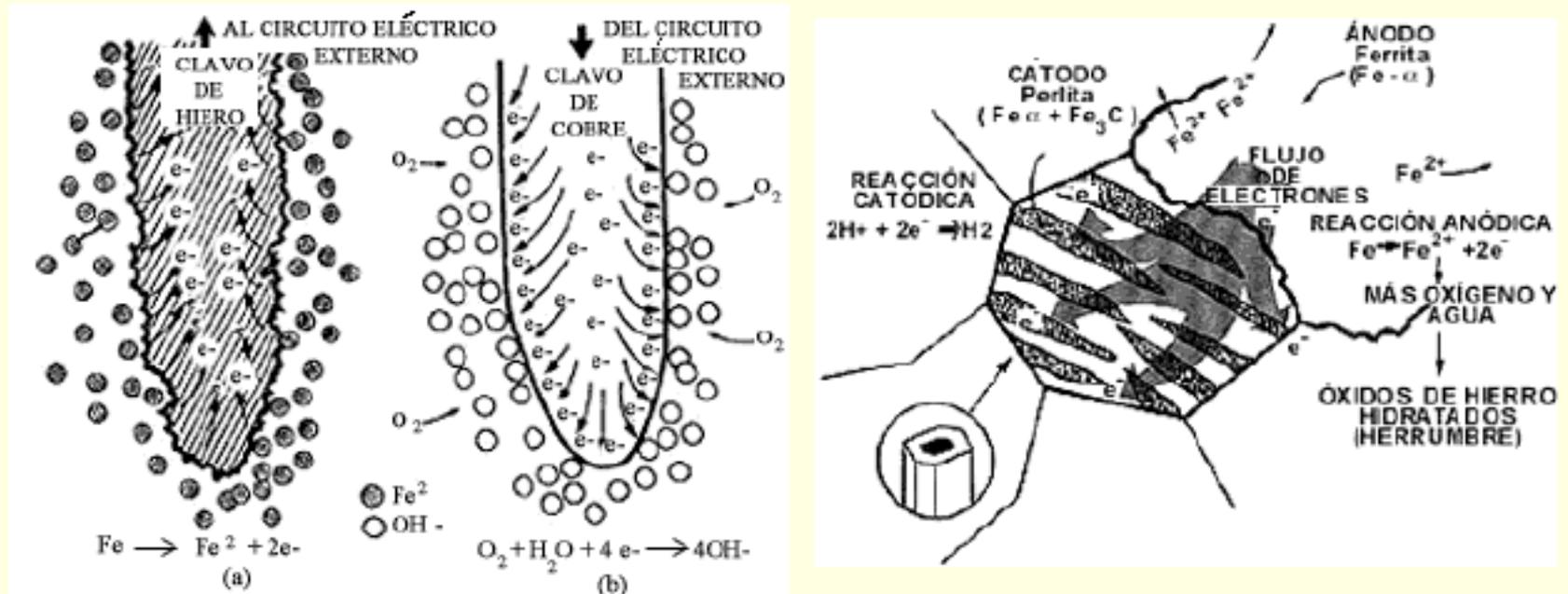


Corrosión
por Hendiduras

Tipos de corrosión



Proceso electroquímico

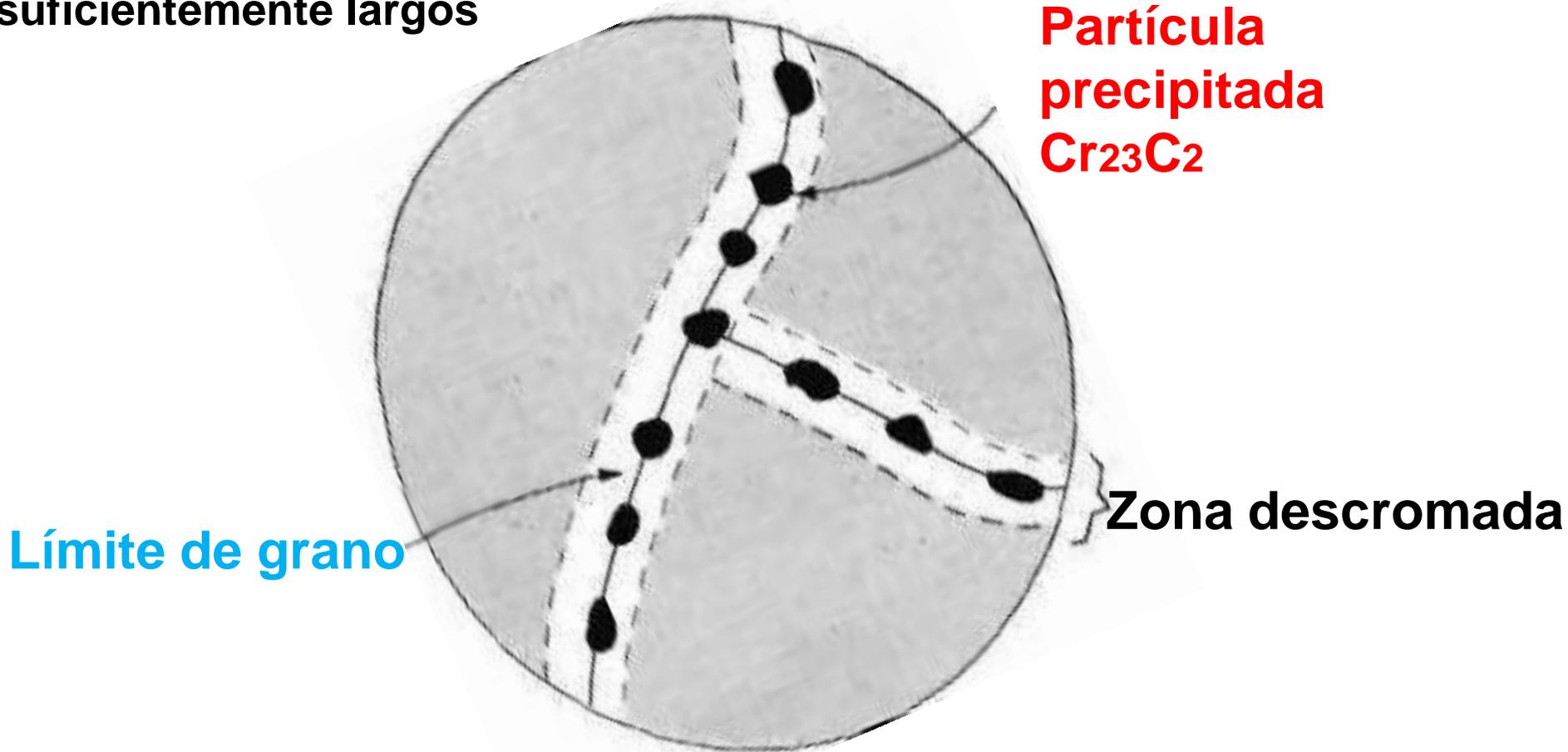


Esquema del proceso galvánico.

•Corrosión intergranular

Deterioro por corrosión localizada y/o adyacente a los bordes de grano de una aleación

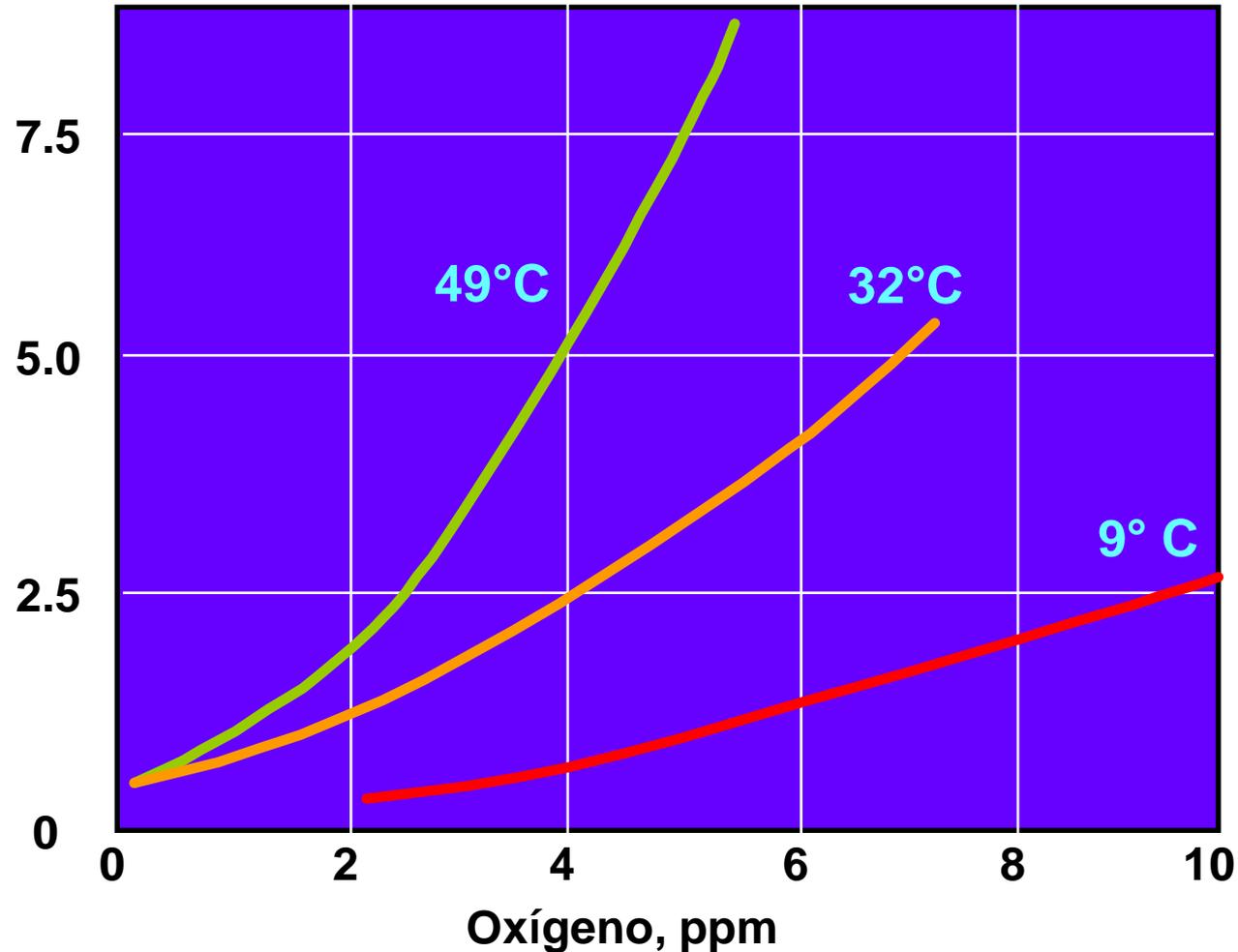
Predomina en algunos aceros inoxidable calentados a temperaturas comprendidas entre los 500 y 800°C durante períodos de tiempo suficientemente largos



EFFECTOS DE LA CONCENTRACION DE OXIGENO

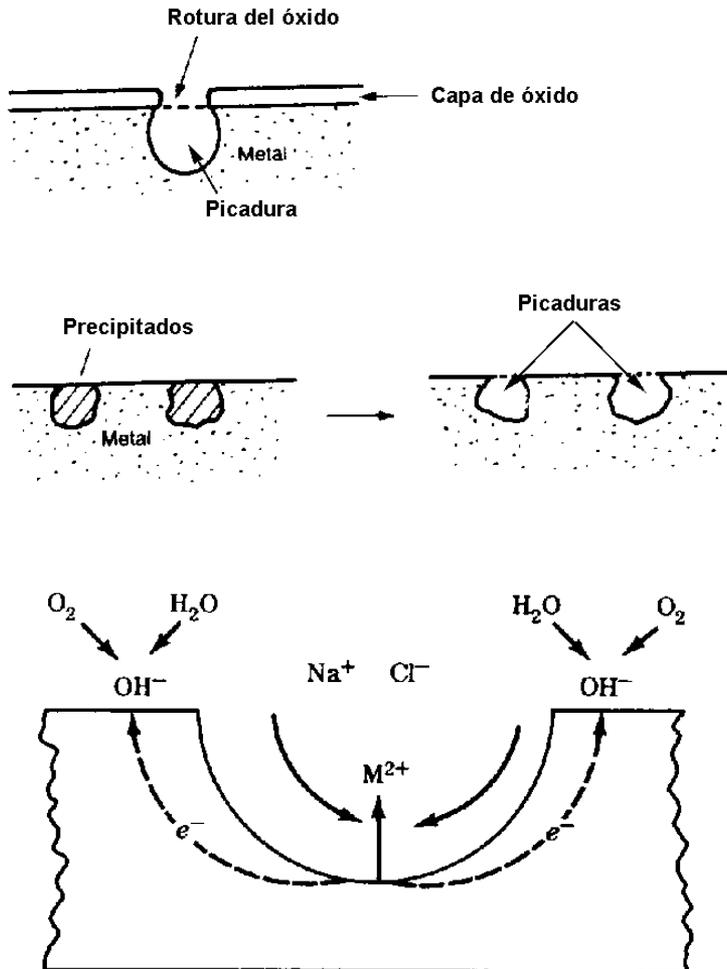
Un aumento de la Temperatura incrementa La corrosión

Velocidad de corrosión, en mm por año de penetración



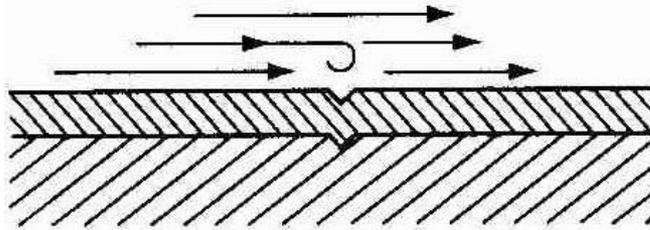
•Corrosión por picaduras

Es un ataque localizado y peligroso al ser difícil de detectar

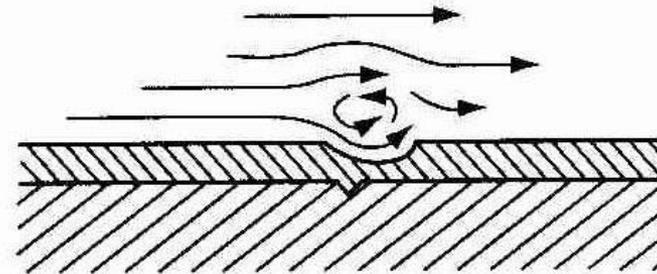


•Corrosión por erosión

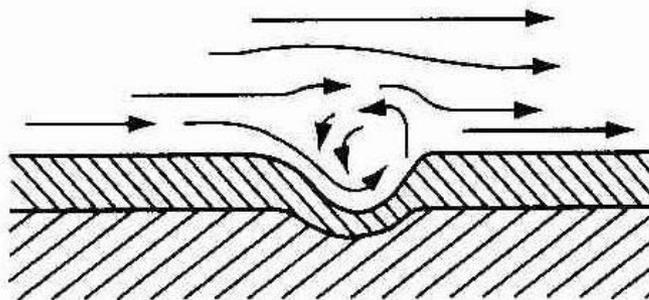
Proceso de aceleración en la velocidad de ataque corrosivo a un metal debido al movimiento relativo del fluido corrosivo con respecto a la superficie metálica
Suele presentarse en tuberías , hélices , álabes de turbinas , válvulas , bombas , etc.



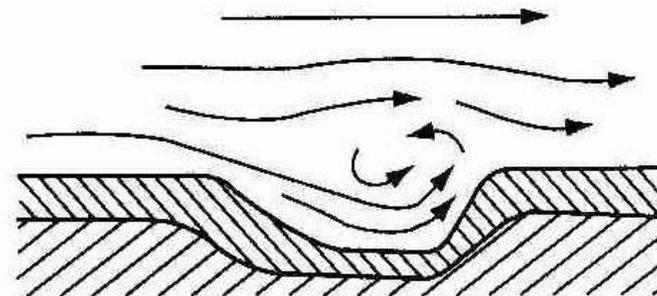
(a)



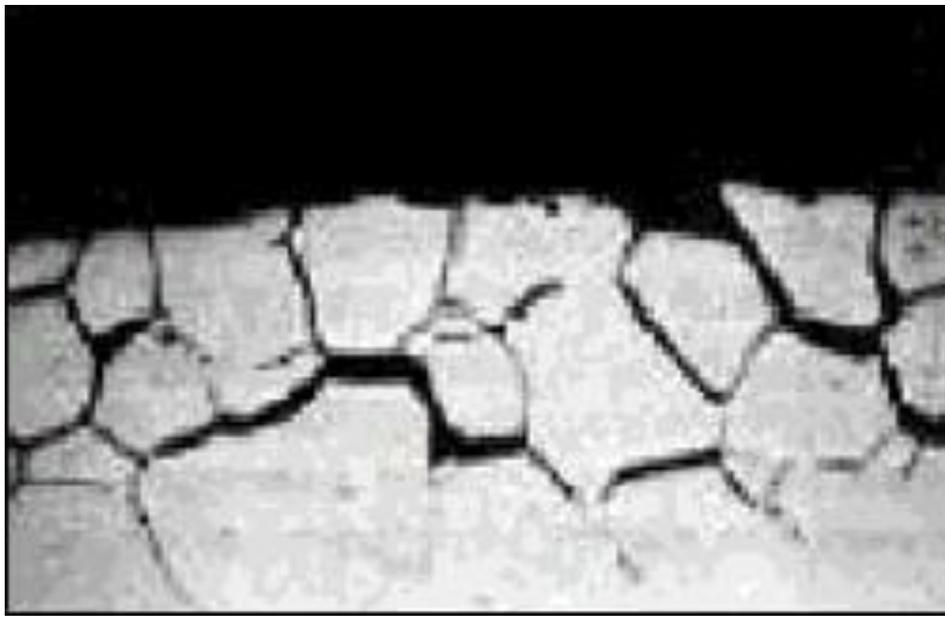
(b)



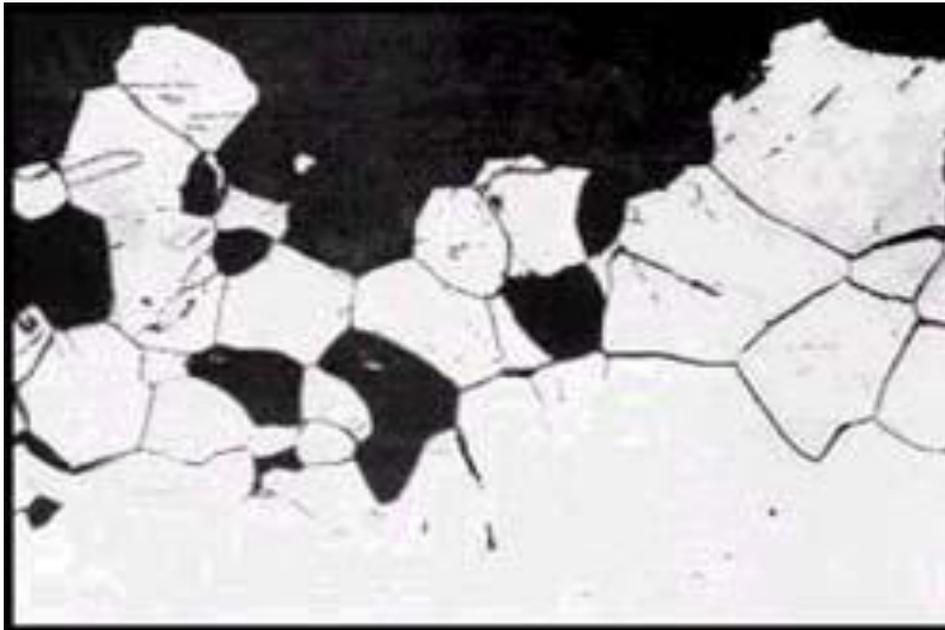
(c)



(d)



Corrosión intergranular causada por presencia de cloruros en un acero inoxidable austenítico



Corrosión





•Daño por cavitación

Es causado por la formación e implosión de burbujas de aireo cavidades llenas de vapor en un líquido que se encuentra en contacto con una superficie metálica (impulsores de bombas o propulsores de barcos)

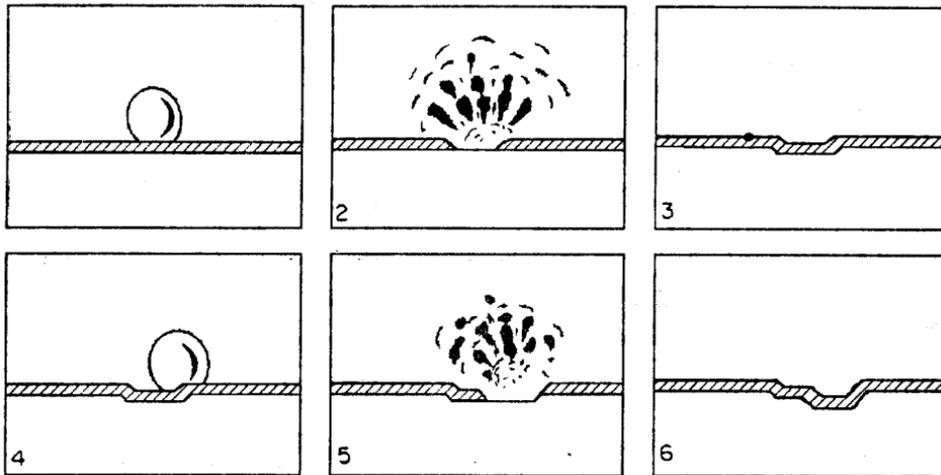
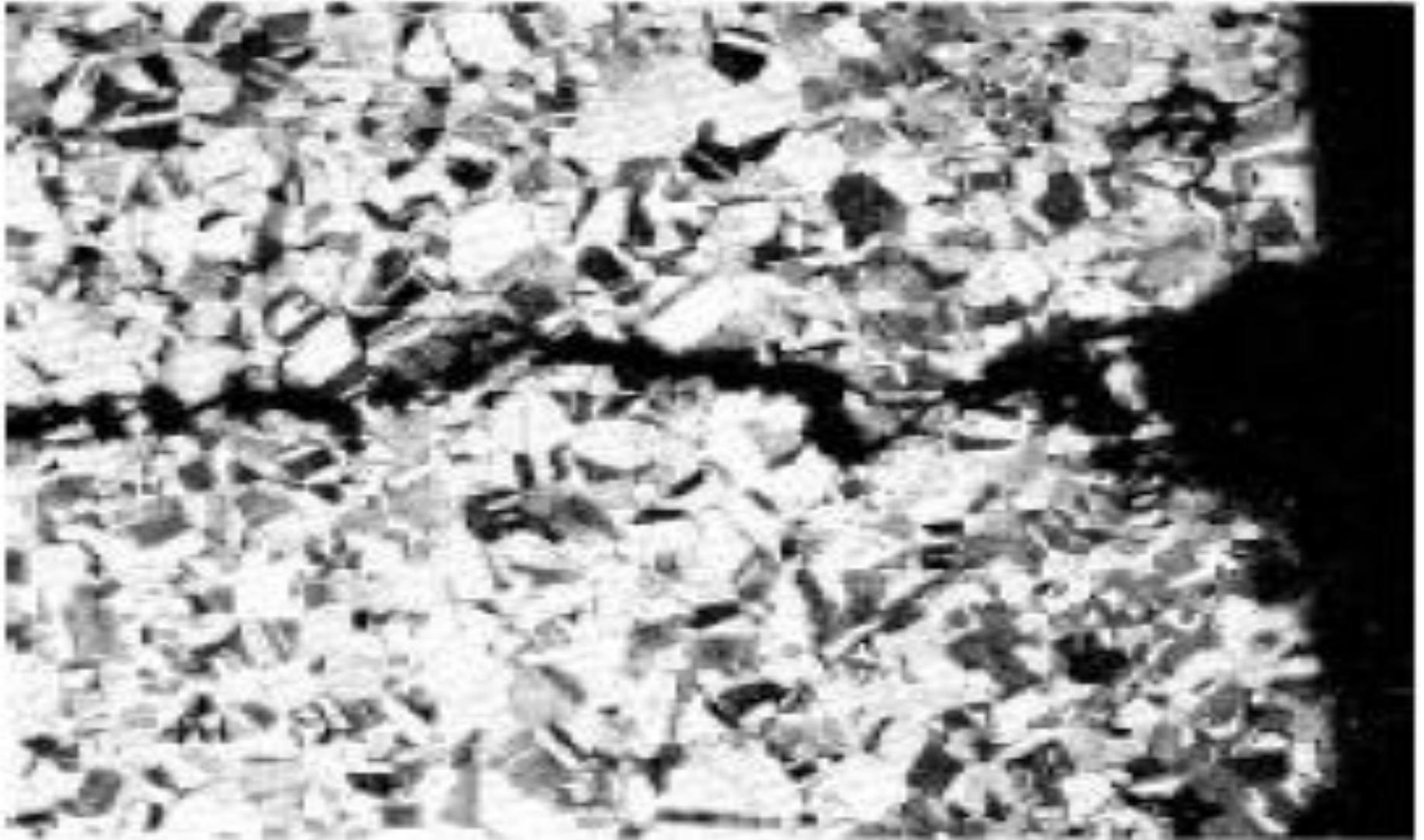


Tabla electromotriz

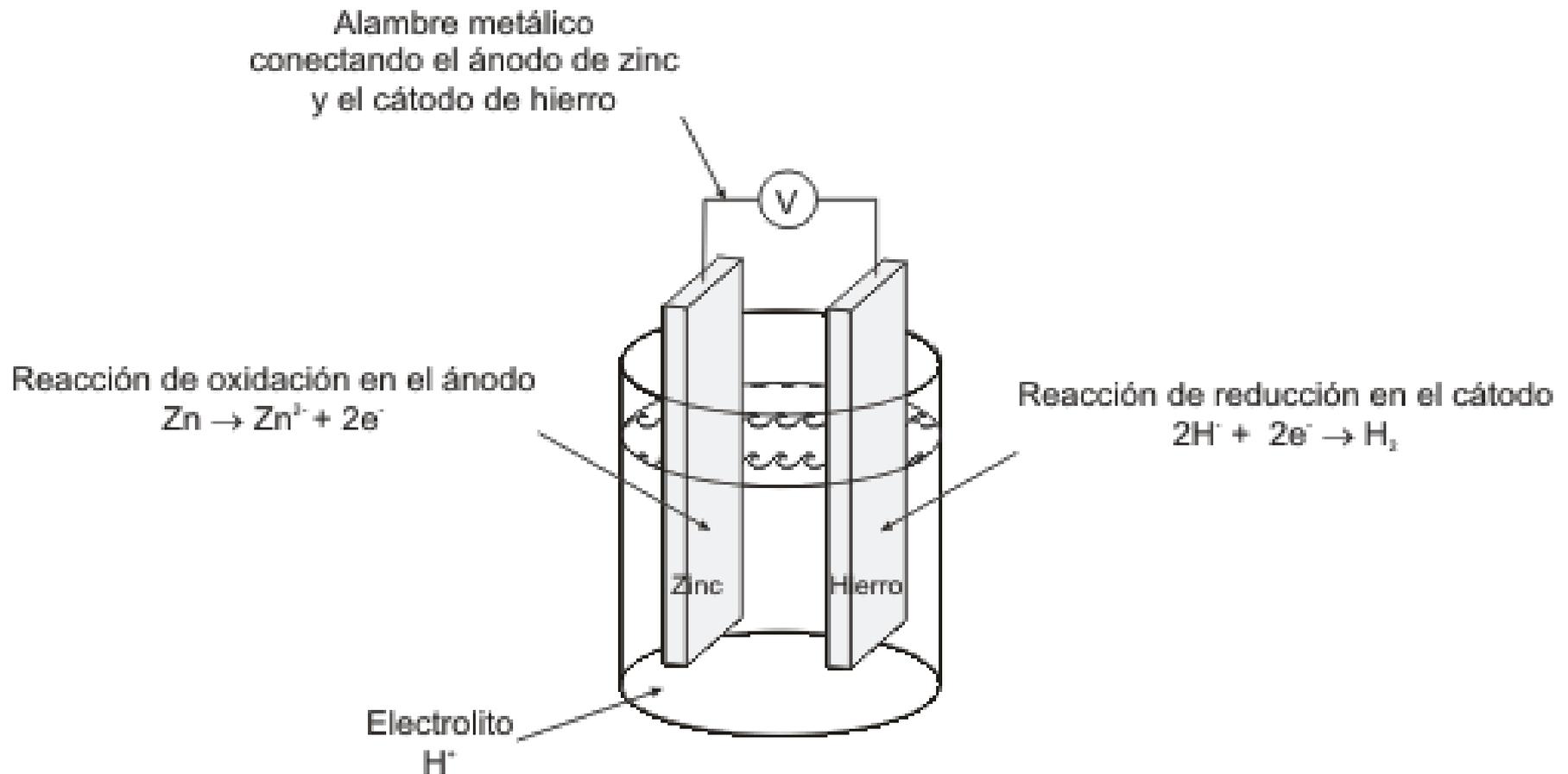
Potencial de electrodo (a 25 °C y solución 1 molar)

| ANODE HALF-CELL REACTION* | ELECTRODE POTENTIAL USED BY ELECTROCHEMISTS AND CORROSION ENGINEERS,† V | |
|--|---|--|
| $Au \rightarrow Au^{3+} + 3 e^{-}$ | +1.50 | |
| $2 H_2O \rightarrow O_2 + 4 H^{+} + 4 e^{-}$ | +1.23 | |
| $Pt \rightarrow Pt^{4+} + 4 e^{-}$ | +1.20 | |
| $Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$ | +0.80 | |
| $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$ | +0.77 | |
| $4(OH)^{-} \rightarrow O_2 + 2 H_2O + 4 e^{-}$ | +0.40 | |
| $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2 e^{-}$ | +0.34 | |
| $H_2 \rightarrow 2 H^{+} + 2 e^{-}$ | 0.000 | |
| $Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^{-}$ | -0.13 | |
| $Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2 e^{-}$ | -0.14 | |
| $Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2 e^{-}$ | -0.25 | |
| $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2 e^{-}$ | -0.44 | |
| $Cr \rightarrow Cr^{2+} + 2 e^{-}$ | -0.56 | |
| $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2 e^{-}$ | -0.76 | |
| $Al \rightarrow Al^{3+} + 3 e^{-}$ | -1.66 | |
| $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2 e^{-}$ | -2.36 | |
| $Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$ | -2.71 | |
| $K \rightarrow K^{+} + e^{-}$ | -2.92 | |
| $Li \rightarrow Li^{+} + e^{-}$ | -2.96 | |

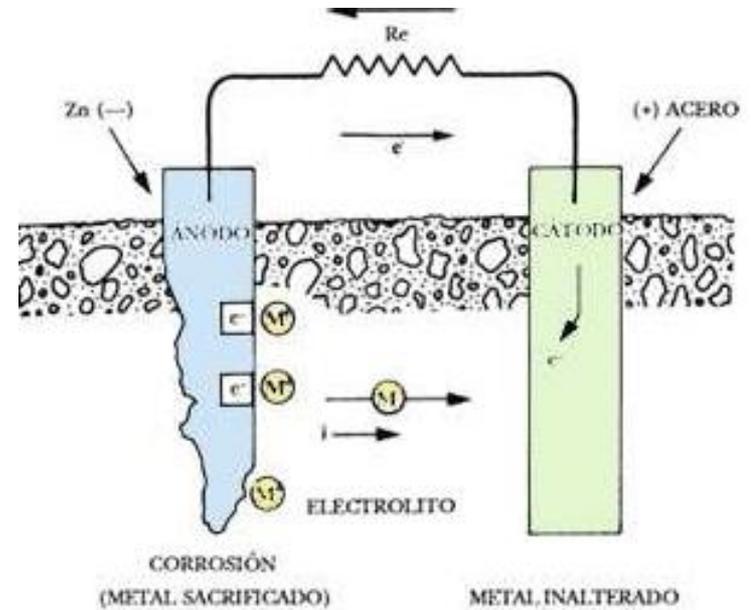
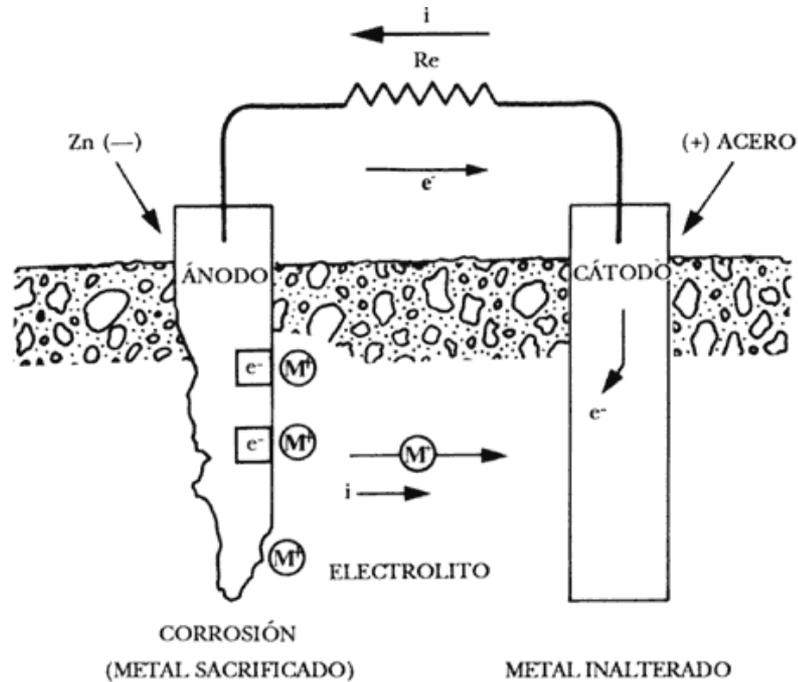
Corrosión por fisura



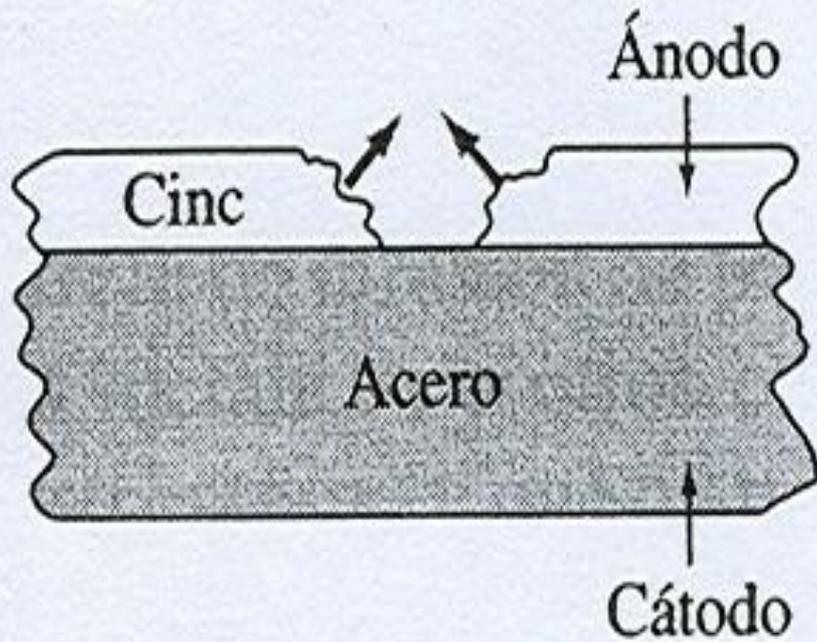
PROTECCIÓN GALVÁNICA DEL HIERRO



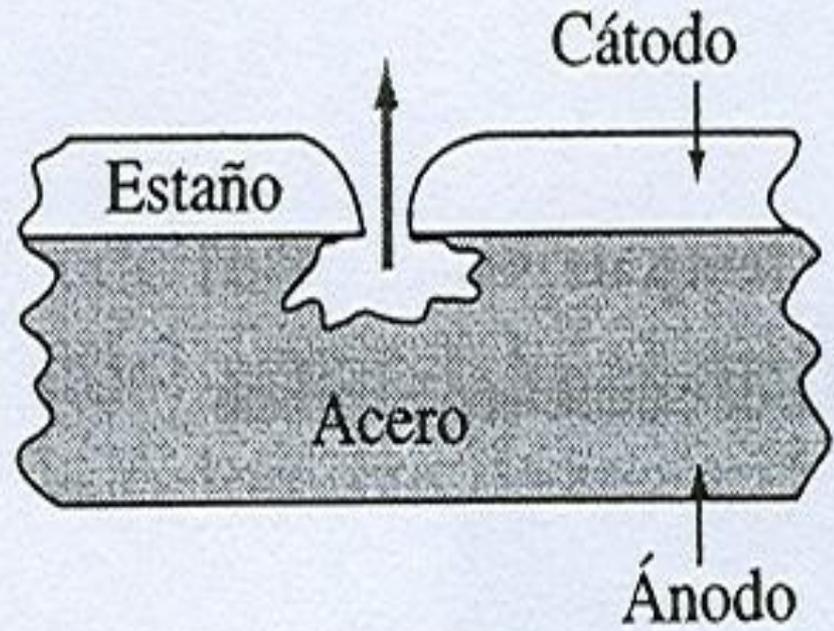
Protección catódica



Corrosión galvánica

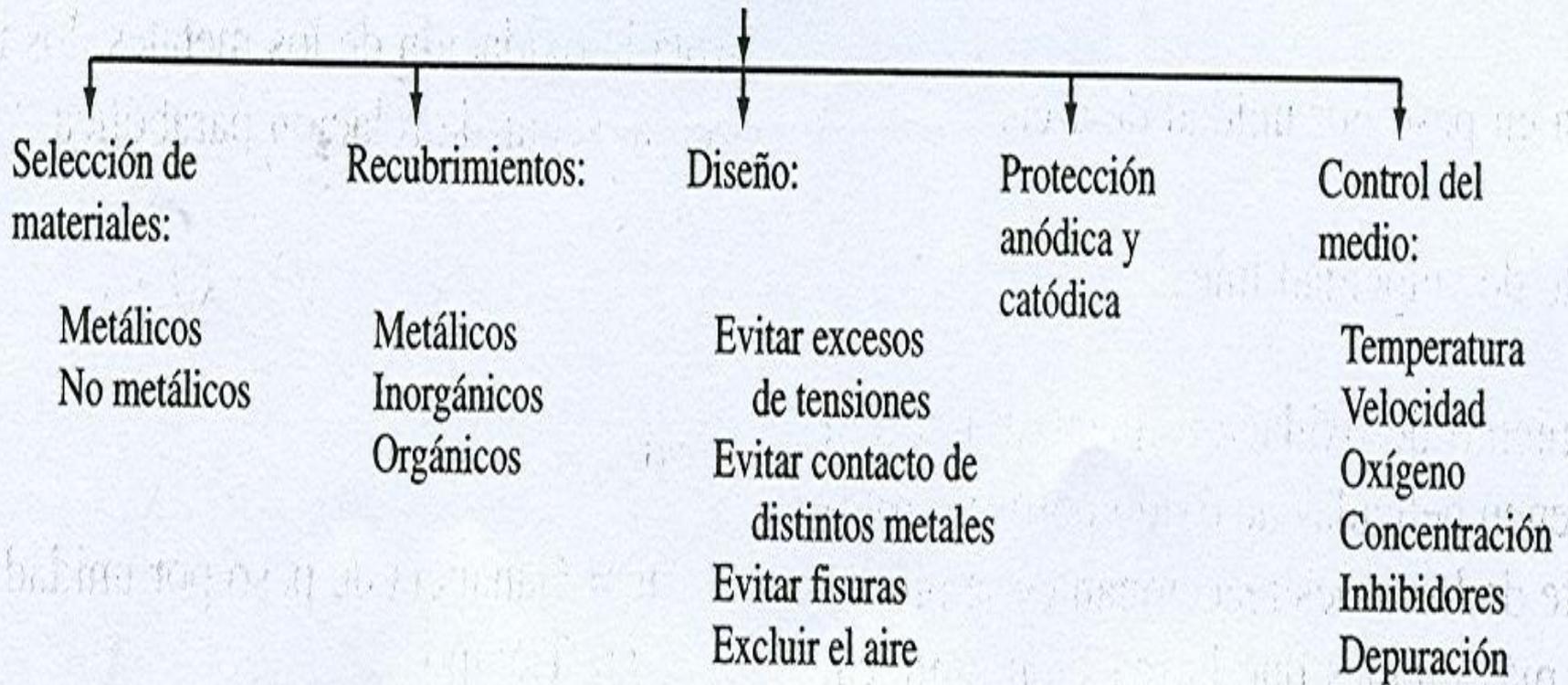


a)



b)

Control de corrosión



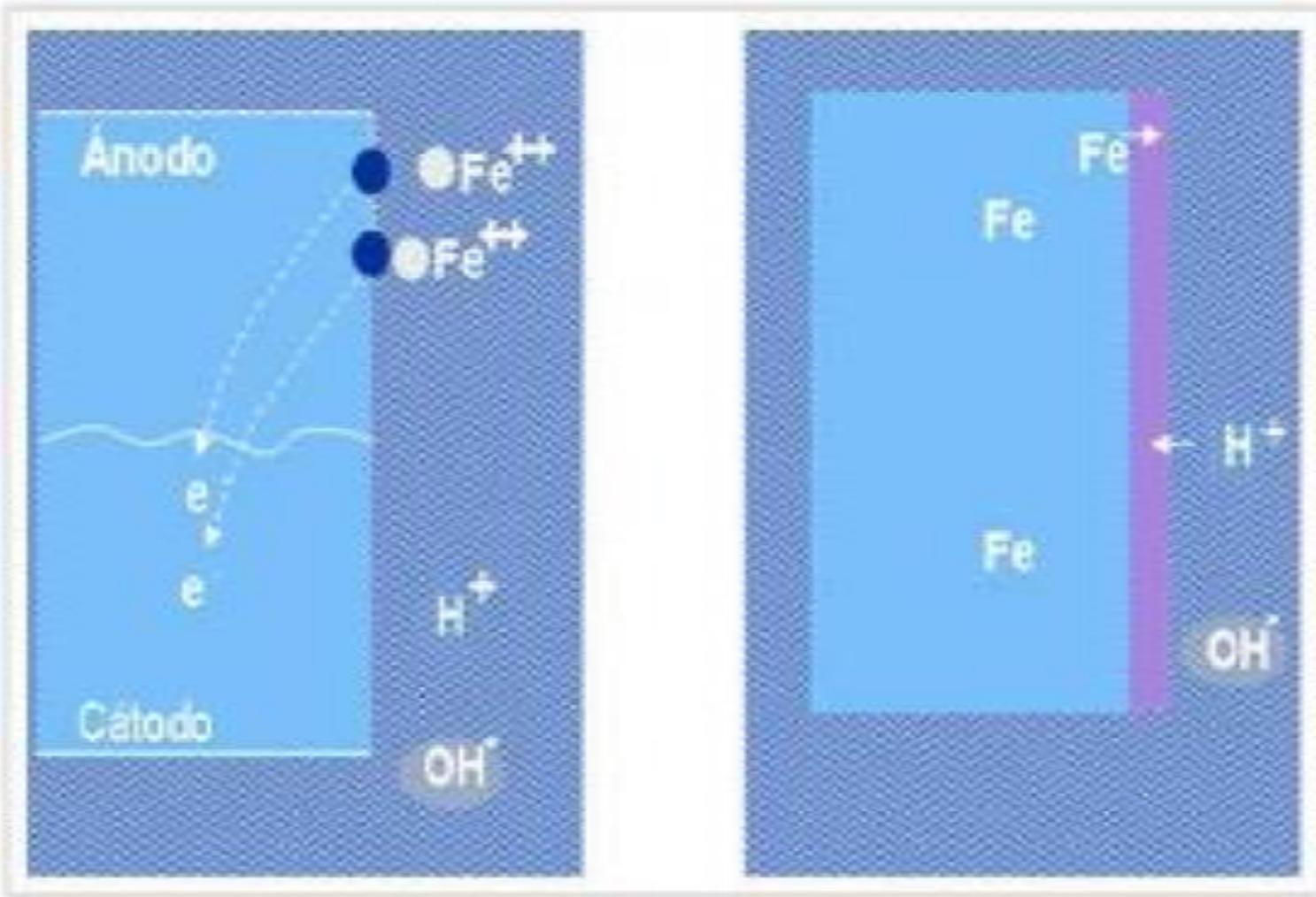
Métodos comunes de control de corrosión.

GALVANIZADO EN CALIENTE.

PROTECCIÓN CATÓDICA

- **Protección del acero mediante el establecimiento intencional de una celda galvánica, donde el acero se convierte en cátodo.**
- **Se basa en la aplicación de un metal anódico respecto al acero.**
- **Se comporta como metal de sacrificio y se corroe preferencialmente.**
- **En la serie galvánica el Zn el Al y el Mg, son anódicos respecto del hierro y del acero.**

Al modificar la superficie del metal la velocidad de corrosión disminuye porque los iones deben difundir a través de la barrera



GALVANIZADO DEL ACERO:

- **El zinc se funde a 419 °C, y para galvanizar el acero éste se sumerge en un baño de zinc metálico fundido que se encuentra a 445-450 °C. A esta temperatura, el acero y el zinc muestra gran afinidad y, por difusión, forman aleaciones Fe-Zn. El producto final es un acero protegido por un revestimiento de zinc.**

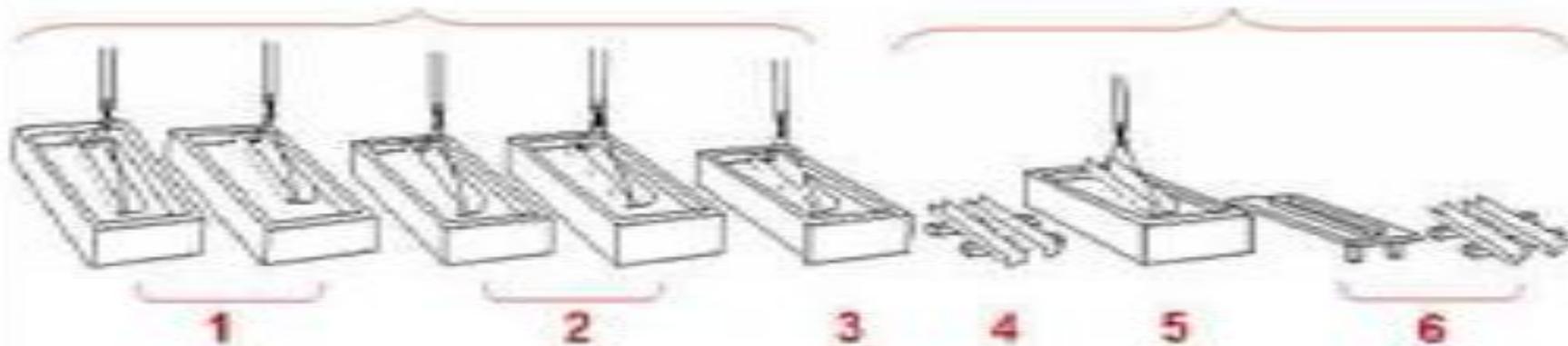
PASOS:

Pre-tratamiento:

- 1 Lavado cáustico
- 2 Decapado
- 3 Fundente (flux)

Recubrimiento:

- 4 Secado
- 5 Galvanizado
- 6 Secado e Inspección

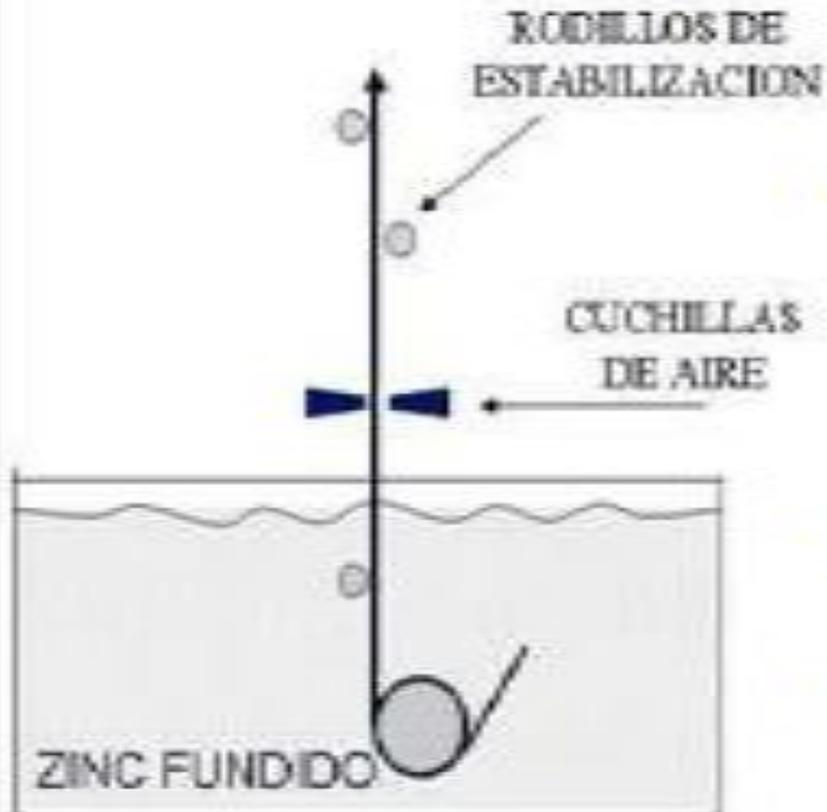


- **Lavado cáustico:** se utiliza una solución de soda cáustica caliente para remover contaminantes orgánicos como sucio, grasas y aceites, de la superficie del acero.
- **Decapado:** el óxido y la herrumbre se eliminan de la superficie utilizando una solución diluida de ácido sulfúrico caliente o de ácido clorhídrico a temperatura ambiente.

- **Fundente (flux):** Que consiste en una solución de sales de cloruros amoniacaes de zinc. El fundente elimina el óxido y previene la oxidación posterior de la superficie para asegurar que el zinc fundido pueda mojar completamente al acero.

- **Secado y Galvanizado:** El recubrimiento o galvanizado la pieza es completamente sumergida en un baño de al menos 98% de zinc fundido, que se mantiene a 454 °C durante el tiempo suficiente para que la pieza alcance la temperatura del baño. Luego la pieza es sacada lentamente del baño para escurrir completamente el exceso de zinc.

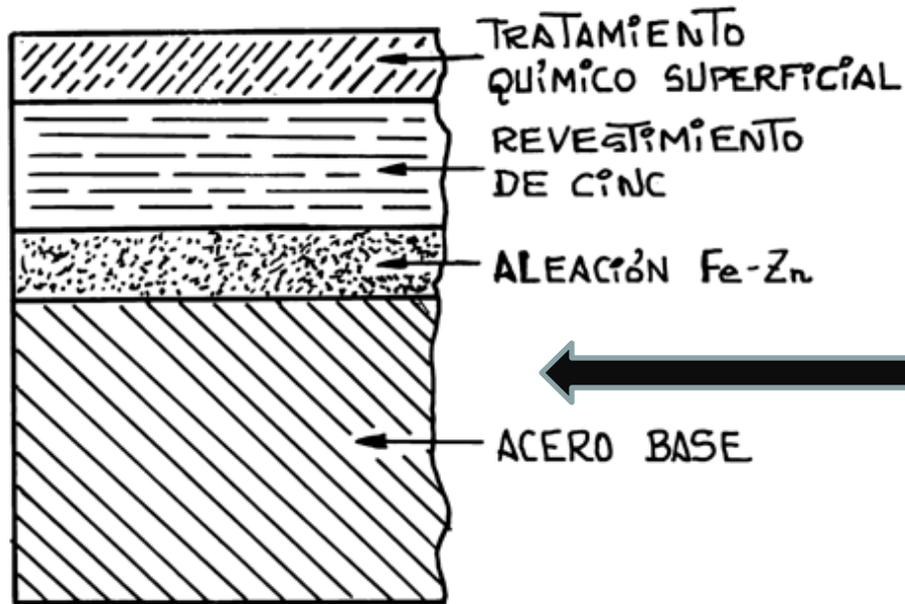
ESQUEMA EN GALVANIZADO CONTINUO.



- Pre-tratamiento
 - Lavado cáustico
 - Decapado y recocido en un horno con atmósfera reductora
- Velocidad típica de alimentación 170 - 200 m/min.
- Las cuchillas de aire mantienen el espesor del recubrimiento.

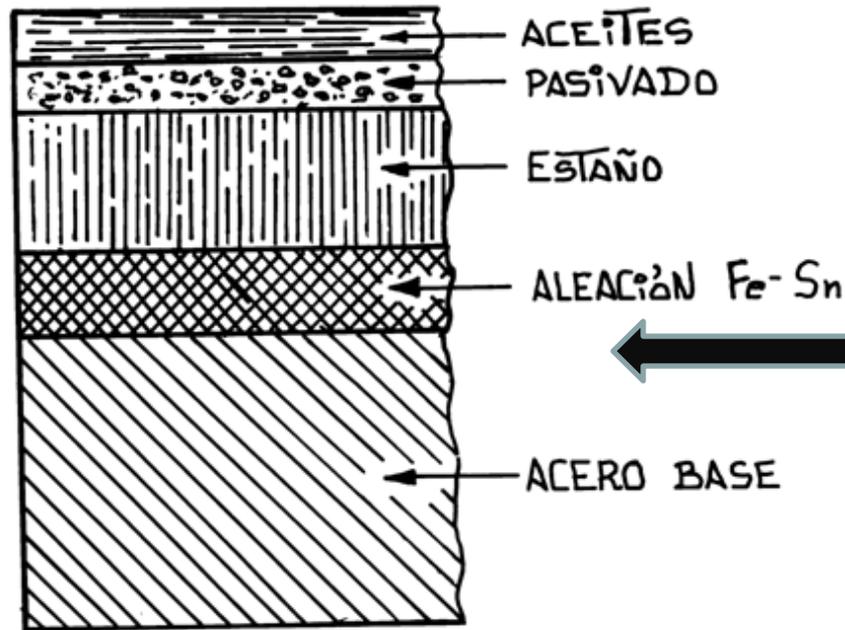
Galvanizado por Lote





Galvanización en caliente.

GALVANIZACIÓN EN CALIENTE

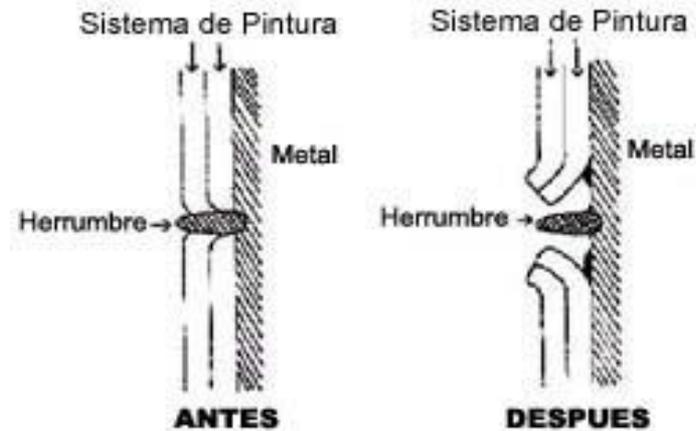


Estañado.

ESTAÑADO ELECTROLÍTICO

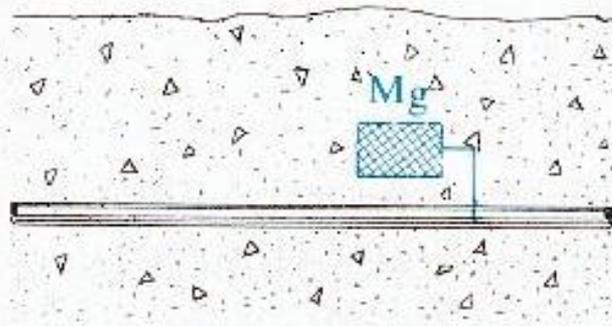


Discontinuidad de película

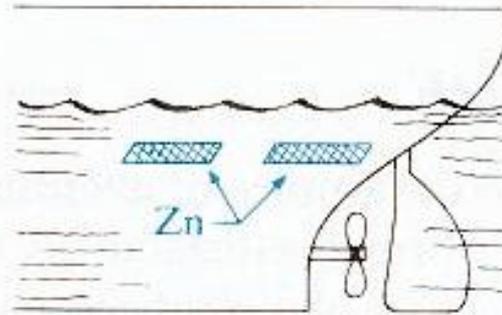


Esquema que muestra la ruptura de la película de pintura

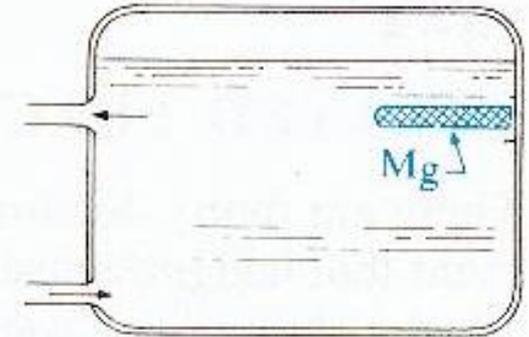
Anodos de sacrificio (material con E° más activo para proteger uno de E° menos activo)



Underground pipe

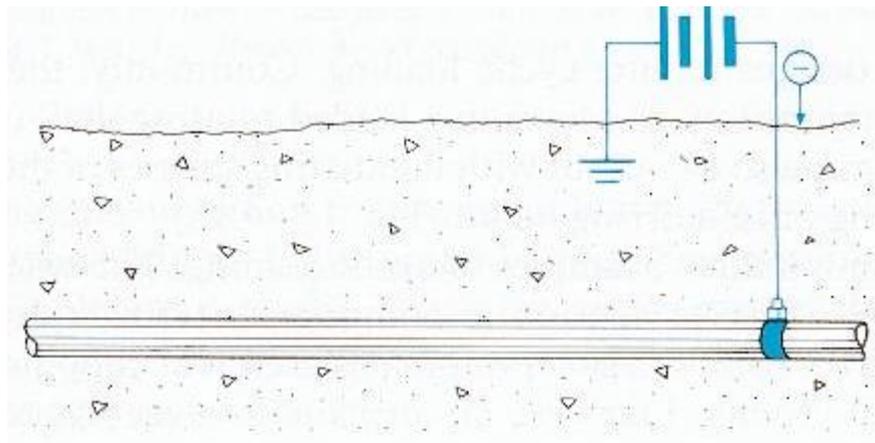


Ship

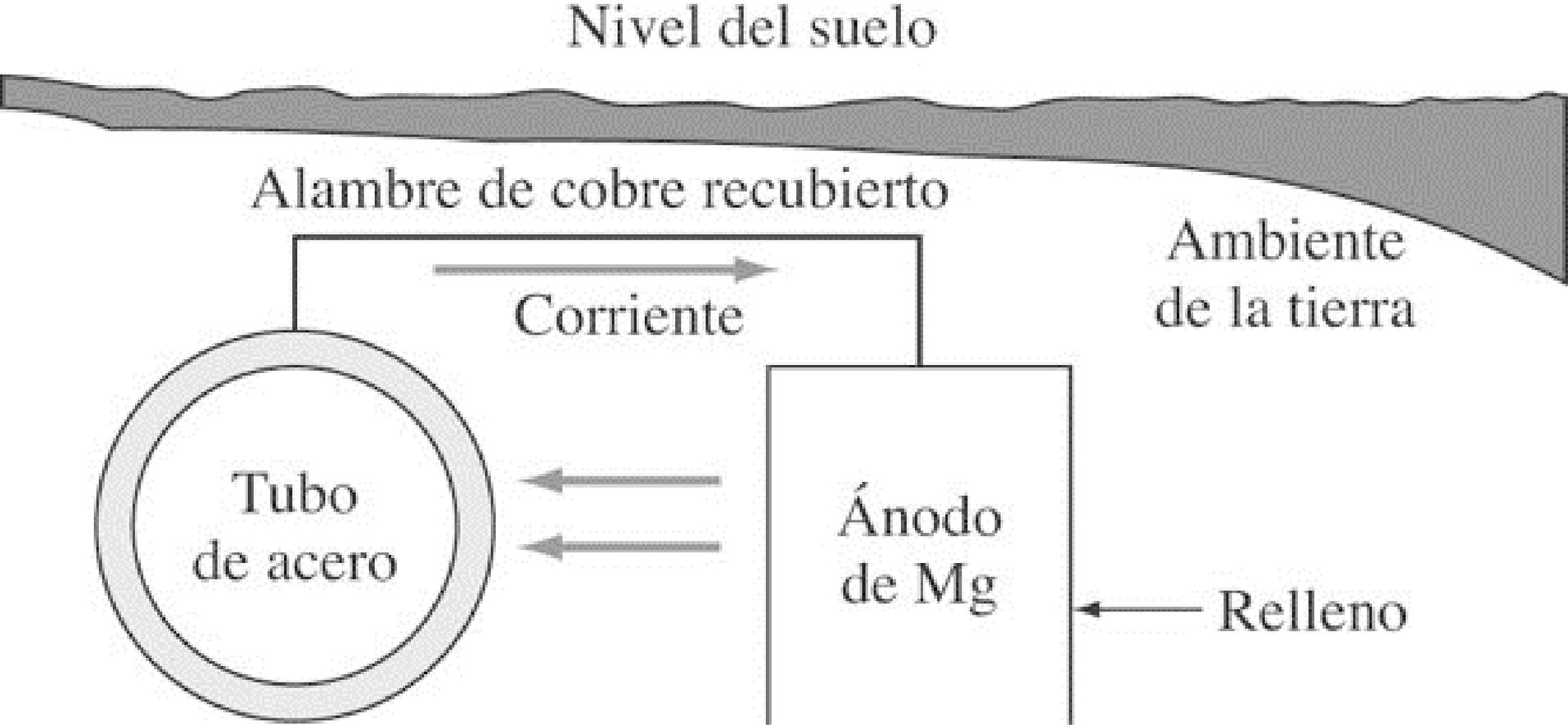


Water tank

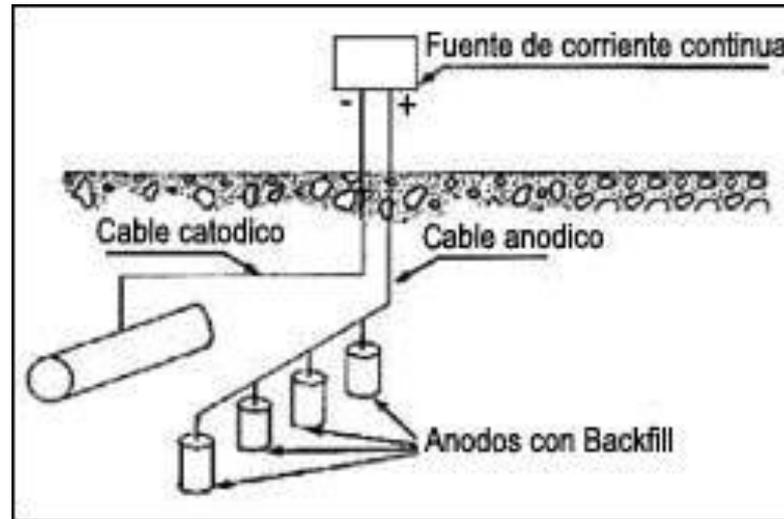
Protección catódica -voltaje aplicado (el metal se trasforma en cátodo por efecto de la fuente de electrones)



Diseño de instalación para ánodo galvánico



Esquema de protección catódica con corriente impresa de una tubería enterrada.



Ánodos de sacrificio (zinc) distribuidos a lo largo del casco



PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

- Selección del material:

Seleccionar adecuadamente el material en función del ambiente corrosivo en que vaya a trabajar  Factores económicos.

- Diseño:

Evitar en lo posible las juntas, resquicios y heterogeneidades, facilitando las operaciones de limpieza y la extracción de aire.

- Inhibidores:

Son sustancias que, adicionadas al medio en bajas concentraciones, disminuyen su agresividad al eliminar las especies químicamente activas de la disolución o neutralizar las superficies metálicas.

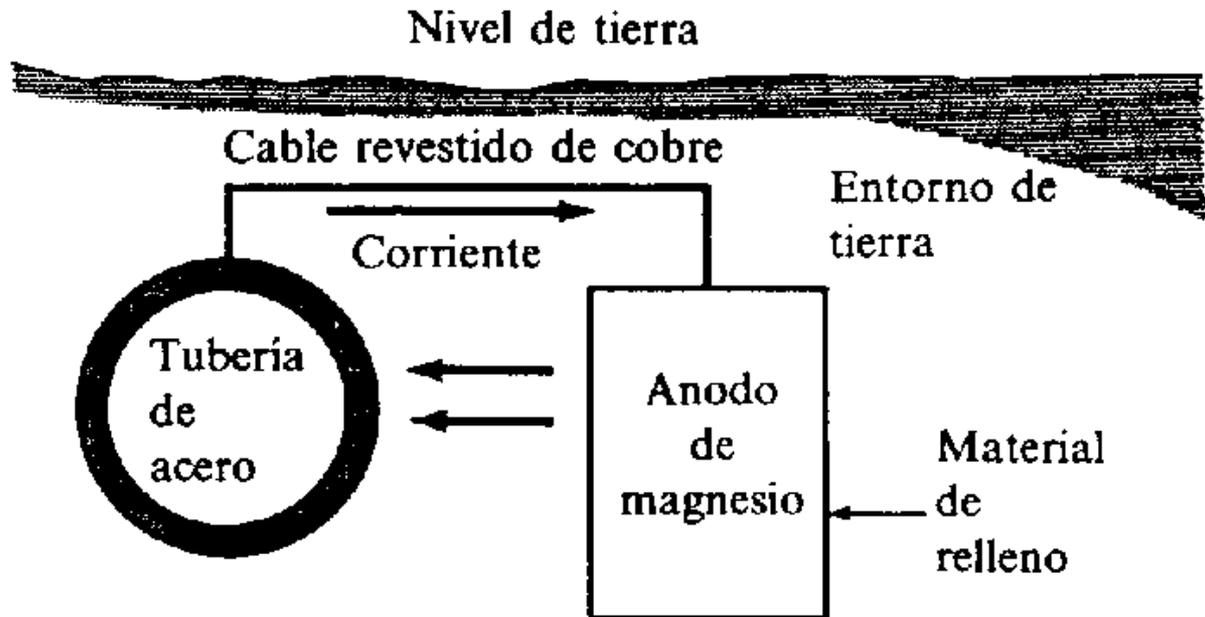
Se utilizan en sistemas cerrados como intercambiadores de calor o radiadores de automóvil.

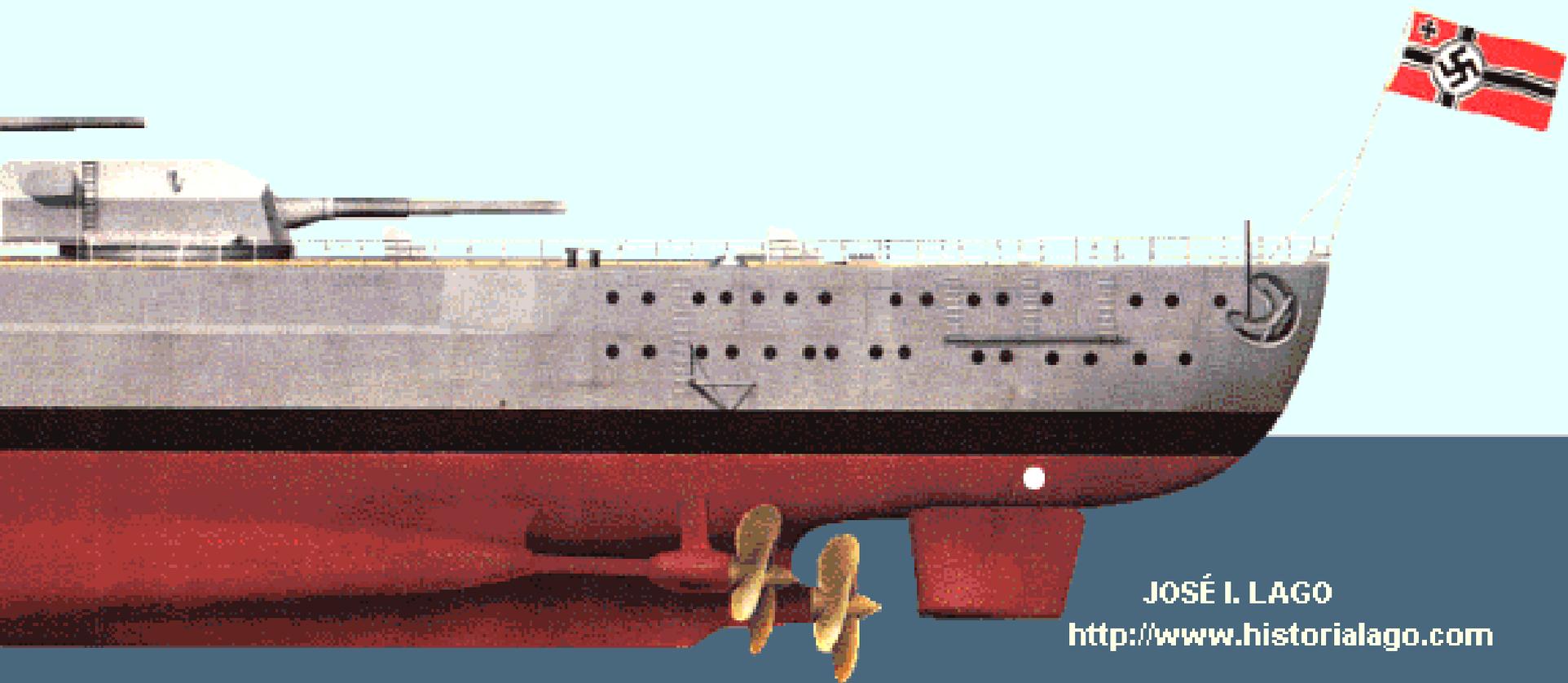
• Recubrimientos protectores:

Aplicación de barreras físicas en forma de películas y recubrimientos superficiales que impiden el acceso directo del medio agresivo al metal que se quiere proteger.

• Protección catódica:

Consiste en invertir el sentido de la reacción $M \rightarrow M_{n+} + ne^-$ por aporte electrónico externo.





JOSÉ I. LAGO
<http://www.historialago.com>