

Biotecnología del Petróleo



Mgter Ing. José Antonio Gálvez



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO
MENDOZA, ARGENTINA

BIOPROCESOS



FACULTAD
DE INGENIERÍA

TEMA 5: Corrosión microbiológica

Principios básicos de la corrosión

Principios básicos de microbiología

Corrosión microbiológica

Evaluación de MIC en campo

Bioensuciamiento

Prevención y control



Principios básicos de la corrosión

- Corrosión

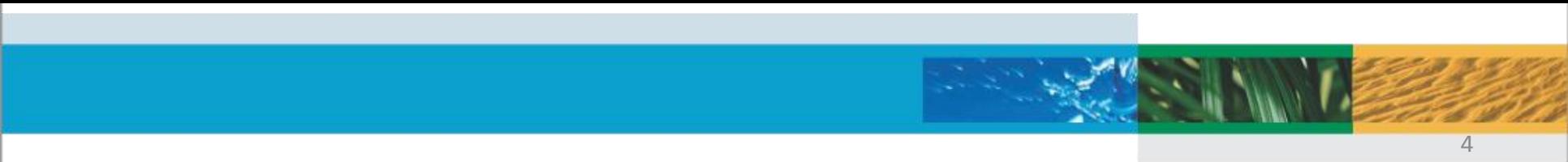
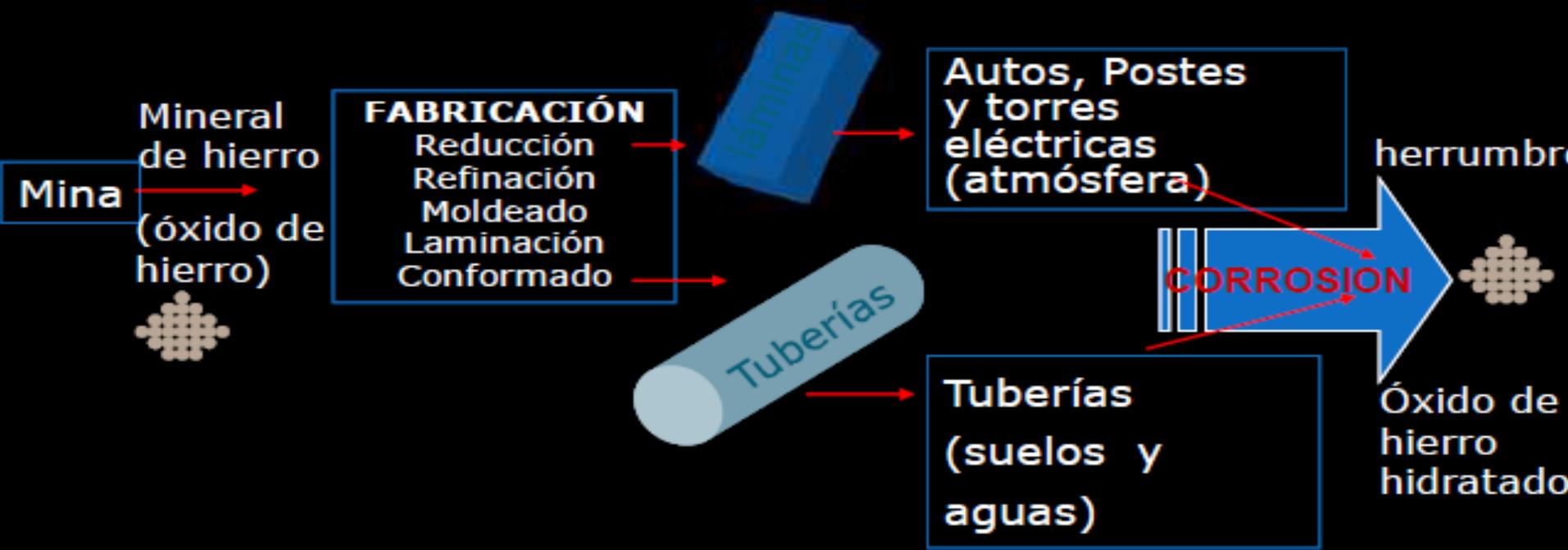
La corrosión es el deterioro que sufre un material a consecuencia de un ataque químico por su entorno. Otra definición: Es la oxidación destructiva de un metal o aleación por el medio al que se encuentra expuesto.

Se habla de corrosión cuando la oxidación o destrucción en un metal, y hablamos de degradación cuando ocurre en otros materiales

ej PFRV (Plástico reforzado con fibra de vidrio).



METALURGIA EN REVERSO



MIC

- MIC: La corrosión inducida microbiológicamente es un proceso electroquímico donde los microorganismos pueden ser capaces de iniciar o facilitar o acelerar la reacción de corrosión, por lo cual para su estudio es necesario considerar una gran cantidad de variables microbiológicas, físico-químicas y electroquímicas que permitan el establecimiento del fenómeno.

Corrosión

- Problemas
 - interrupciones en la producción
 - pérdidas de productos
 - contaminación ambiental
 - reducción en la eficiencia de procesos
 - mantenimiento
 - sobredimensionamientos
 - pérdidas de vidas humanas

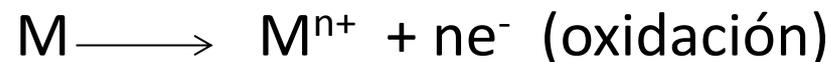


Aspectos Electroquímico, Termodinámico, Cinéticos y Metalúrgicos de la corrosión

- **Aspectos Electroquímicos básicos**

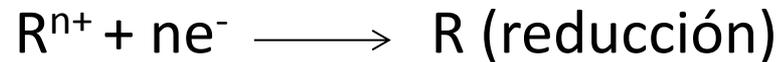
La corrosión cumple con las características de una pila o celda electroquímica.

Oxidación se refiere a la pérdida de electrones que sufre el ánodo provocando un aumento en el número de oxidación del metal.

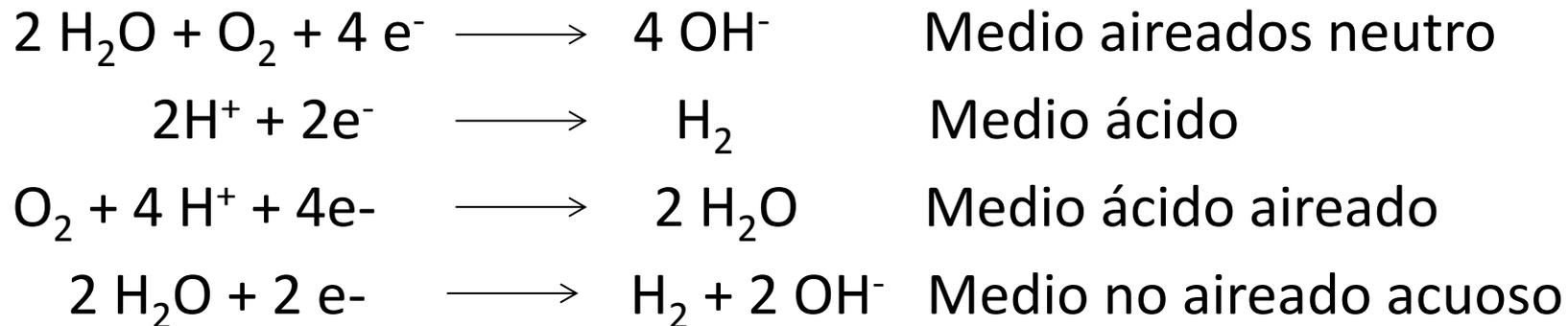


- **Aspectos Electroquímicos básicos**

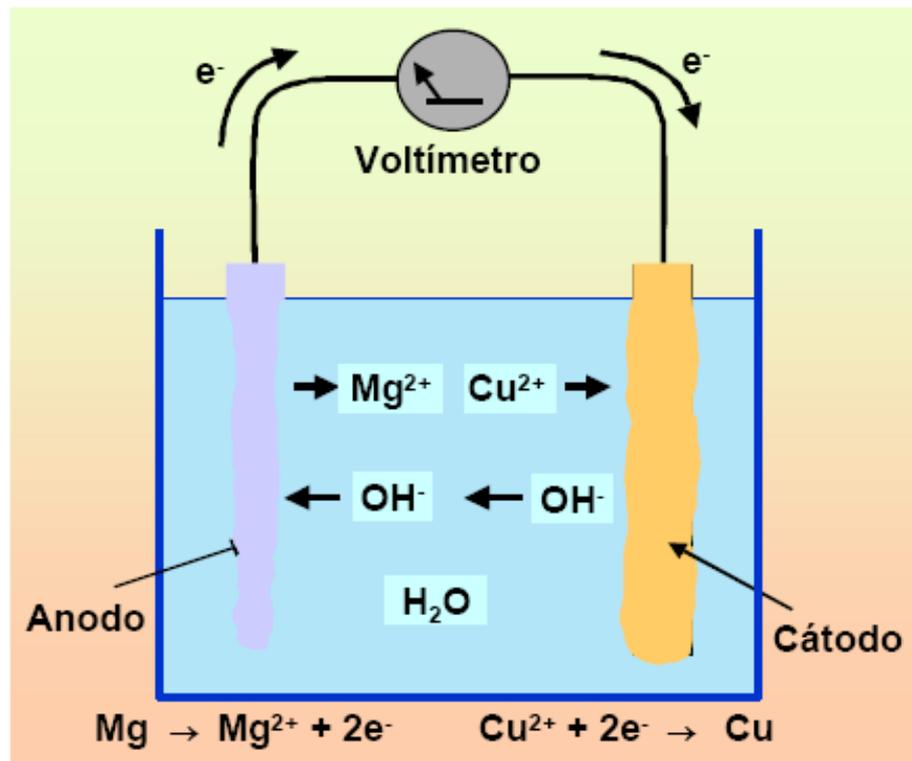
La reducción por su parte involucra la ganancia de electrones.



Ejemplos:



- Aspectos Electroquímicos básicos



Elementos:

- Electrolito: solución acuosa

- Dos electrodos de metales diferentes: ánodo y cátodo

- Conductor eléctrico

- **Aspectos Electroquímicos básicos**

Ley de Faraday «La cantidad de metal depositado o corroído es directamente proporcional a la cantidad de corriente que fluye a través del circuito»

$$W = K * I * t$$

W = cantidad de metal disuelto (gramos)

K = constante de Faraday, equivalente electroquímico (g/Coulomb)

I = Intensidad de corriente que fluye a través del circuito (Amperios)

t = Tiempo (s)



- **Aspectos Electroquímicos básicos**

Inducen a la corrosión

-Celdas Galvánicas: dos metales o electrodos de diferente electronegatividad en un electrolito común.

El mismo metal contiene pilas de acción local que inducen a su corrosión. (imperfecciones, diferencias de energía, impurezas, entre otras)

-Celdas de concentración: uno o más electrodos de un mismo material se encuentran en electrolitos diferentes.

Ej: la diferencia en concentración de O_2 o de sal produce una diferencia de potencial y da origen al flujo de corriente.

-Celdas electrolíticas: es una celda no espontánea controlada por una fuente de corriente eléctrica externa.

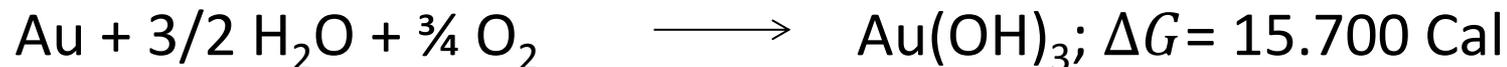
- **Aspectos Termodinámicos**

El cambio de energía libre del sistema es la fuerza impulsora de la reacción.

$$\Delta G = - n . F . E$$

Ejemplos:

Oro en agua:



Magnesio en agua:



Cobre en agua:



• Aspectos Termodinámicos

Potenciales de electrodo estándar (25°C)

Reacción del Electrodo	Potencial normal de reducción Eo (Voltios), 25 °C
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	- 3,05
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}$	- 2,93
$\text{Ca}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	- 2,87
$\text{Na}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	- 2,71
$\text{Mg}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	- 2,37
$\text{Al}^{+++} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	- 1,66
$\text{Ti}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ti}$	- 1,63
$\text{Mn}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	- 1,18
$\text{Zn}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	- 0,763
$\text{Cr}^{+++} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	- 0,74
$\text{Fe}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	- 0,440
$\text{Cd}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	- 0,403
$\text{In}^{+++} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{In}$	- 0,342
$\text{Co}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Co}$	- 0,277
$\text{Ni}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	- 0,250
$\text{Mo}^{+++} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mo}$	- 0,2 (aprox)
$\text{Sn}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	- 0,136
$\text{Pb}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	- 0,126
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0,000
$\text{Cu}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,337
$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	0,401
$\text{Hg}_2^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	0,789
$\text{Ag}^+ + 1\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	0,800
$\text{Pd}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pd}$	0,987
$\text{Hg}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Hg}$	0,854
$\text{Pt}^{++} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt}$	1,2
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1,229
$\text{Au}^{+++} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}$	1,50

Reaction	E _o (volts)
$\text{Fe} + \text{S}^2 = \text{FeS} + 2\text{e}$	-1.000
$\text{Ni} + \text{S}^2 = \text{NiS} (\alpha) + 2\text{e}$	-0.860
$\text{Cu} + 2\text{CN} = \text{Cu}(\text{CN})_2 + \text{e}$	-0.780
$\text{Cu} + \text{S}^2 = \text{CuS} + 2\text{e}$	-0.760
$\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} = \text{PbSO}_4 + 2\text{e}$	-0.560
$\text{Ag} + 2\text{CN} = \text{Ag}(\text{CN})_2 + \text{e}$	-0.290
$\text{Cu} + 4\text{NH}_3 = \text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+} + 2\text{e}$	-0.050
$\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+} + \text{e}$	+0.771
$\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}$	+1.685



Aspectos Termodinámicos

Serie Galvánica de algunos metales y aleaciones en agua de mar

Noble	Platino
	Oro
Catódico	Grafito
	Titanio
	Plata
	Chlorimet 3 (62Ni, 18Cr, 18Mo)
	Hastelloy C (62Ni, 17Cr, 15Mo)
	Acero inoxidable 18-8, Mo (pasivo)
	Acero inoxidable 18-8,(pasivo)
	Aceros inoxidables al cromo, 11-30% Cr (pasivo)
	Inconel (80Ni, 13Cr, 7Fe) (pasivo)
	Níquel (pasivo)
	Soldadura de plata
	Monel (70Ni, 30Cu)
	Cuproníquels (60-90Cu, 40-10Ni)
	Bronces (Cu-Sn)
	Cobre
	Latón (Cu-Zn)
	Chlorimet 2 (66Ni, 32Mo, 1Fe)
	Hastelloy B (60Ni, 30Mo, 6Fe, 1Mn)
	Inconel (activo)
	Níquel (activo)
	Estaño
	Plomo
	Soldaduras de Estaño – Plomo
	Acero inoxidable 18-8, Mo (activo)
	Acero inoxidable 18-8,(activo)
	Ni – Resistente al hierro de fundición de alto Ni
	Acero inoxidable al Cromo – 13%Cr (activo)
	Hierro de fundición
	Acero o hierro
	Aluminio 2024 (4,5Cu, 1,5Mg, 0,6Mn)
	Cadmio
Activo	Aluminio comercialmente puro (1100)
	Cinc
Anódico	Magnesio



- Aspectos Cinéticos

Los sistemas en corrosión no están en equilibrio, por lo tanto los potenciales termodinámicos no nos informan sobre las velocidades de corrosión.

$$W = K * I * t$$

La desviación del equilibrio termodinámico es lo que se denomina polarización.

(polarización es la desviación del valor del potencial del metal con respecto a un potencial de equilibrio como consecuencia del paso de una corriente neta)

- Aspectos Metalúrgicos

La corrosión de metales depende de factores metalúrgicos tales como: composición, impurezas, defectos, rugosidad superficial, trabajos en frío o en caliente, dureza, etc.



Crterios de velocidad de corrosión

NACE INTERNATIONAL , THE CORROSION SOCIETY

SP0775-2103

Table 2
Qualitative Categorization of Carbon Steel Corrosion Rates for Oil Production Systems

	Average Corrosion Rate		Maximum Pitting Rate (See Paragraph 2.5)	
	mm/y ^(A)	mpy ^(B)	mm/y	mpy
Low	< 0.025	< 1.0	< 0.13	< 5.0
Moderate	0.025–0.12	1.0–4.9	0.13–0.20	5.0–7.9
High	0.13–0.25	5.0–10	0.21–0.38	8.0–15
Severe	> 0.25	> 10	> 0.38	> 15

^(A) mm/y = millimeters per year

^(B) mpy = mils per year

Medición con herramientas, O₂ disuelto, H₂S disuelto, Fe⁺⁺ disuelto,
 medir con cupones, medición en tiempo real.

Tipos de corrosión

- Corrosión uniforme
- Corrosión localizada
- Corrosión por espacios confinados
- Corrosión Galvánica
- Corrosión intergranular
- Corrosión bajo tensión



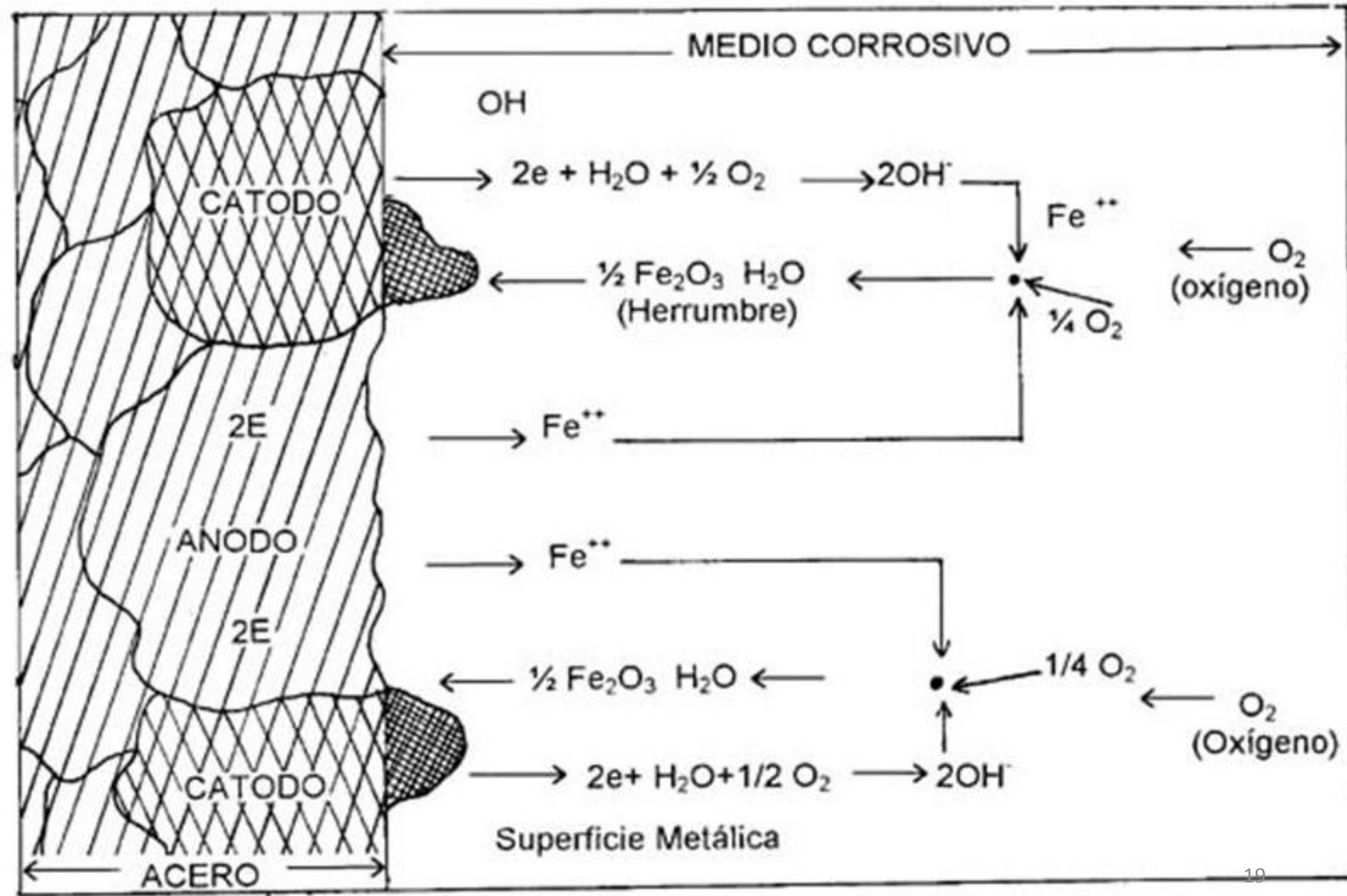
Corrosión uniforme

La corrosión generalizada es el ataque corrosivo dominado por una reducción uniforme del espesor de pared.

Ej: aceros al carbono y aceros de baja aleación



Mecanismo de Acción para explicar la Corrosión Uniforme.



Corrosión localizada

Las formas de corrosión localizada (picaduras, espacios confinados y corrosión microbiológica) tienen la característica común que se producen de manera puntual en lugar de distribuirse uniformemente sobre la superficie del metal.

El ataque puede ser difícil de detectar debido a que la mayor parte del metal se aprecia sin daños.



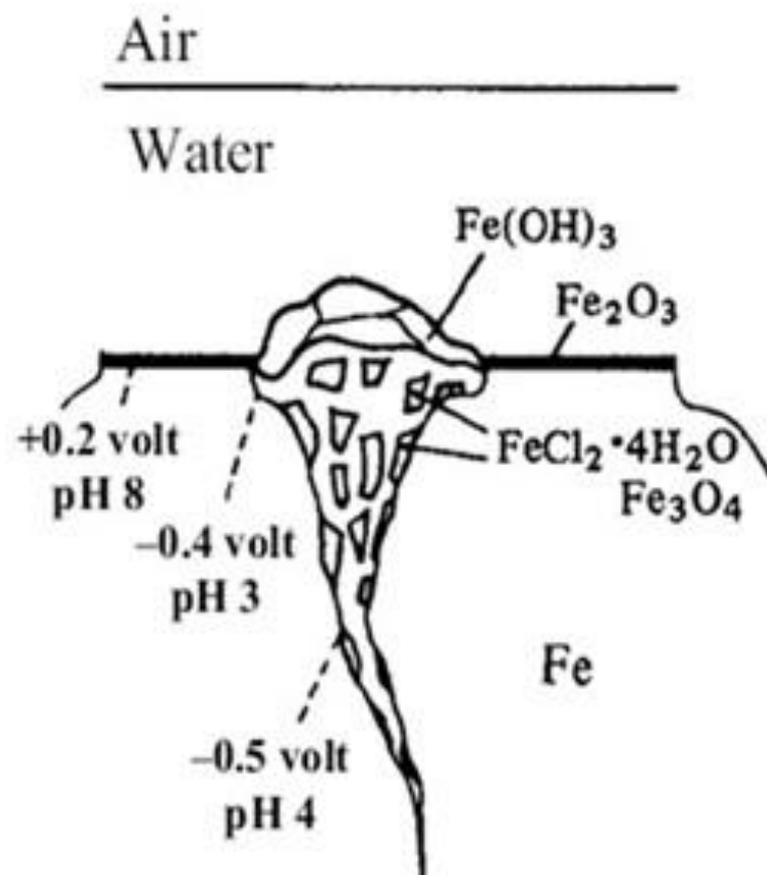
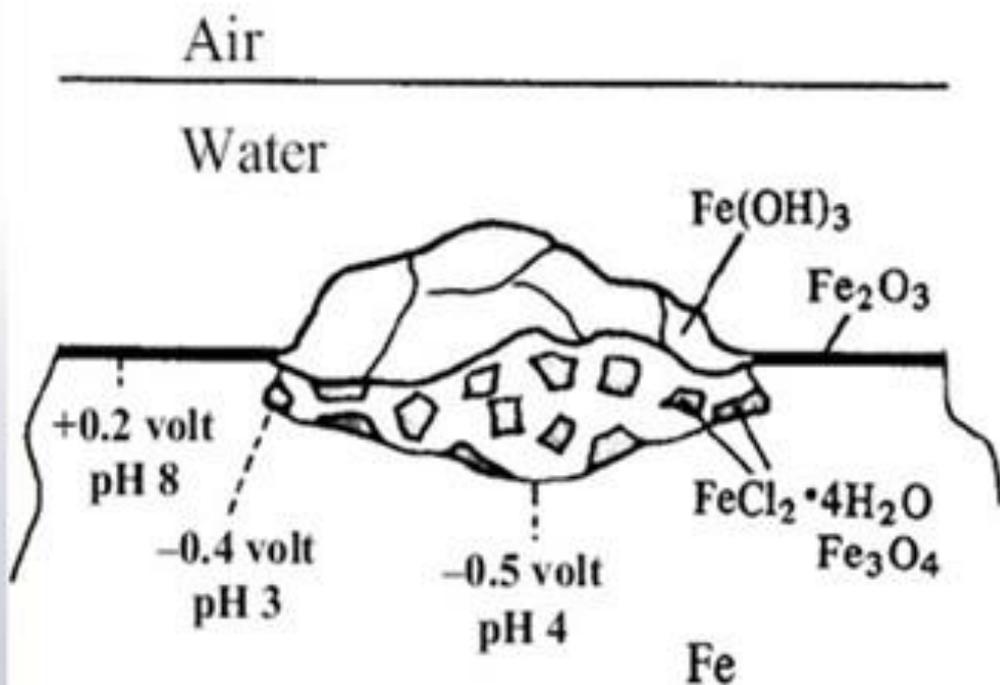
Corrosión localizada

Inicio

- Una celda de concentración localizada
- Sedimentos sobre la superficie (precipitado de sales)
- Imperfecciones localizadas, superficiales (rayas)
- Impurezas del metal (inclusiones)



Mecanismo de Acción de la Corrosión por Picadura y Fractura:



Corrosión por espacios confinados

La presencia de aberturas estrechas o brechas entre componentes metal-metal o metal-no metal puede dar lugar a procesos de corrosión localizada en estos sitios.

De igual forma, espacios confinados no intencionales tales como, grietas y otros defectos metalúrgicos pueden servir de lugar de iniciación de corrosión localizada.



- **Corrosión por espacios confinado**

Huecos

Juntas remachadas

Cubiertas porosas

Contacto metal/no metal

Empaquetaduras

Depósitos

Arena

suciedad

productos de corrosión



- Características:

La resistencia a esta corrosión puede variar de sistema «aleación-ambiente» a otro.

Aleaciones pasivas como aceros inoxidable son más susceptibles a esta corrosión que los que tienen un comportamiento mas activo.

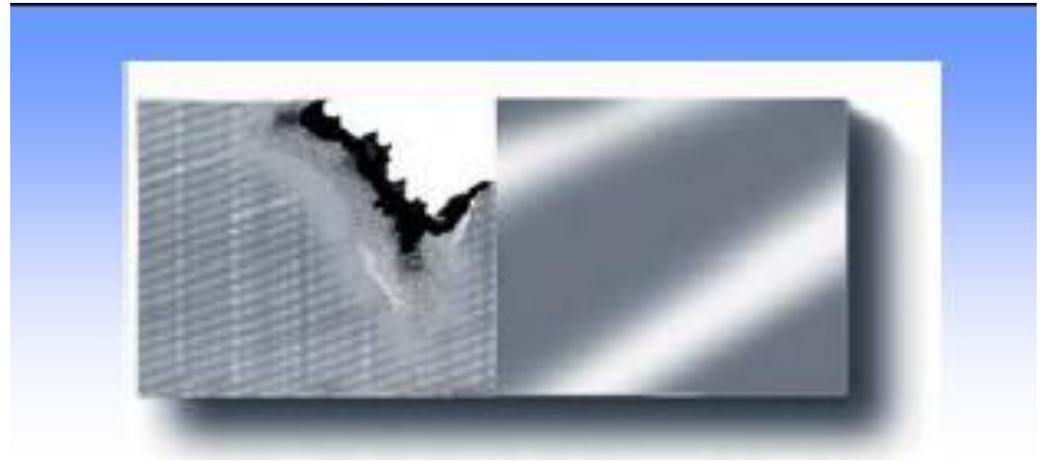
Proceso de incubación largo: 1 a 6 años

Una vez iniciado la **Velocidad de corrosión** incrementa rápidamente (proceso autocatalítico)



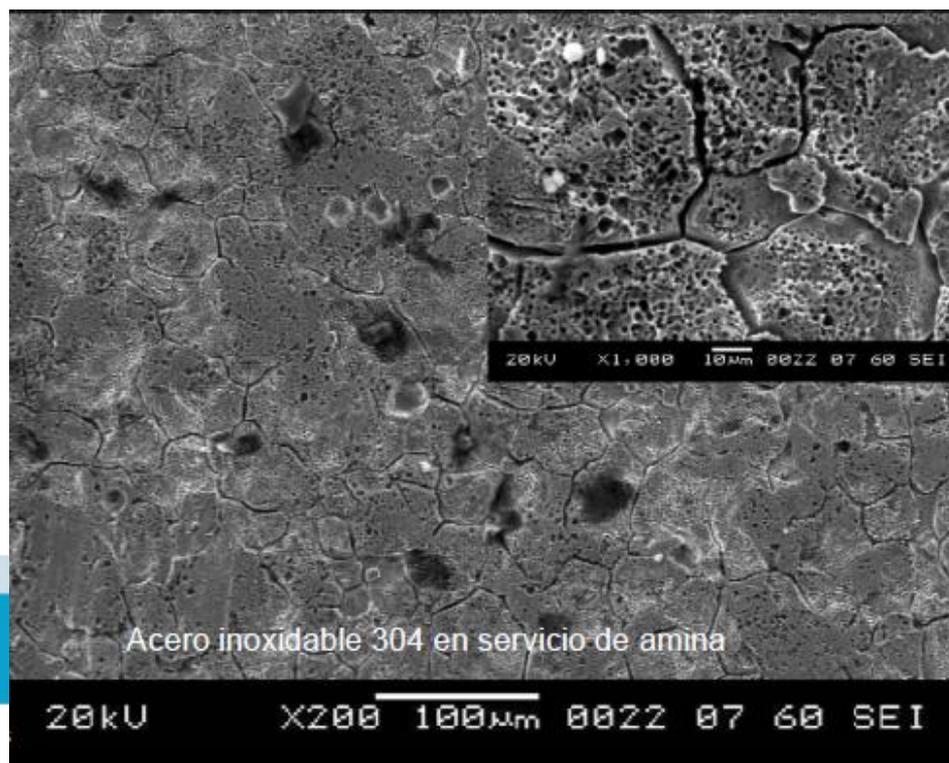
Corrosión Galvánica

Disolución de un metal al acoplarse con otro metal más noble. Depende de la diferencia de potencial entre los metales, relación de área y la composición del medio.



Corrosión intergranular

Corrosión en los límites de grano de un metal o aleación que genera agrietamiento intercristalino a lo largo de los límites de grano del metal.



Corrosión intergranular

- **Condiciones donde los bordes se hacen reactivos**
 - **Aplicación de un tratamiento térmico inadecuado al soldarlos o calentarlos (ej. Acero inoxidable austenítico)**
 - **Precipitación Cr_{23}C_6 en los bordes de grano**
 - **Empobrecimiento en Cr en la región aledaña al borde**
 - **Cambio de composición en la zona**
 - **Dos metales diferentes en contacto establecen celdas galvánicas**
 - **Área más activa (borde de grano) protege a la menos activa (interior del grano)**



Corrosión por tensiones

- **Definición**

Acción simultánea de un esfuerzo de tensión y de un agente corrosivo.

Puede ocurrir a niveles normales de esfuerzo de fluencia.

Finas grietas penetran hacia el interior del metal



Corrosión por tensiones

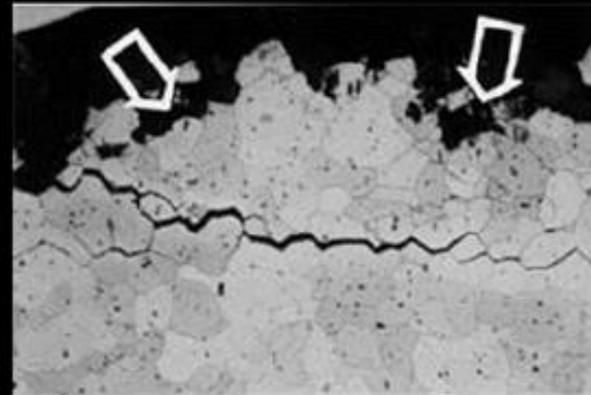
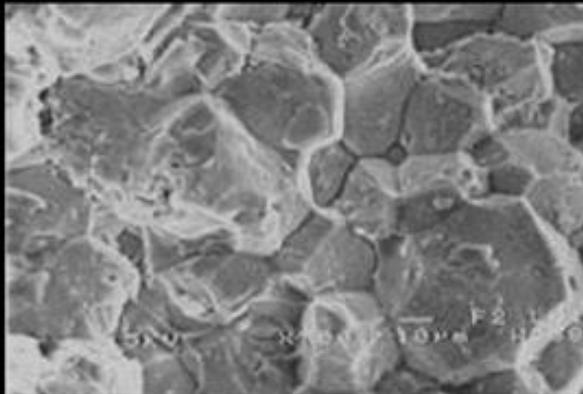


Este patrón de ramificaciones tipo río es único para SCC y es usado en análisis de fallas para identificar cuando ha ocurrido este tipo de corrosión.

Corrosión por tensiones

- La V_c . Depende de la Temperatura, composición del metal, composición de la solución, esfuerzo y estructura del metal

SCC intergranular de una parte de Al de una nave espacial.



La naturaleza intergranular de corrosión puede ser vista en la imagen del **SEM** (scanning electron microscope: microscopio electrónico de barrido)

Nótese que las grietas secundarias también son visibles. Estas grietas (2^{rias}) son comunes en SCC.

Corrosión microbiológica

Puede definirse como todo aquel fenómeno de destrucción en el cual los microorganismos desempeñan un papel importante en acelerar un proceso ya establecido o al crear las condiciones favorables para que se produzca la corrosión.

Biopelícula: es la interfase bioorgánica desarrolladas por microorganismos entre el metal y el medio.



Condiciones para la corrosión microbiológica

Aparición de celdas de aireación diferencial por efecto de un desigual consumo de O_2 propiciando crecimiento de microorganismos

Producción de sustancias corrosivas generadas por el crecimiento de microorganismos transformando un medio inerte en agresivo

Alteración de películas protectoras o revestimientos por los microorganismos

Consumo de sustancias inhibidoras de corrosión facilitando la acción de iones agresivos presentes en el medio



Microorganismos relacionados con MIC

- **Bacterias sulfato reductoras (SRB) o (BSR)**
- **Bacterias oxidantes del azufre (SOB)**
- **Bacterias productoras de ácidos (APB)**
- **Bacterias oxidantes y reductoras del Hierro (IOB e IRB)**

Características de los microorganismos asociados a MIC

Pequeños, generalmente menores a 5 μm

Pueden ser tanto móviles como sésiles

Pueden unirse a superficies metálicas cuando es necesario, formando biofilms

Son resistentes a un amplio rango de temperaturas, pH, presiones, concentraciones de oxígeno o incluso sustancias químicas

Pueden crecer en colonias mixtas o consorcios microbianos

Crecen rápidamente cuando las condiciones son favorables

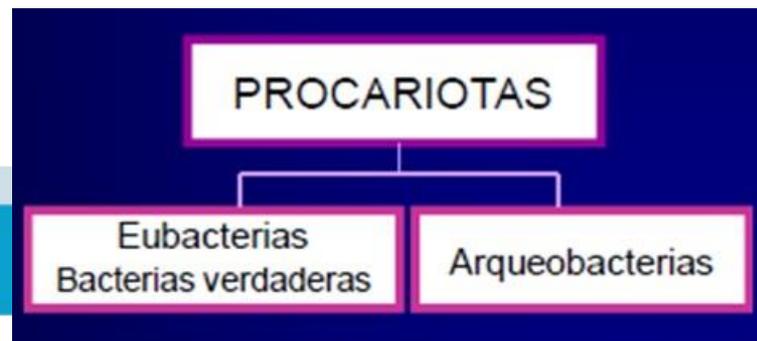
El producto de su metabolismo pueden ser ácidos, H_2S

Oxidan o reducen metales a iones metálicos



Características de las bacterias

- Unicelulares
- Membrana celular: proteínas y fosfolípidos
- Crecimiento rápido, t duplicación : ½ h a 1 h
- No tienen núcleo definido
- No tienen organelos
- Un solo cromosoma con ADN circular
- Tamaño: 0,5 – 3 μm
- Volumen: 10^{-12} (50-80% es agua)
- Masa: 10^{-12} g



MIC por SRB

Compuestos orgánicos se adhieren a la superficie del metal

Formación de celdas de aireación diferencial

Bacterias aeróbicas consumen O_2 en su proceso de respiración

Disminución del O_2 debajo del depósito

Crecimiento de bacterias anaerobias en las superficies metálicas y adsorción mediante filamentos generando biopelícula y MIC



MIC por SRB

Desarrollo de la biopelícula con producción de metabolitos corrosivos como H_2S

Corrosión localizada severa con producción de metabolitos corrosivos como el H_2S

En capas superiores de la biopelícula se establecerán bacterias aerobias o aerobias facultativas.

La concentración de O_2 disminuye a medida que se avanza en los distintos estratos de la biopelícula.



Bacterias sulfato reductoras

- Anaerobias estrictas
- Mesófilas y crecen óptimamente ente 25°C y 35°C
- Prefieren ambientes con pH cercano a 7
- Forman depósitos negros en superficies metálicas
- Se encuentran en suelos húmedos, agua de mar y ambientes contaminados
- Pueden crecer en ambientes altamente salinos

Características de SRB

Características de las Bacterias Sulfato Reductoras				
Género	Rango de Desarrollo		Valor Óptimo	
	pH	T (°C)	pH	T (°C)
Grupo I: No Oxidantes de Acetato				
Desulfovibrio	-	0 - 44	7.5	25 - 37
Desulfotomaculum	6.6 - 7.6	20 - 70	7.1	37 - 55
Desulfobulbus	6.8 - 8.6	10 - 43	7.2	28 - 39
Grupo II: Oxidantes de Acetato				
Desulfobacter	6.2 - 8.5	10 - 37	7.3	28 - 32
Desulfococcus	-	-	-	30 - 36
Desulfonema	6.7 - 8.8	10 - 37	7.0	32
Desulfosarcina	6.7 - 9.0	15 - 38	7.4	28 - 33
Reductoras de Azufre Desasimilativas				



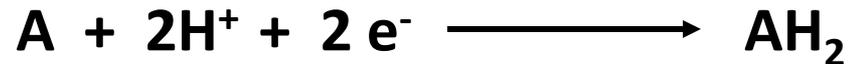
Aerobios estrictos

OBTENCIÓN DE ENERGÍA: Los electrones provenientes de la deshidrogenación son aceptados por el oxígeno que se reduce a agua.

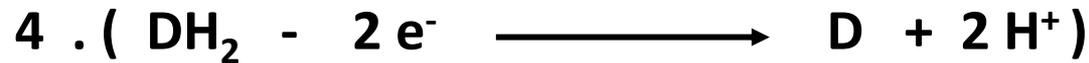


Anaerobios estrictos

OBTENCIÓN DE ENERGÍA: Los electrones provenientes de la deshidrogenación son **aceptados por otra sustancia**.



Sulfato como aceptor de electrones



Bacteria SRB Desulfovibrio

Vibrios Gram negativos, ligeramente curvos de 0,5 a 1,5 μm de longitud

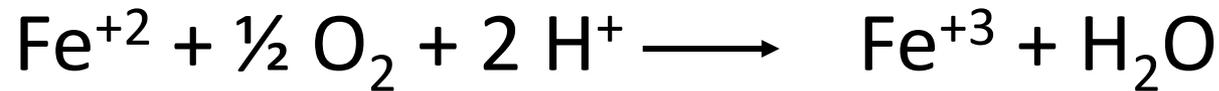
Son móviles gracias a su flagelo

La mayoría de las especies oxidan compuestos orgánicos, como lactato o acetato

D. desulfuricans, *D. vulgaris*, *D. termitidis*



Oxidación y reducción del hierro



Bacterias asociadas a la oxidación del hierro (IOB)

Gallionella , Sphaerotillux, Crenothrix, Thiobacillus

Bacterias asociadas a la reducción de l hierro (IRB)

Psudomonas, Aerobacter, Enterobacterias, Geovibrio



Nutrición bacteriana

Proceso por el que los seres vivos toman del medio donde habitan las sustancias químicas que necesitan para crecer.

Macronutrientes (C, H, O, N, P, S, K, Mg)

Micronutrientes (Co, Cu, Zn, Mo)

H₂O, CO₂, sales minerales

Particulares

Factores de crecimiento



Medios de cultivo

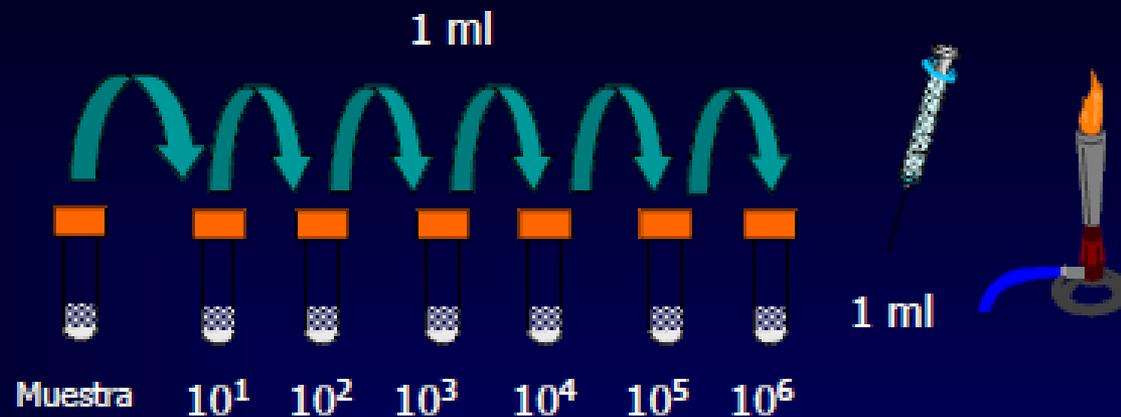
Solución acuosa, o coloide en estado de gel, en la que están presentes todas las sustancias necesarias para el crecimiento de un determinado microorganismo.

Ej: medio para SRB

COMPUESTO	gr. para 1000 ml
Lactato sódico	4.0
Extracto de levadura	1.0
Cloruro de magnesio. 7H ₂ O	0.4
Cloruro de sodio	35 *
Sulfato ferroso amónico	0.1
Sulfato ferroso	0.1
Ácido ascórbico	0.1

* La concentración de NaCl debe ser la misma que la del medio donde se determina.

Contaje de Viables de BSR por la Técnica de Dilución Seriada



INCUBAR
por 21 días a 37 °C

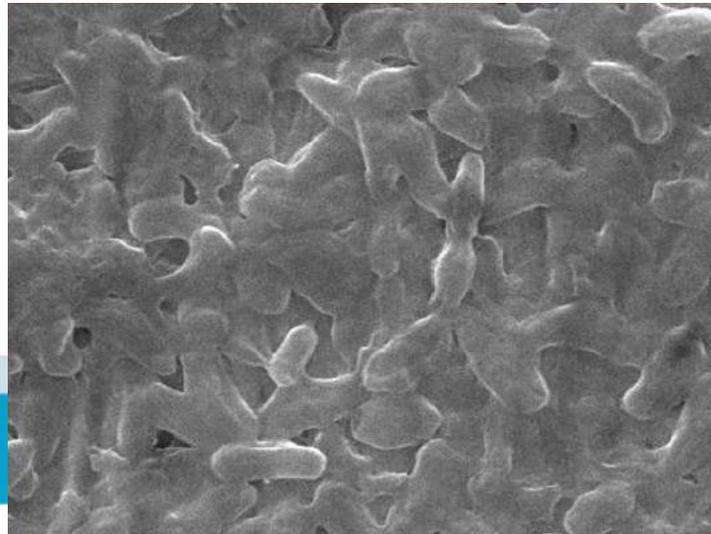


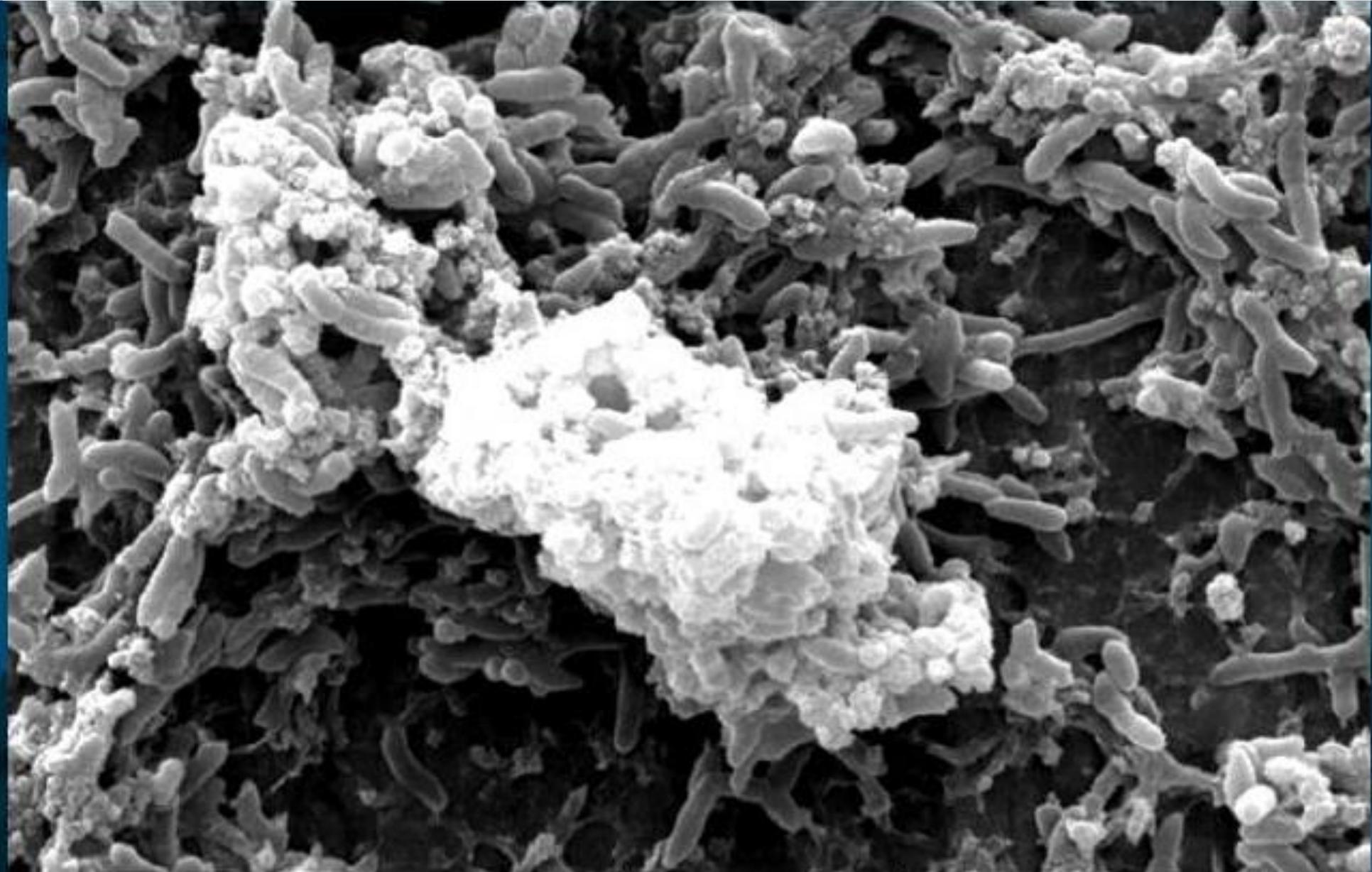


(extracelular polimeric substance)

Son sustancias poliméricas que los organismos excretan, permitiendo que la bacteria se fije o permanezca en un consorcio.

El EPS forma una matriz tridimensional hidratada, con una consistencia gelatinosa, que representa el 50% al 90% de la materia orgánica de la biopelícula.





Acc.V Spot Magn Det WD |-----| 5 µm
25.0 kV 4.5 5000x SE 18.8 Biopelícula sin Iones Ferrosos 24h

Biopelícula

Pueden ser consideradas como consorcios de microorganismos, sustancias extracelulares poliméricas (EPS), cationes multivalentes, partículas orgánicas e inorgánicas, así como partículas coloidales y sustancias coloidales.

Adhesión

Crecimiento
($< 500 \mu\text{m}$)

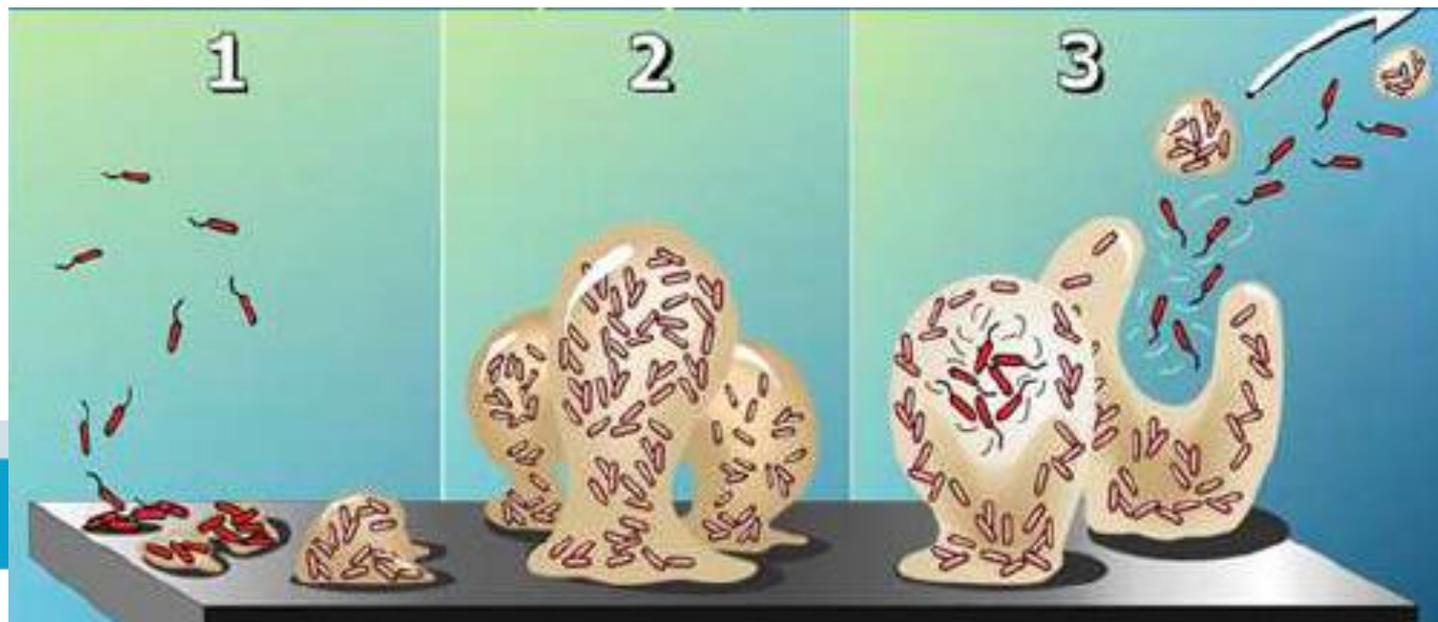
Desprendimiento

$^{\circ}\text{T}$

pH

Comp

Veloc



Biopelícula en MIC por SRB

La biopelícula es permeable a gases, liberando al medio H_2S liberado por la actividad de SRB, formando con el hierro disuelto sulfuros de hierro.

El Fe_xS_y más compuestos orgánicos precipitan engrosando la biopelícula.

Engrosamiento de biopelícula \longrightarrow ***atrapado de gas (H_2S) induce*** \longrightarrow
áreas anódicas \longrightarrow ***corrosión por picaduras***



Bioensuciamiento

Formación natural de depósitos orgánicos e inorgánicos sobre una superficie

Actúa como aislante térmico

Resistencia al fluido (tajonamiento)

Aumenta la velocidad de corrosión



Bioensuciamiento



Prevención y control de MIC

Prevenir los problemas de corrosión debidos a MIC siempre es menos costoso que tratar de controlarlos una vez que se presentan

Diseño para aguas: considerar origen del agua, pH, dureza, salinidad, concentración de O₂ disuelto, impurezas, temp., velocidad de flujo, diseño del equipo

Diseño para suelos: humedad, alcalinidad, acidificación, O₂ disuelto, sales, entre otros.



Prevención y control MIC

- **Uso de biocidas:** generalmente se aplica una combinación de biocidas, alternada en forma secuencial
- **Inhibidores de corrosión:** deben ser resistentes a la degradación por microorganismos. Se recomienda en la mayoría de los casos una combinación entre biocida + inhibidor, pero ambos deben ser compatibles entre si y con el ambiente.
- **Recubrimientos:** el uso de recubrimientos protectores en el exterior e interior de tanques, tuberías, y otros equipos puede resultar exitoso. (pueden ser degradados)



Prevención y control MIC

- **Protección catódica:** evaluar los requerimientos de corriente específicos en presencia de SRB, ya que su efectividad depende de cada caso en particular.
- **Selección de material:** la selección de metales y aleaciones especiales no es una opción económica
- **Operación y mantenimiento:**
 - Evite condiciones de bajo flujo o estancamiento
 - Haga mantenimiento regular de limpieza
 - Trate el agua bajo cualquier condición
 - Haga seguimiento al agua y a los biocidas para asegurar su funcionamiento y bajas V de corrosión

Limpieza de sistemas

De
pa

ceso



Tratamiento con biocidas

Los biocidas pueden ser sustancias químicas sintéticas o naturales destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar a los microorganismos

Dependiendo del tipo de microorganismo pueden ser bactericida, fungicida o alguicida

Según el modo de acción pueden ser No Oxidantes u Oxidantes



Biocidas

Biocidas No Oxidantes

Inhibidores del metabolismo: envenenadores de enzimas y desnaturalizadores de proteínas, inhiben el transporte de nutrientes y otros procesos metabólicos

Ej:

Bistiocianatos

Sales de Cu y Zn

Compuestos sulfurados: Isotiazolinas, Carbamatos, Metronitazoles

Aldehidos: Formaldehido, Glutaraldehido y la Acroleina



Biocidas

Biocidas Oxidantes

No está completamente entendido el mecanismo debido a que la oxidación no es específica. Se cree que varias enzimas y proteínas incluyendo las de membrana celular, son oxidadas causando la muerte celular.

Por su falta de especificidad son de gran espectro: actúan sobre bacterias, algas y hongos

Es el grupo más utilizado en la industria

Ej: Cloro, Ozono, Hipocloritos, dióxidos de Cloro, Bromo

