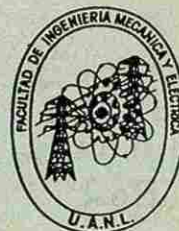




UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



PROGRAMA FORMACION DE PROFESORES

CORROSION

EXPOSITOR:

Dra. Patricia Rodríguez López

26 al 30 de Enero de 1998

SECRETARIA ACADEMICA

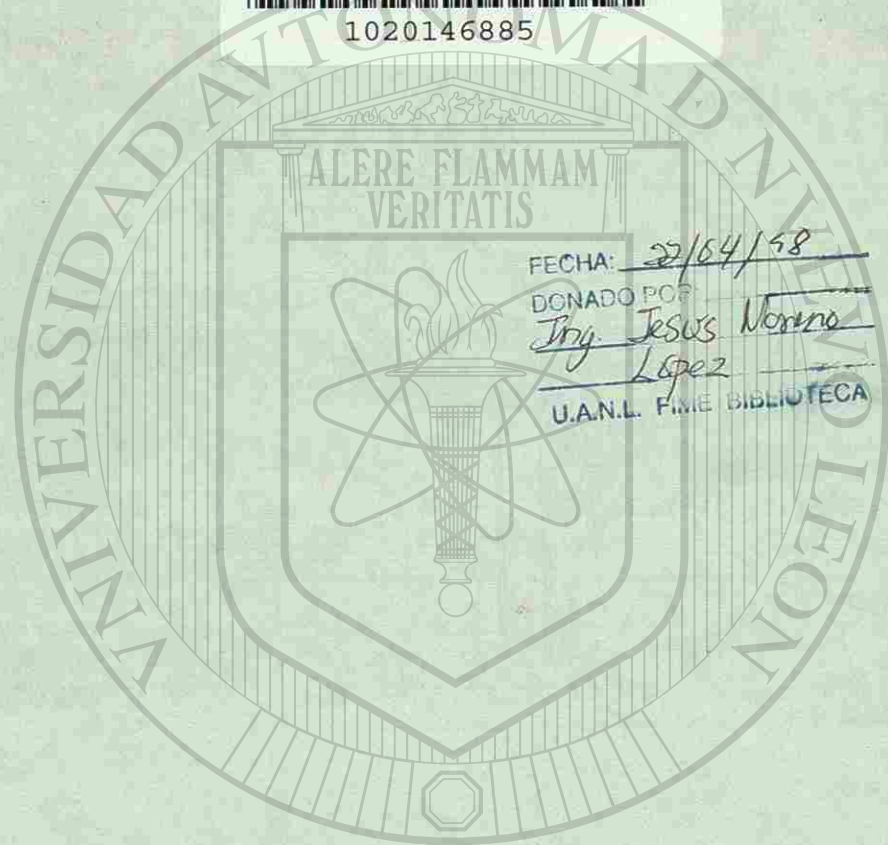


TA46
.R62
1998

TA462
.R62
1998

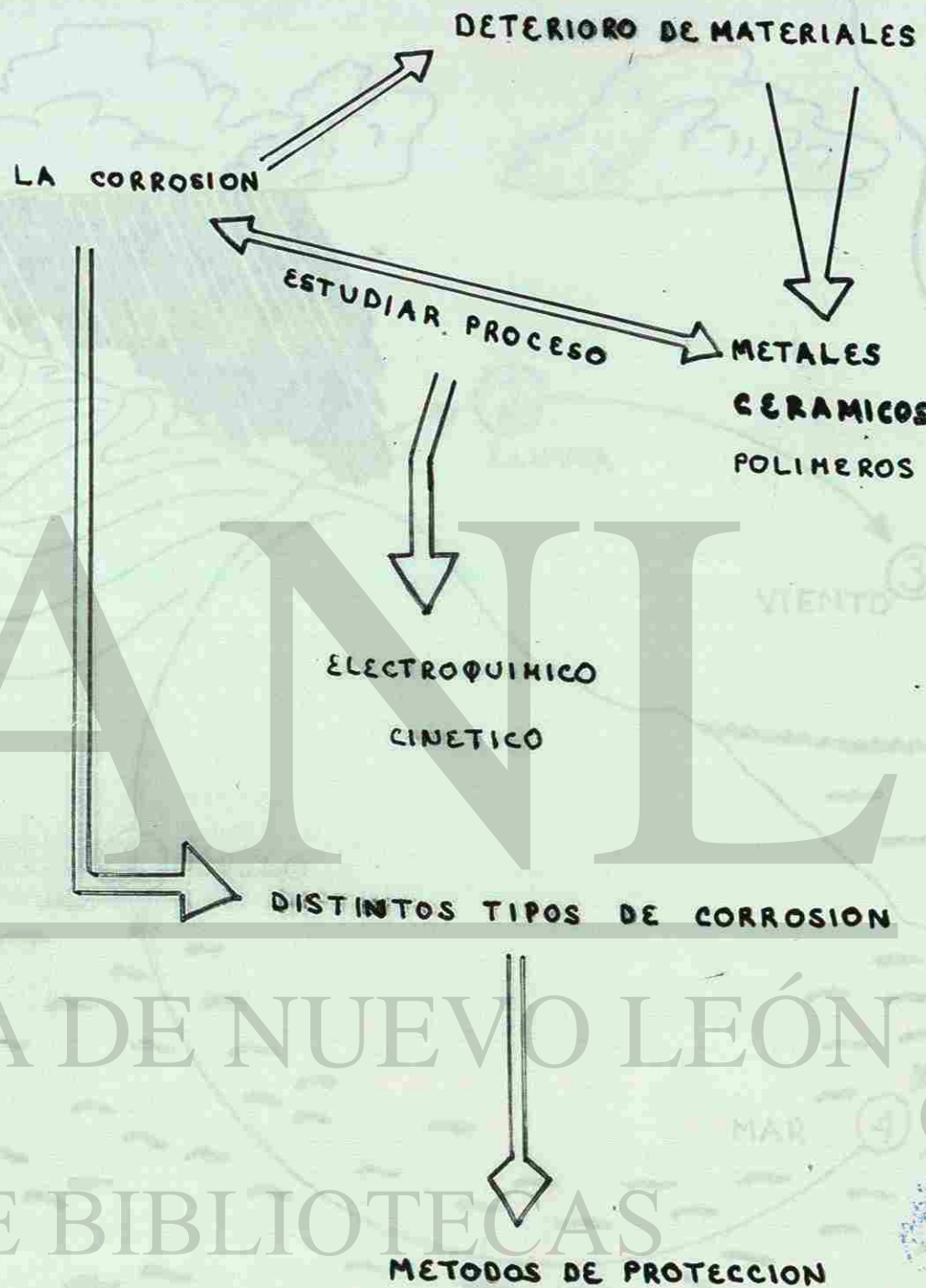


1020146885



FECHA: 22/04/58
DONADO POR
Ing. Jesus Norino Lopez
U.A.N.L. FINE BIBLIOTECA

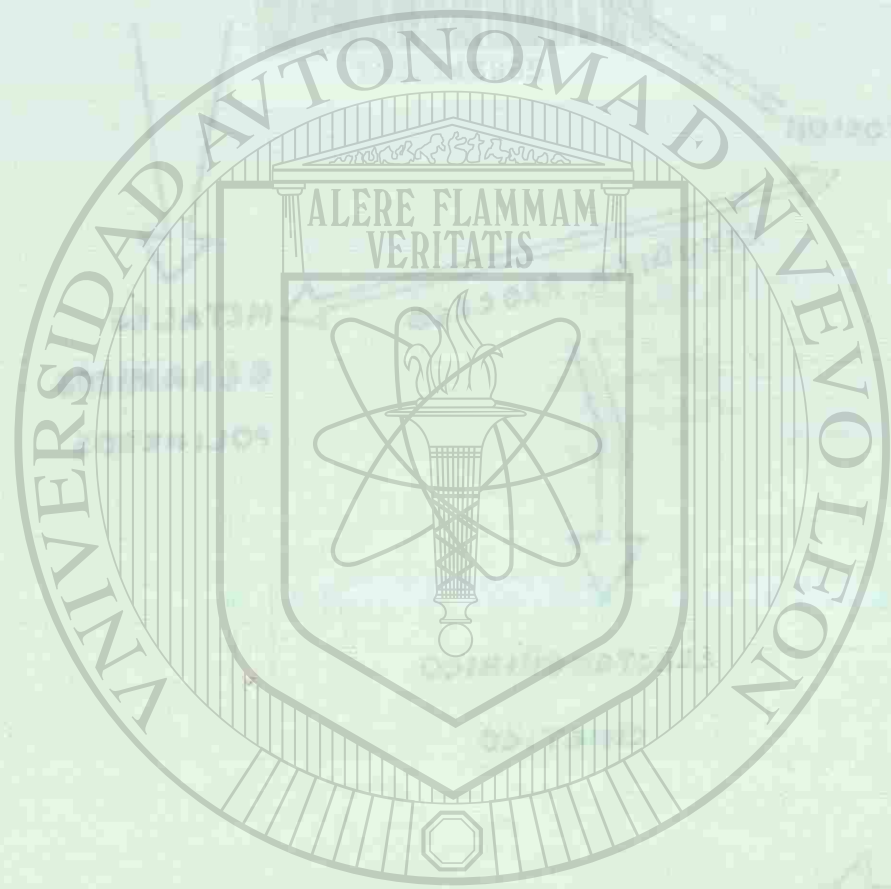
CORROSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

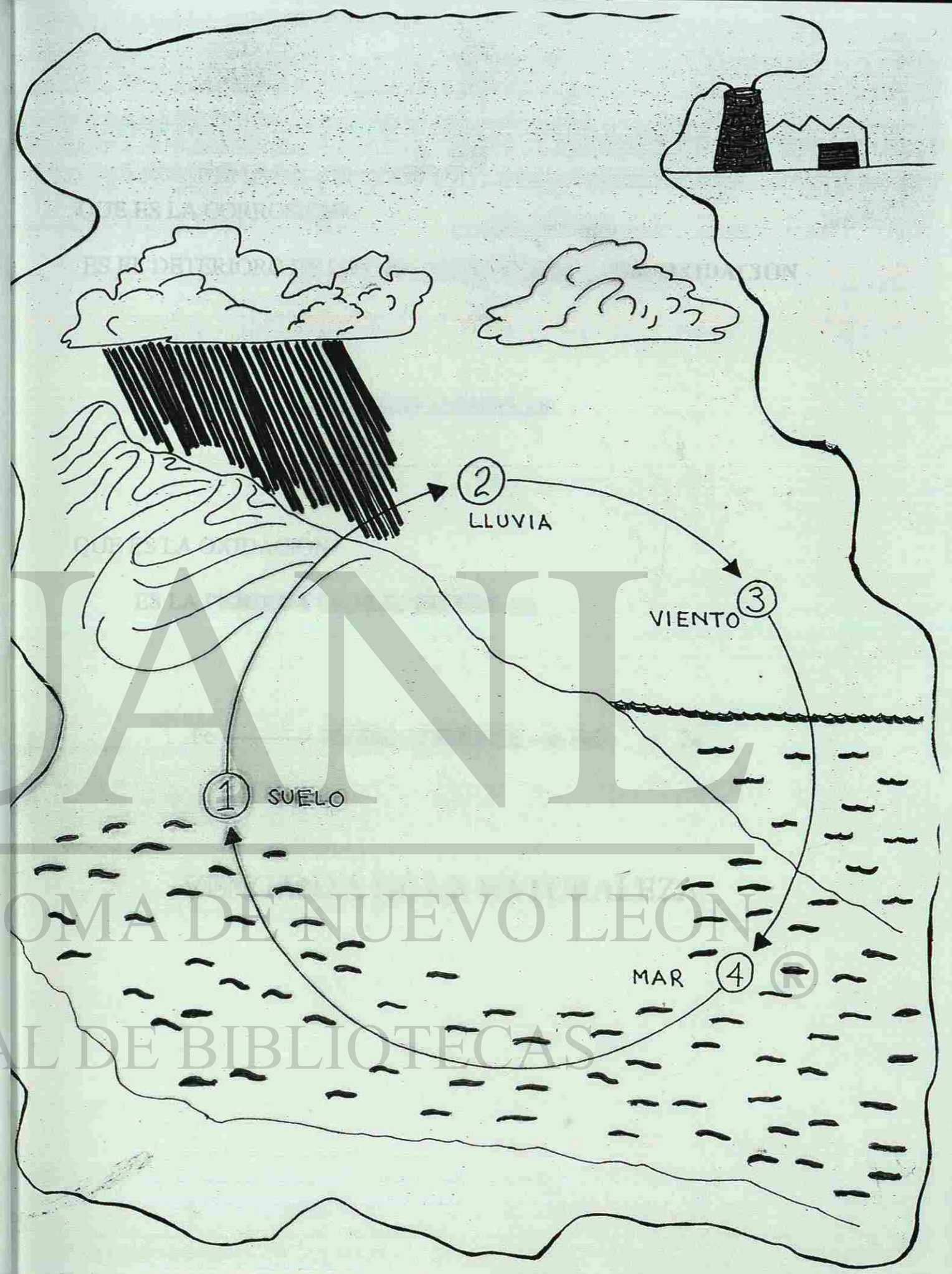
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

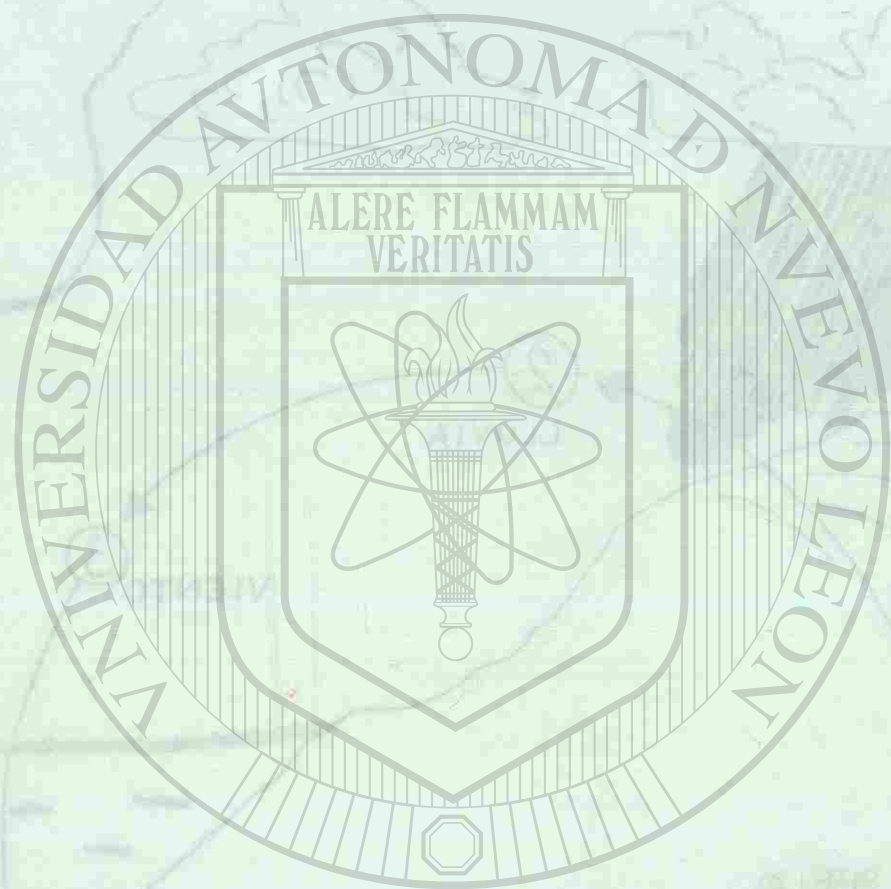




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





QUE ES LA CORROSION?

ES EL DETERIORO DE LOS METALES DEBIDO A UNA OXIDACION

MEDIO AMBIENTE

QUE ES LA OXIDACION?

ES LA **PERDIDA** DE ELECTRONES (e)

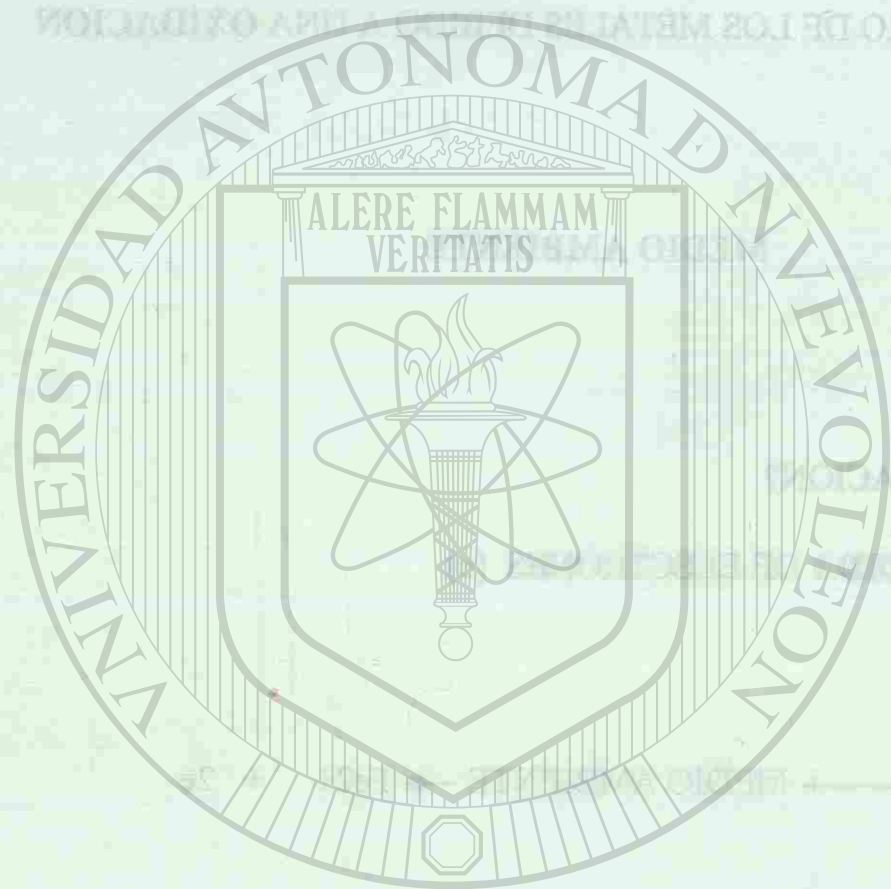


VENGANZA DE LA NATURALEZA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

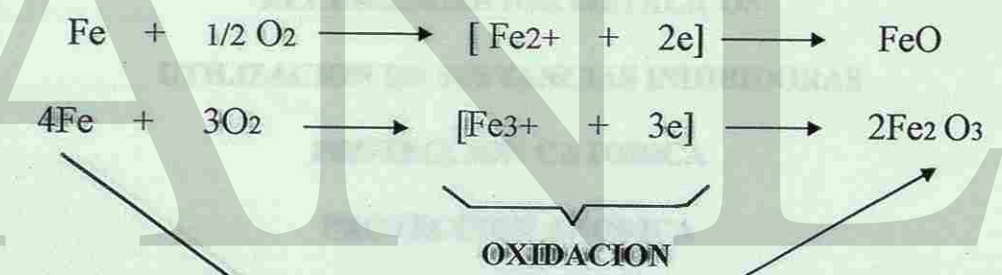
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

EN CORROSION SE DISTINGUE
 LA CORROSION TECNICA
 LA CORROSION CIENTIFICA

LA CORROSION TECNICA

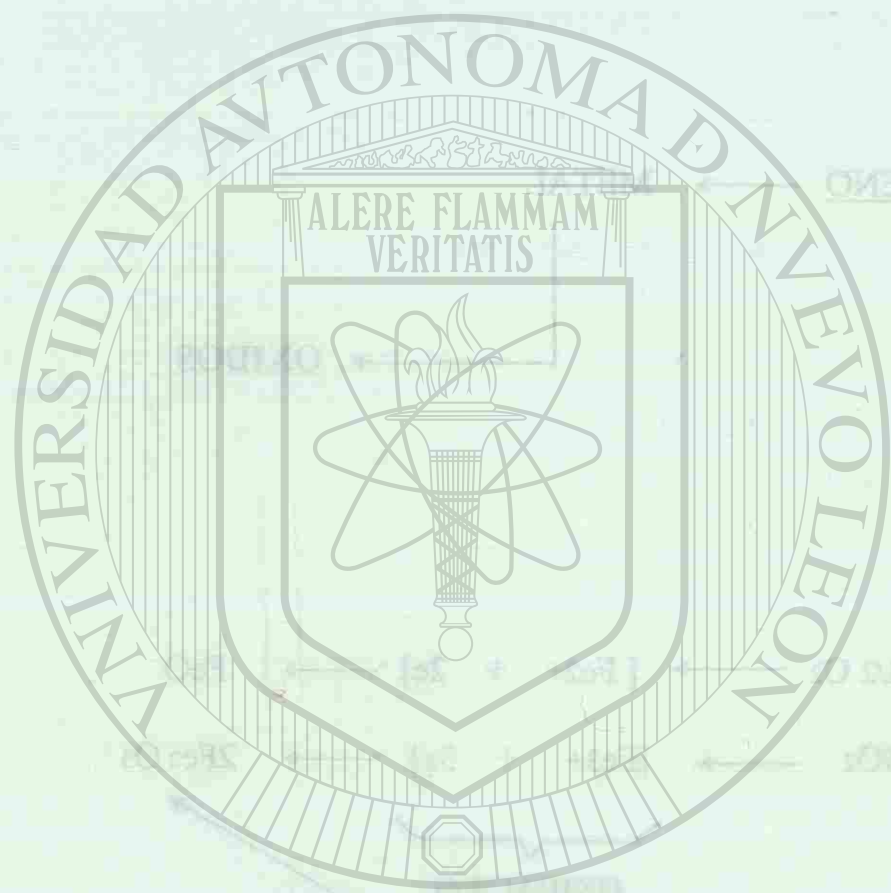
LAS PERD OXIGENO → METAL CASIONA SON DE GRAN CONSIDERACION

REPARAR CONTINUAMENTE LA ESTADISTICA
 SUFFRAGAR LOS ENORMES GASTOS QUE SUPONE LA APLICACION DE VARIOS METODOS DE PROTECCION CONTINUA



CORROSION





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

EN CORROSION SE DISTINGUE

LA CORROSION TECNICA

LA CORROSION CIENTIFICA

LA CORROSION CIENTIFICA

LA CORROSION TECNICA:

LAS PERDIDAS QUE LA CORROSION OCASIONA SON DE GRAN CONSIDERACION

- REPARAR CONTINUAMENTE LA ESTRUCTURA DETERIORADA
- SUFRAGAR LOS ENORMES GASTOS QUE SUPONE LA APLICACION DE VARIOS METODOS DE PROTECCION COMO:

PINTURAS PROTECTORAS

RECUBRIMIENTOS METALICOS

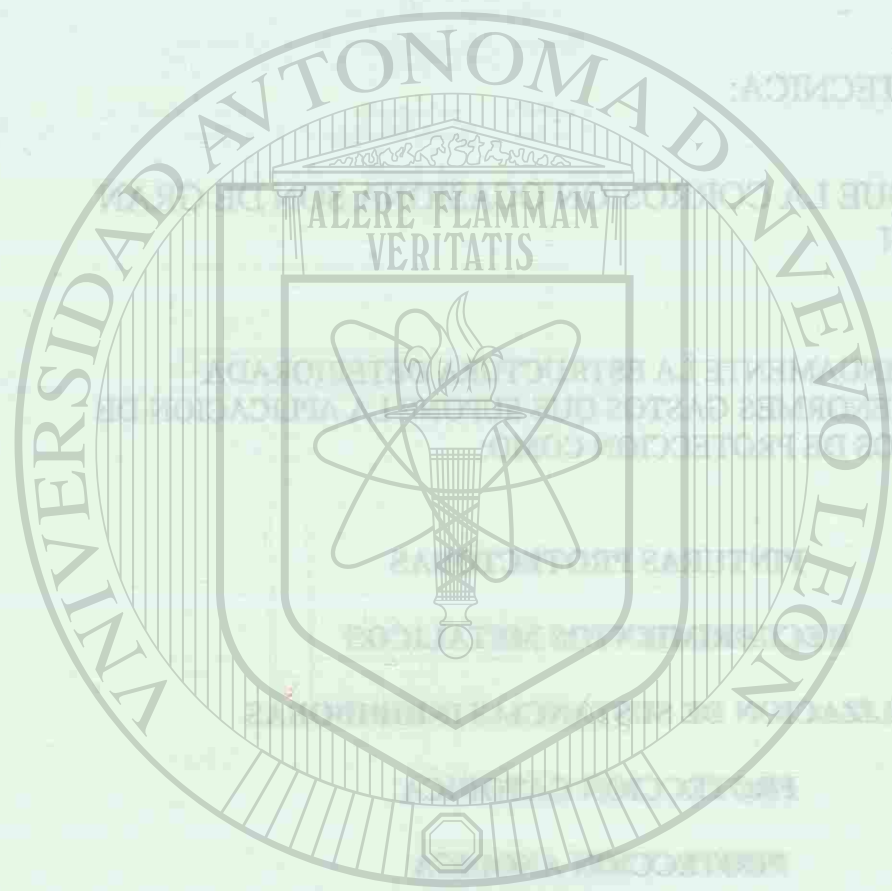
UTILIZACION DE SUSTANCIAS INHIBIDORAS

PROTECCION CATODICA

PROTECCION ANODICA

LA CORROSION OBLIGA A LA INDUSTRIA AL EMPLEO DE ELEVADAS SUMAS DE DINERO PARA PROTEGER Y REPARAR SUS INSTALACIONES





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LA CORROSION CIENTIFICA:

LOS MEDIOS NATURALES

MARINO (Cl-)

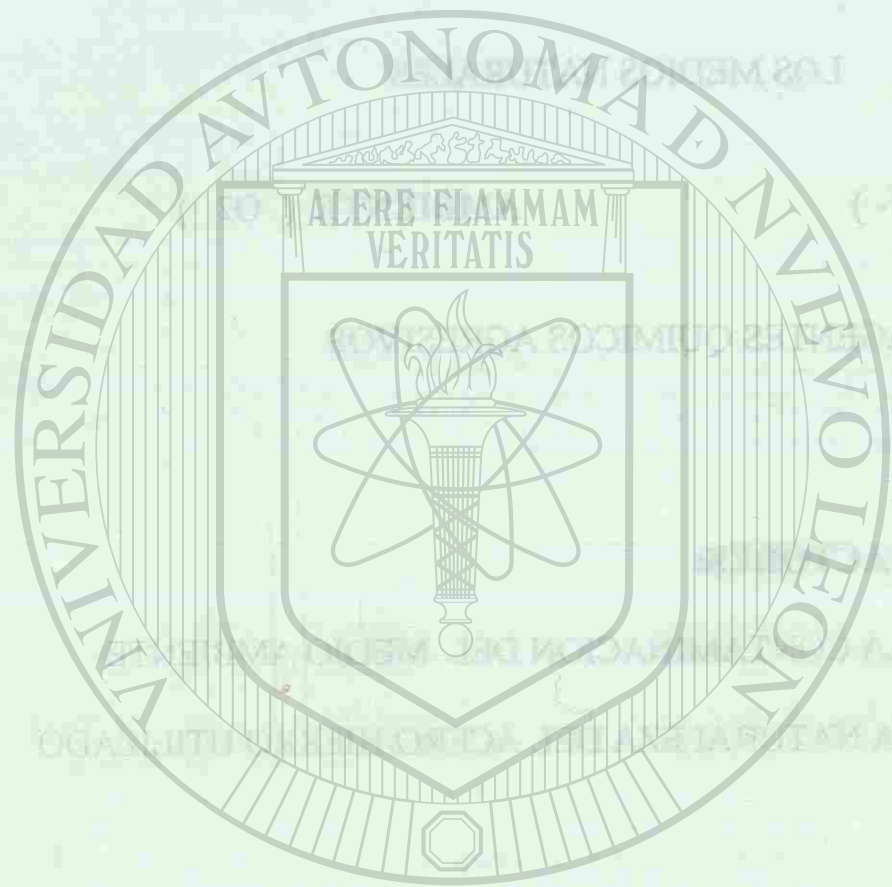
AMBIENTE (O₂)

AGENTES QUIMICOS AGRESIVOS

EXISTEN OTROS FACTORES:

EXTERNOS : LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE

INTERNOS : LA NATURALEZA DEL ACERO/HIERRO UTILIZADO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LA IMPORTANCIA DE LA CORROSION SE PUEDE DEFINIR:

REPORTE HOAR (DEPT. OF TRADE AND INDUSTRY, LONDRES)

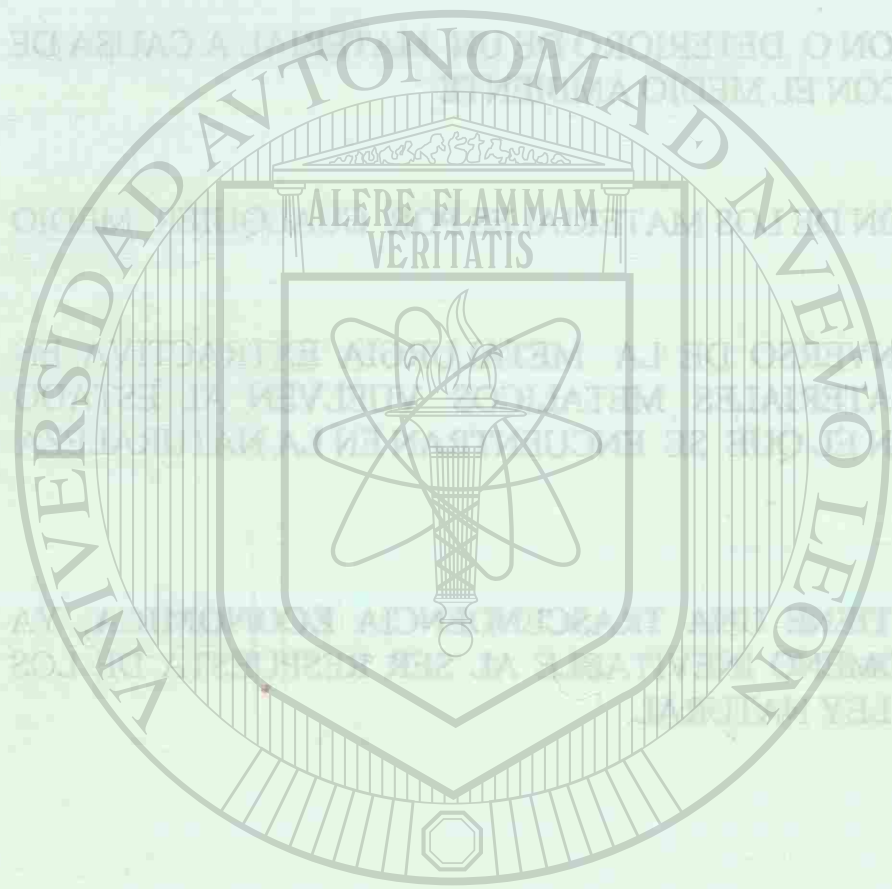
- LA DESTRUCCION O DETERIORO DE UN MATERIAL A CAUSA DE SU REACCION CON EL MEDIO AMBIENTE

- LA DESTRUCCION DE LOS MATERIALES POR CUALQUIER MEDIO

MEDIDAS PREVENTIVAS

*EL PROCESO INVERSO DE LA METALURGIA EXTRACTIVA EN DONDE LOS MATERIALES METALICOS VUELVEN AL ESTADO COMBINADO EN EL QUE SE ENCUENTRAN EN LA NATURALEZA

•• LA CORROSION TIENE UNA TRASCENDENCIA ECONOMICA, YA QUE ES UN FENOMENO INEVITABLE AL SER RESPUESTA DE LOS METALES A UNA LEY NATURAL.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

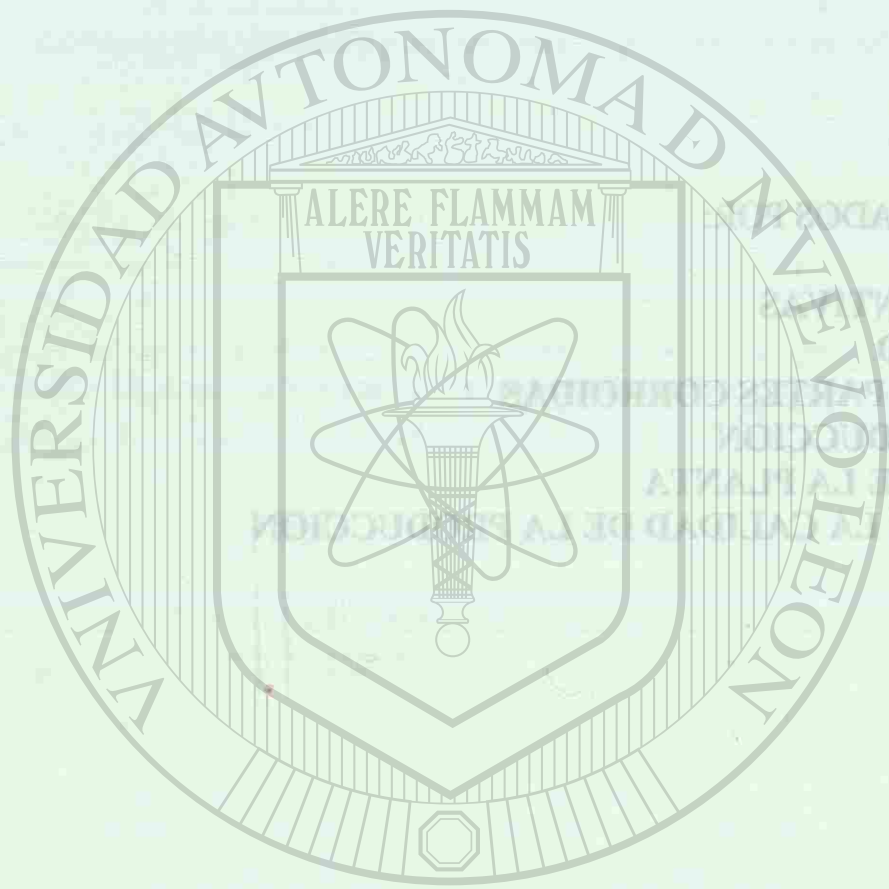
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

REPORTE HOAR (DEPT. OF TRADE AND INDUSTRY, LONDRES)

3.5 % PIB

GASTOS OCASIONADOS POR:

MANTENIMIENTO
MEDIDAS PREVENTIVAS
MANTENIMIENTO
SUSTITUCION DE PARTES CORROIDAS
PERDIDA DE PRODUCCION
PARO PARCIAL DE LA PLANTA
DISMINUCION DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECA

REPORTE HOAR (DEPT. OF TRADE AND INDUSTRY, LONDRES)

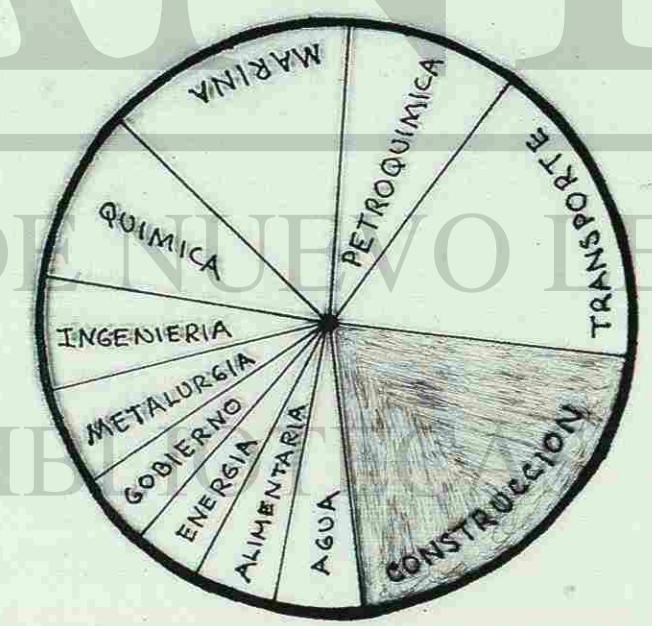
3.5 % PIB

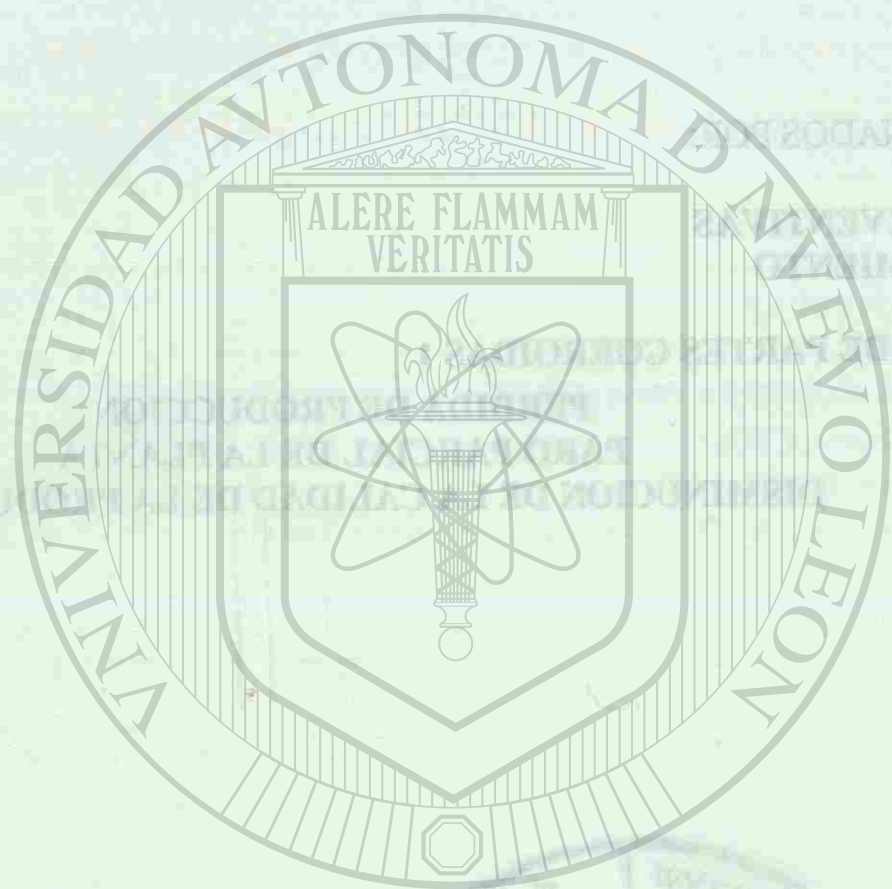
GASTOS OCASIONADOS POR:

MEDIDAS PREVENTIVAS
MANTENIMIENTO

SUSTITUCION DE PARTES CORROIDAS :

PERDIDA DE PRODUCCION
PARO PARCIAL DE LA PLANTA
DISMINUCION DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCION



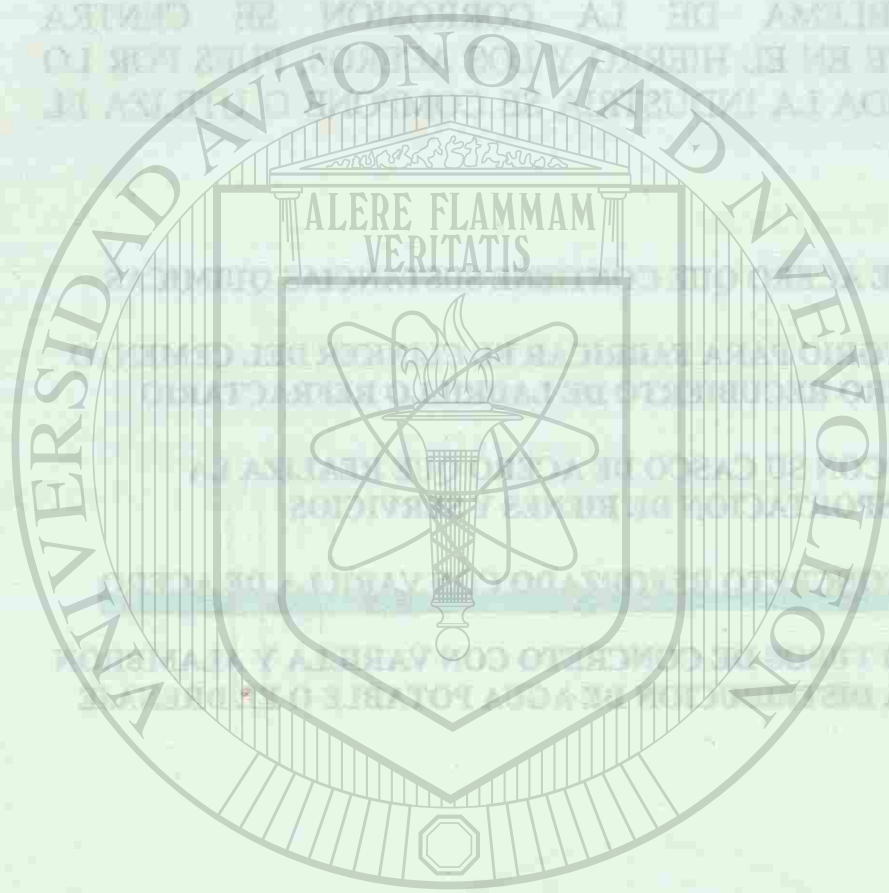


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

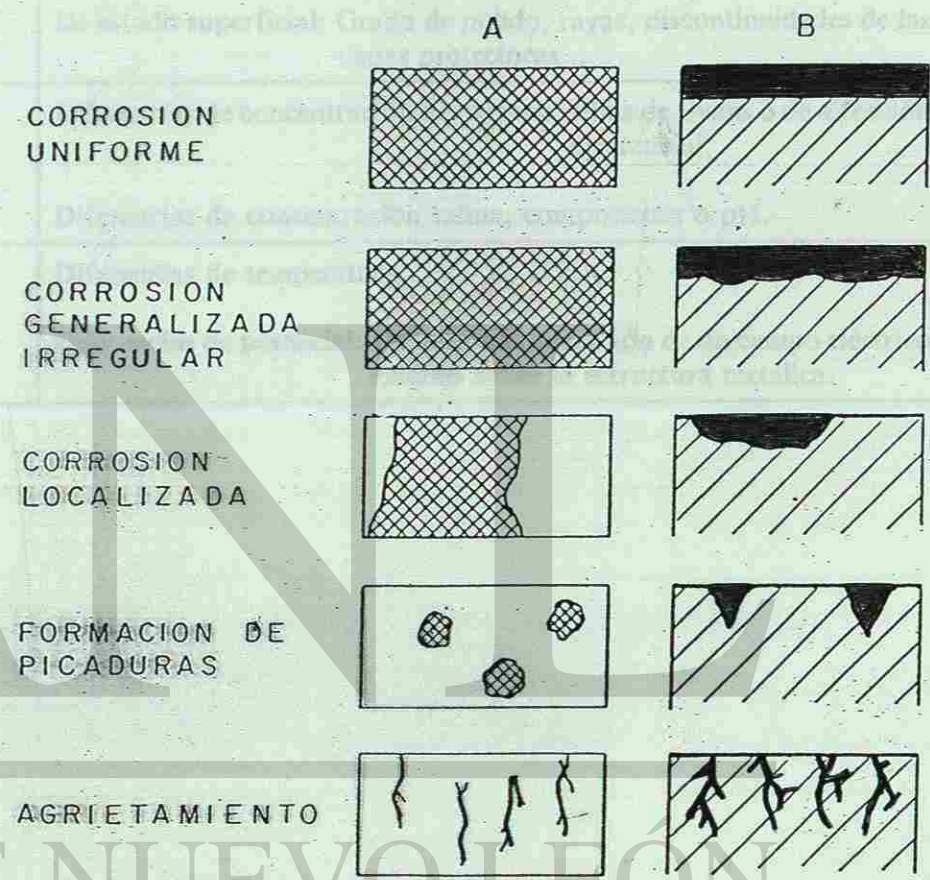
EL HIERRO ES UNO DE LOS METALES QUE SE CORROE CON MAYOR FACILIDAD Y ES EL QUE SE PRODUCE MAS, POR ESTA RAZON EL PROBLEMA DE LA CORROSION SE CENTRA PREFERENTEMENTE EN EL HIERRO Y LOS ACEROS, PUES POR LO GENERAL CASI TODA LA INDUSTRIA SE COMPONE O UTILIZA EL ACERO:

- * EL DEPOSITO DE ACERO QUE CONTIENE SUSTANCIAS QUIMICAS
- * EL HORNO ROTATORIO PARA FABRICAR EL CLINKER DEL CEMENTO QUE ES DE ACERO RECUBIERTO DE LADRILLO REFRACTARIO
- * EL BARCO CON SU CASCO DE ACERO QUE REALIZA LA TRANSPORTACION DE BIENES Y SERVICIOS
- * UN PUENTE DE CONCRETO REEORZADO CON VARILLA DE ACERO
- * UN CONTENEDOR O TUBOS DE CONCRETO CON VARILLA Y ALAMBRON DE ACERO PARA LA DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE O EL DRENAJE



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

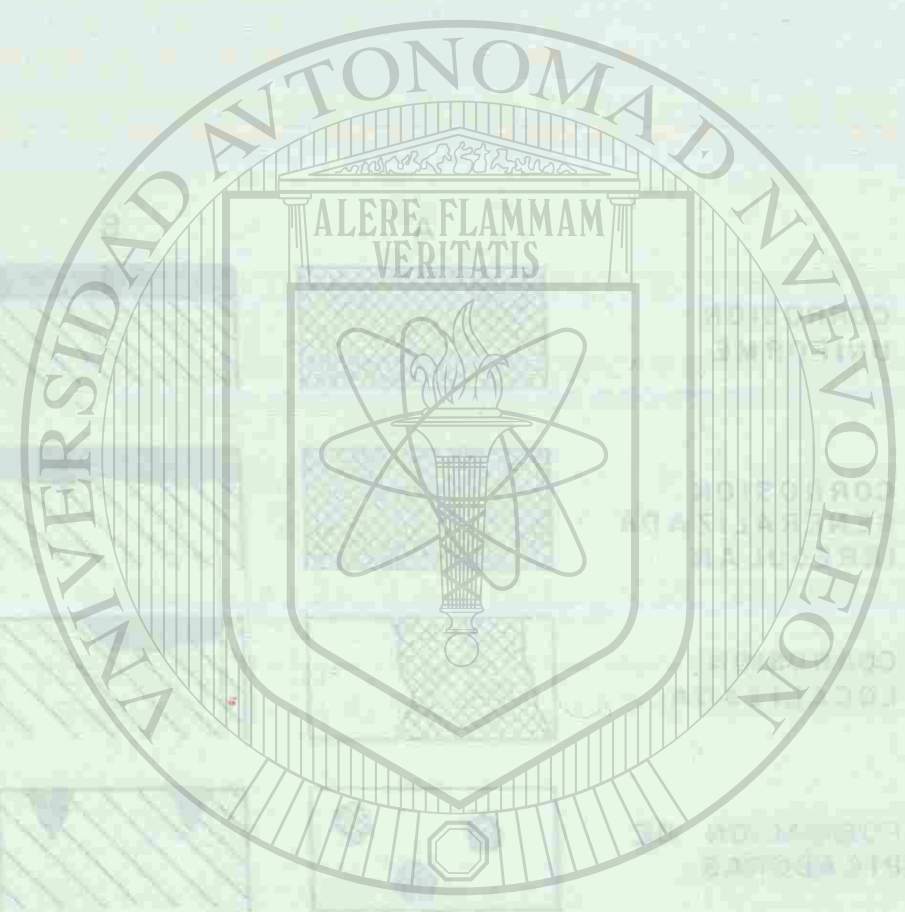
TIPOS DE DAÑO POR CORROSION



Ejemplos de corrosión generalizada y localizada. A: las áreas sombreadas muestran el metal afectado por la corrosión y las áreas en blanco el metal sin alterar. B: perfiles de ataque en cada caso.

TABLA 2.3.—Algunas causas responsables de la formación de pilas de corrosión.

Tipos de heterogeneidades	Ejemplos de pilas locales generadas
Heterogeneidades del metal	<p>De constitución: En aleaciones bifásicas y polifásicas, partículas contaminantes en la superficie, segregaciones, uniones bimetalicas, etc.</p> <p>De estructura: Límites de grano, dislocaciones emergentes, anisotropía de los granos cristalinos...</p> <p>De orden mecánico: Tensiones, conformación, soldadura...</p> <p>De estado superficial: Grado de pulido, rayas, discontinuidades de las capas protectoras...</p>
Heterogeneidades del medio agresivo	<p>Diferencias de concentración de oxígeno: Pilas de Evans o de aireación diferencial.</p> <p>Diferencias de concentración salina, composición o pH.</p>
Heterogeneidades en las condiciones de exposición	<p>Diferencias de temperatura.</p> <p>Diferencias de potencial: Debidas a la actuación de un campo eléctrico externo sobre la estructura metálica.</p>



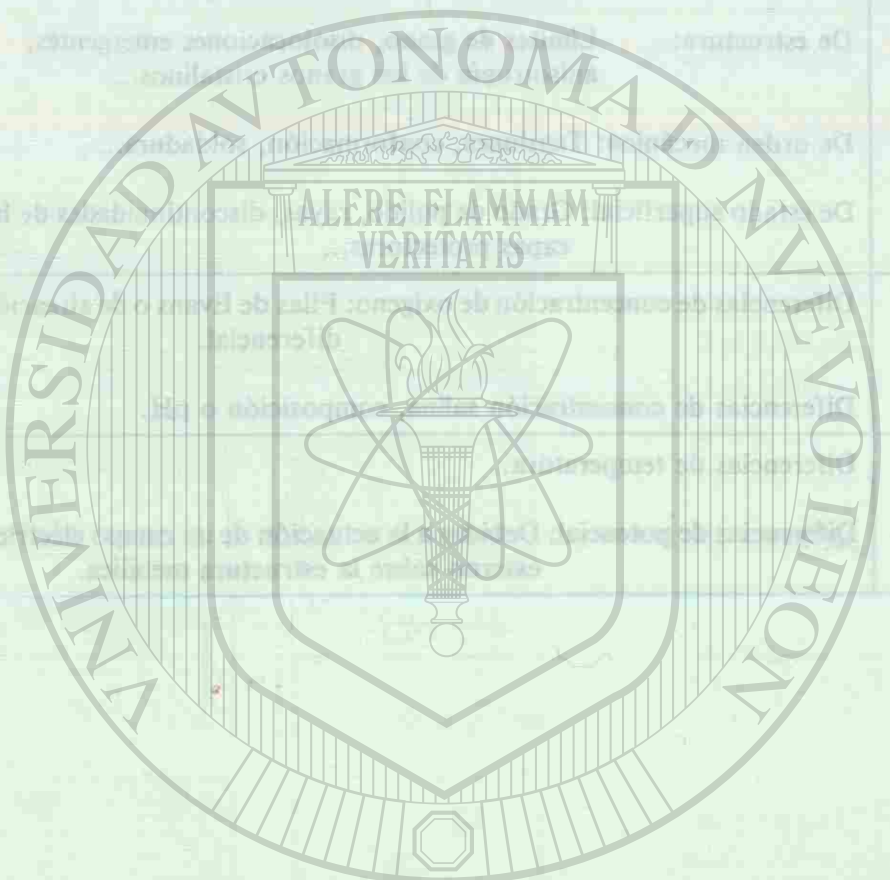
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

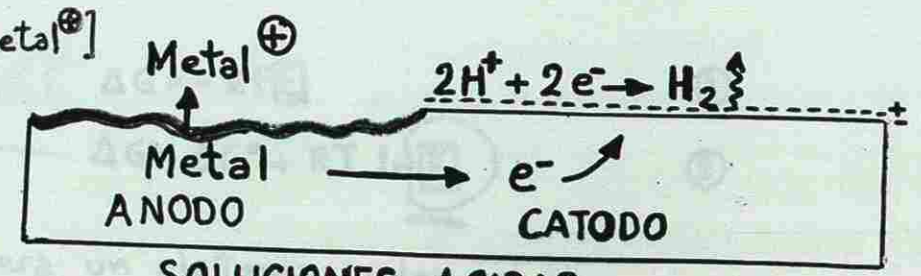


TABLA 5.1 - Algunos casos responsables de la formación de pilas de corrosión

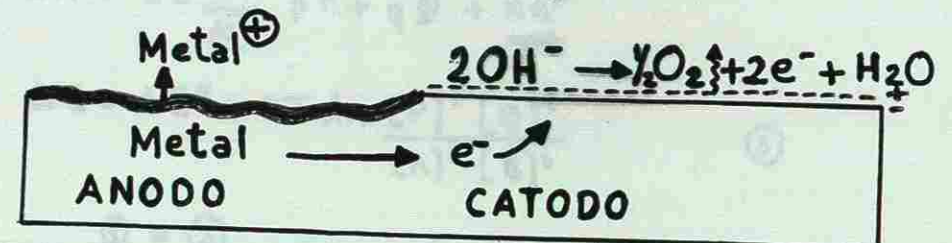
Tipos de heterogeneidades	Ejemplos de pilas locales generadas
Heterogeneidades del metal	En aleaciones bivalentes y trivalentes: partículas raras, inclusiones de sulfuros, inclusiones orgánicas, impurezas, etc.
Heterogeneidades del medio	De oxígeno: En sistemas bivalentes y trivalentes: partículas raras, inclusiones de sulfuros, inclusiones orgánicas, impurezas, etc.
Heterogeneidades de la película superficial	De concentración de oxígeno: En sistemas bivalentes y trivalentes: partículas raras, inclusiones de sulfuros, inclusiones orgánicas, impurezas, etc.
Heterogeneidades de las condiciones de exposición	De temperatura: En sistemas bivalentes y trivalentes: partículas raras, inclusiones de sulfuros, inclusiones orgánicas, impurezas, etc.



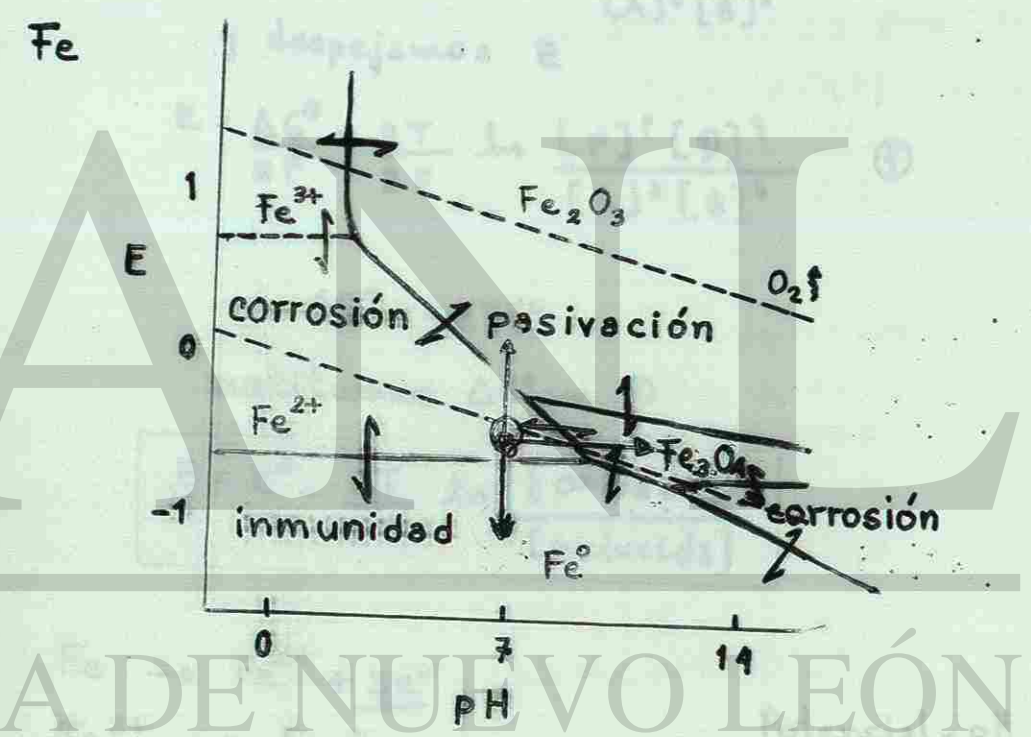
$$E^{\circ} = -\frac{RT}{zF} \ln [\text{Metal}^{\oplus}]$$



SOLUCIONES ACIDAS



SOLUCIONES ALCALINAS Y NEUTRAS

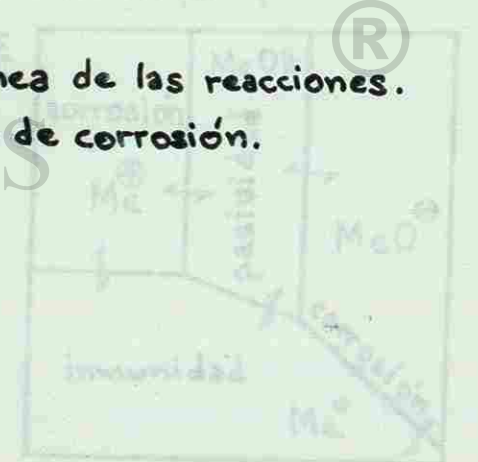


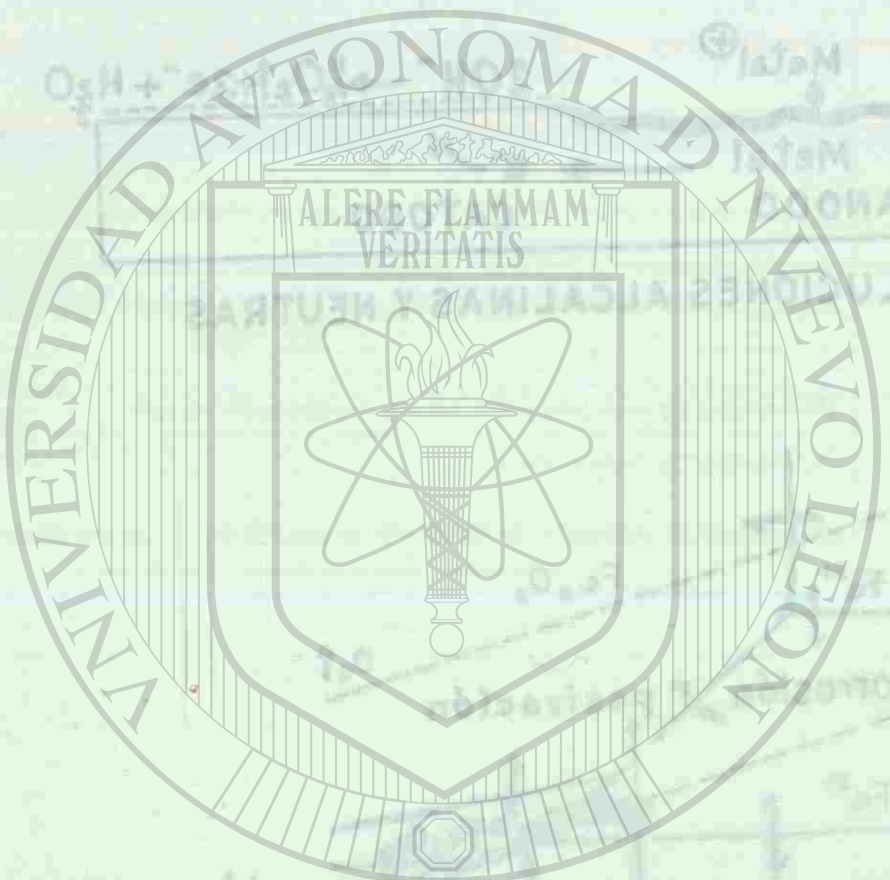
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

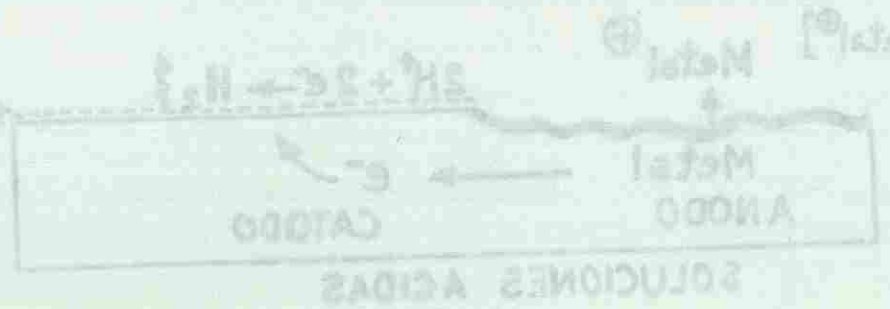
- a) conocer la dirección espontánea de las reacciones.
- b) la naturaleza de los productos de corrosión.

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{zF} \ln [H^+]$$





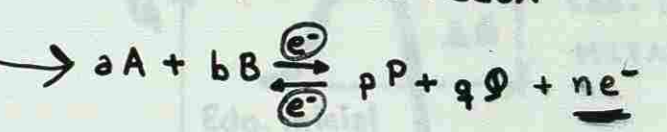
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



$$\Delta G = -zFE \quad (1)$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K \quad (2)$$

Considera un sistema redox



$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{[P]^p [Q]^q}{[A]^a [B]^b} \quad (3)$$

$$(1) = (3)$$

$$-zFE = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{[P]^p [Q]^q}{[A]^a [B]^b}$$

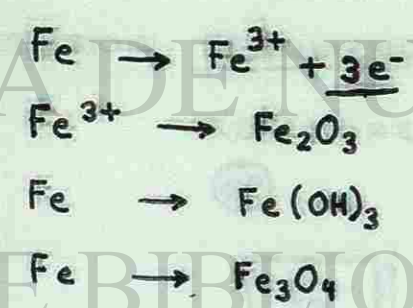
y despejamos E

$$E = \frac{\Delta G^\circ}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln \frac{[P]^p [Q]^q}{[A]^a [B]^b} \quad (4)$$

$$\Delta G^\circ = -zFE^\circ$$

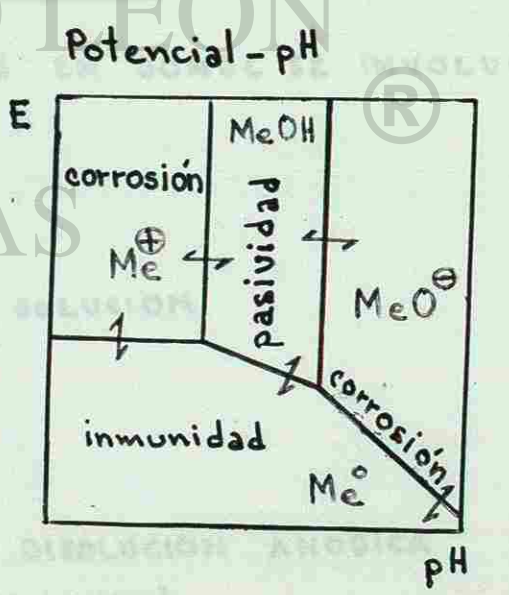
sustituimos ΔG° en (4)

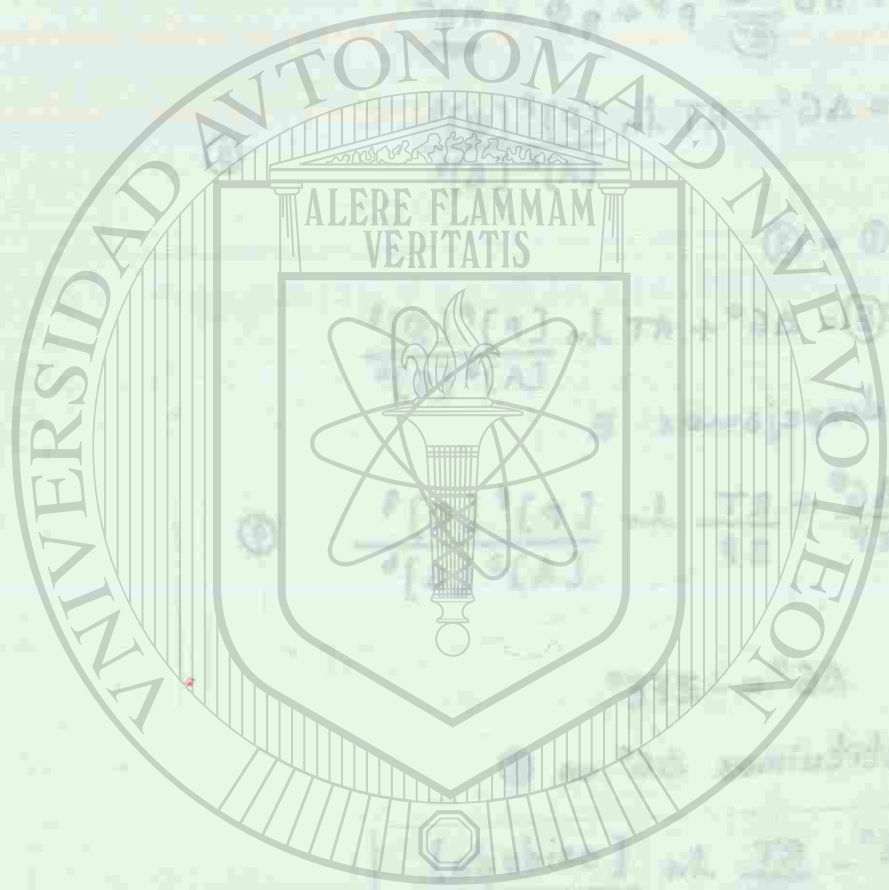
$$E = E^\circ - \frac{RT}{zF} \ln \frac{[\text{oxidada}]}{[\text{reducida}]}$$



$$E = E^\circ + \frac{RT}{zF} \ln [H^+]$$

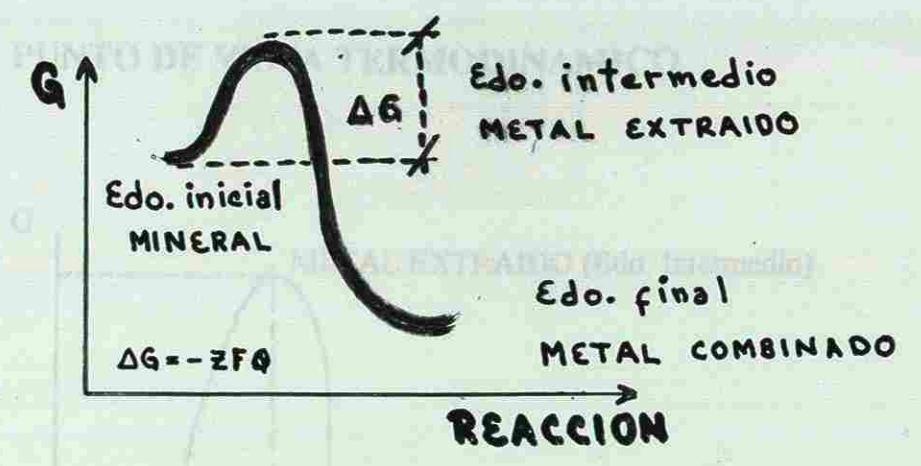
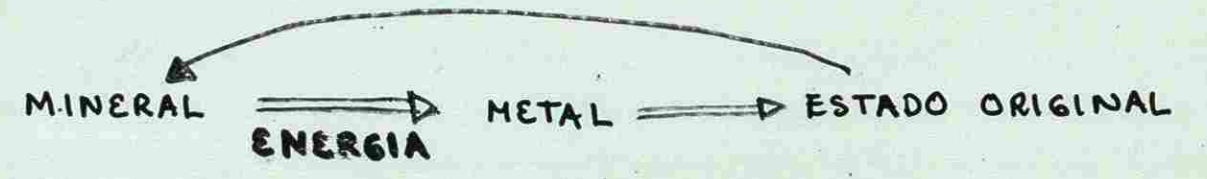
$$E = E^\circ - \frac{0.059}{z} \text{pH}$$





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



POTENCIAL QUIMICO : FACILIDAD CON LA QUE SE LLEVA A CABO UNA REACCION QUIMICA

$$M = M^\circ + RT \ln a$$

POTENCIAL ELECTROQUIMICO : FUERZA PROMOTORA CON LA QUE SE LLEVA A CABO UNA REACCION ELECTROQUIMICA

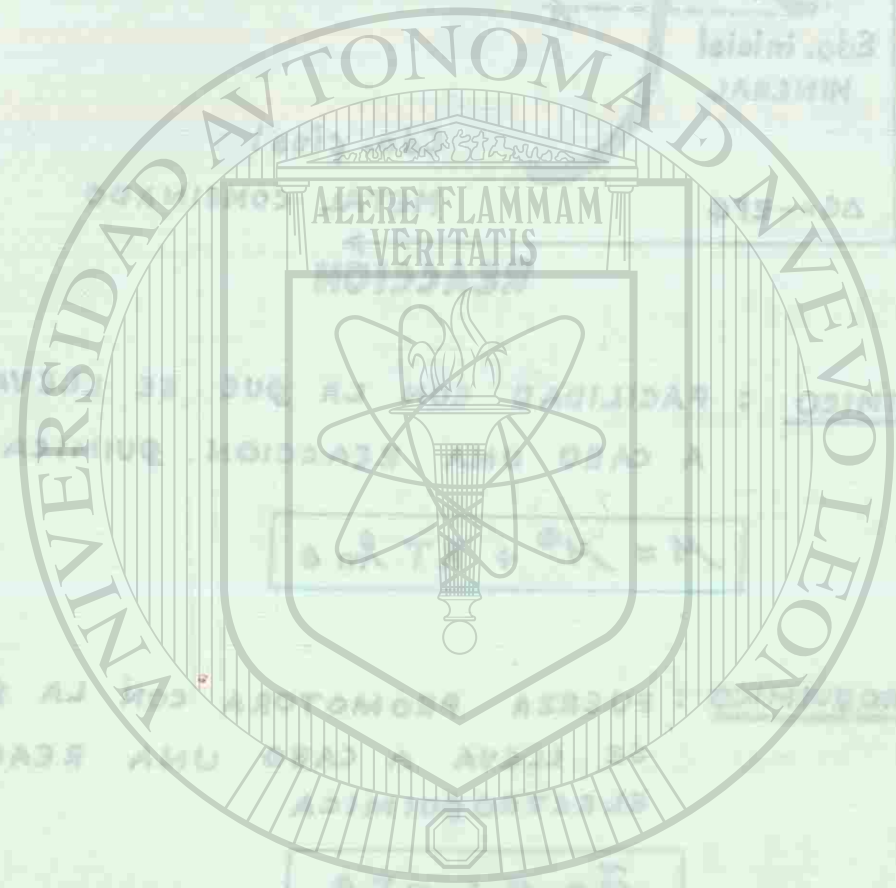
$$\tilde{M} = M + zF\phi$$

CORROSION FENOMENO ELECTROQUIMICO

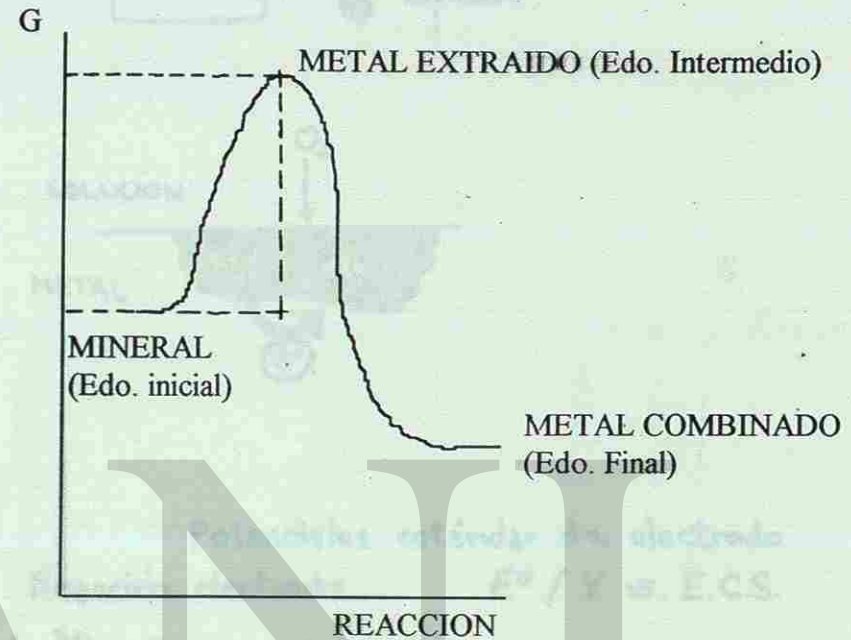
REACCIONES QUIMICAS EN DONDE SE INVOLUCRAN



$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$ $K = \frac{[PRODUCTOS]}{[REACTIVOS]}$



PUNTO DE VISTA TERMODINAMICO

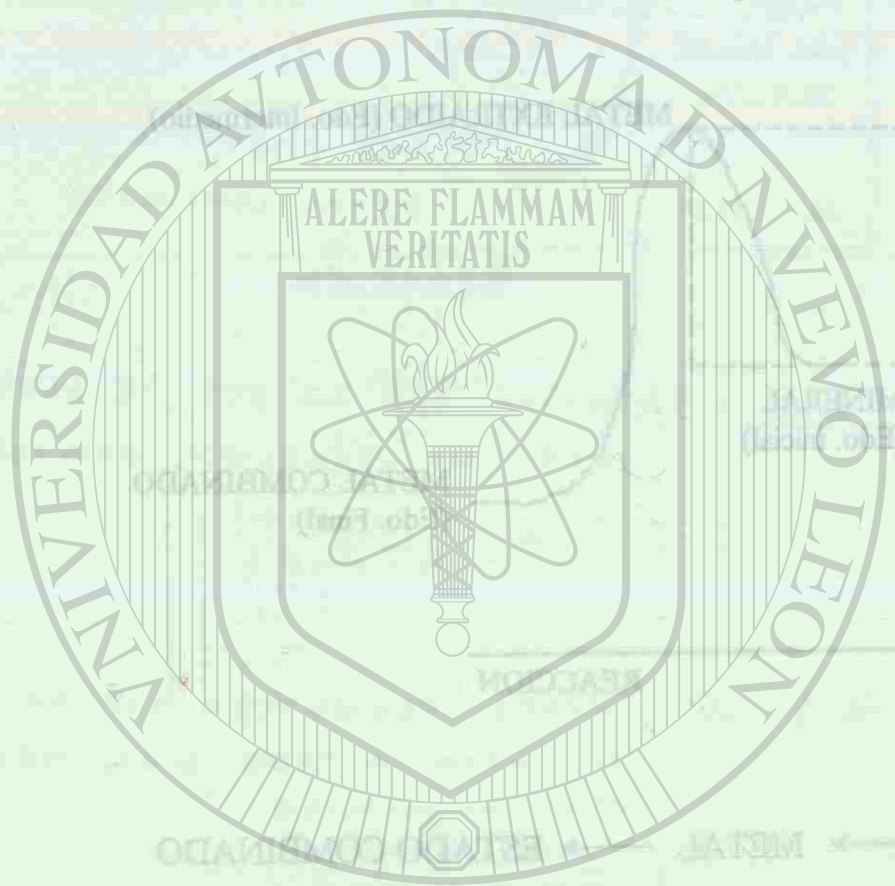


MINERAL → METAL → ESTADO COMBINADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN EN GENERAL

DIRECCIÓN GENERAL

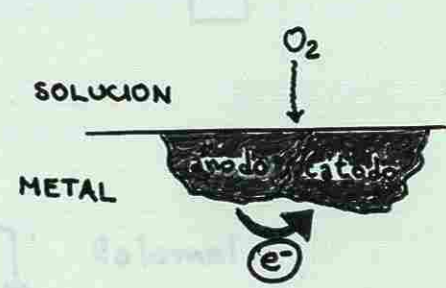
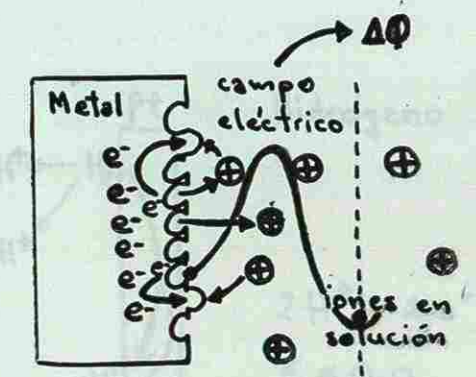
LA CORROSION ES UN FENOMENO [®] ELECTROQUIMICO DONDE EL METAL SUFRE UNA OXIDACION. DEBIDO A LA EXPOSICION AL MEDIO AMBIENTE, TENIENDO COMO RESULTADO EL DETERIORO DE LA ESTRUCTURA COMO UN TODO CUANDO SE ASOCIA EL METAL A CUALQUIER MATERIAL



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

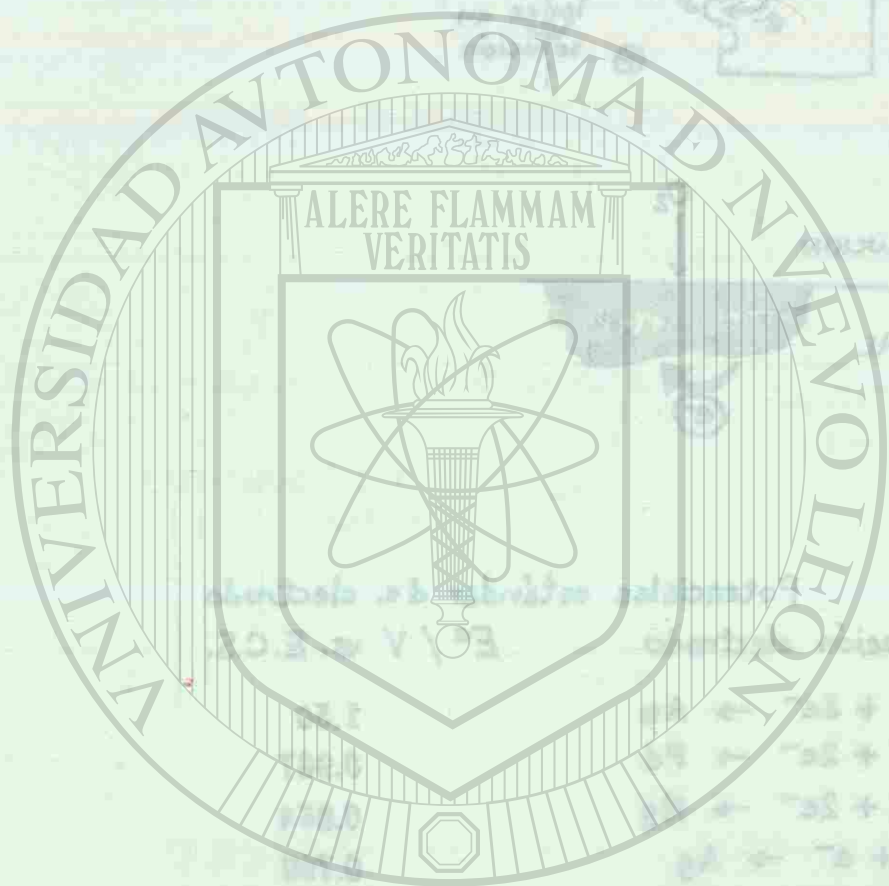
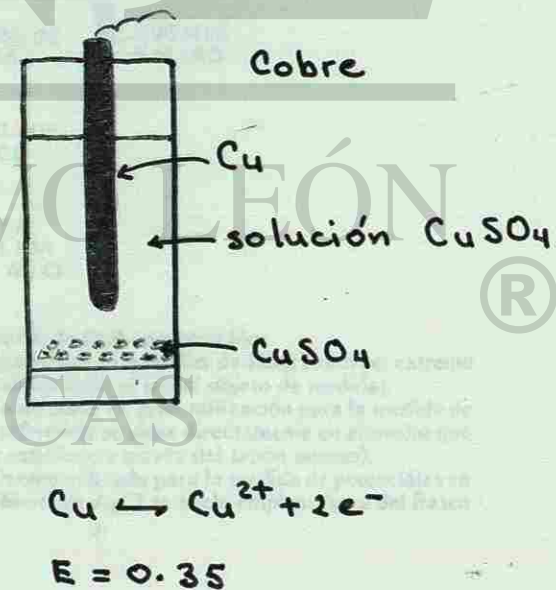
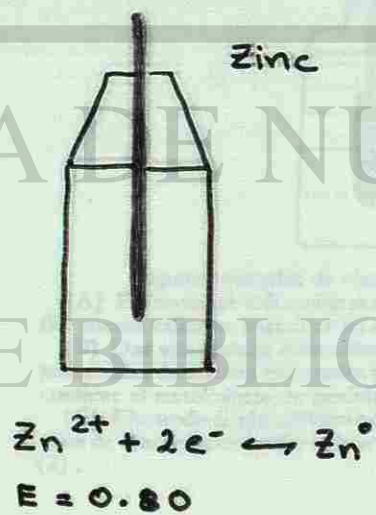
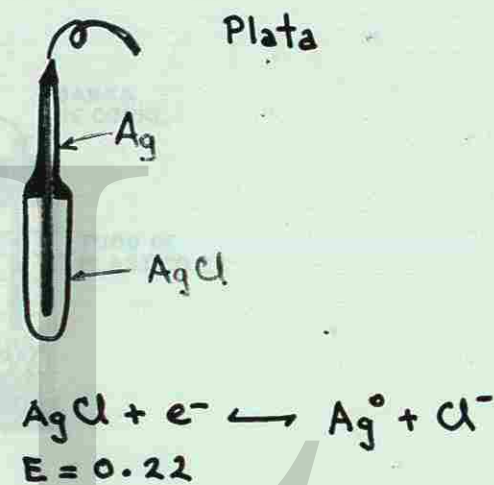
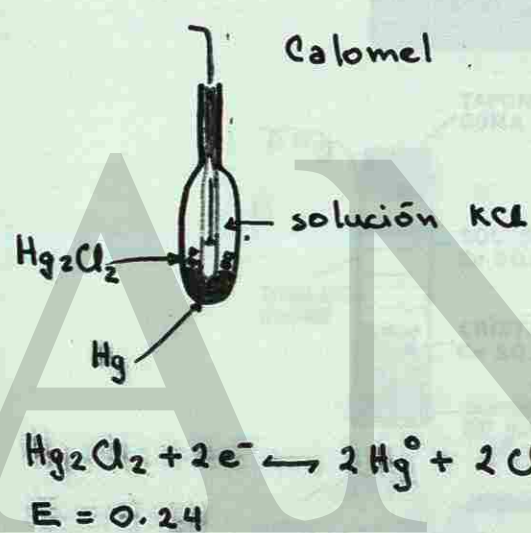
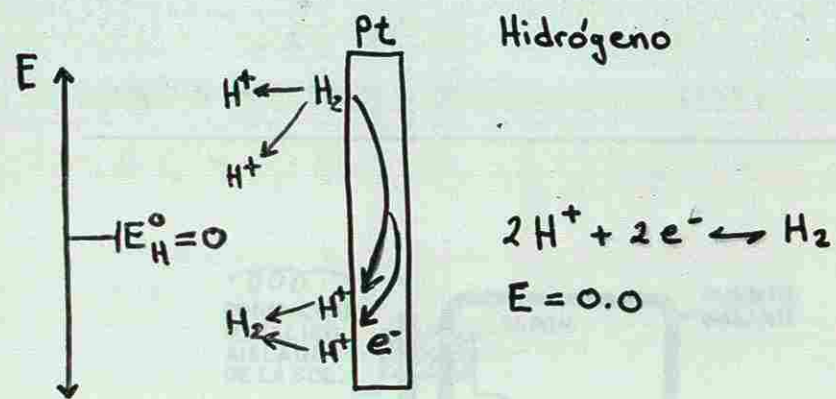
ELECTRODOS DE REFERENCIA



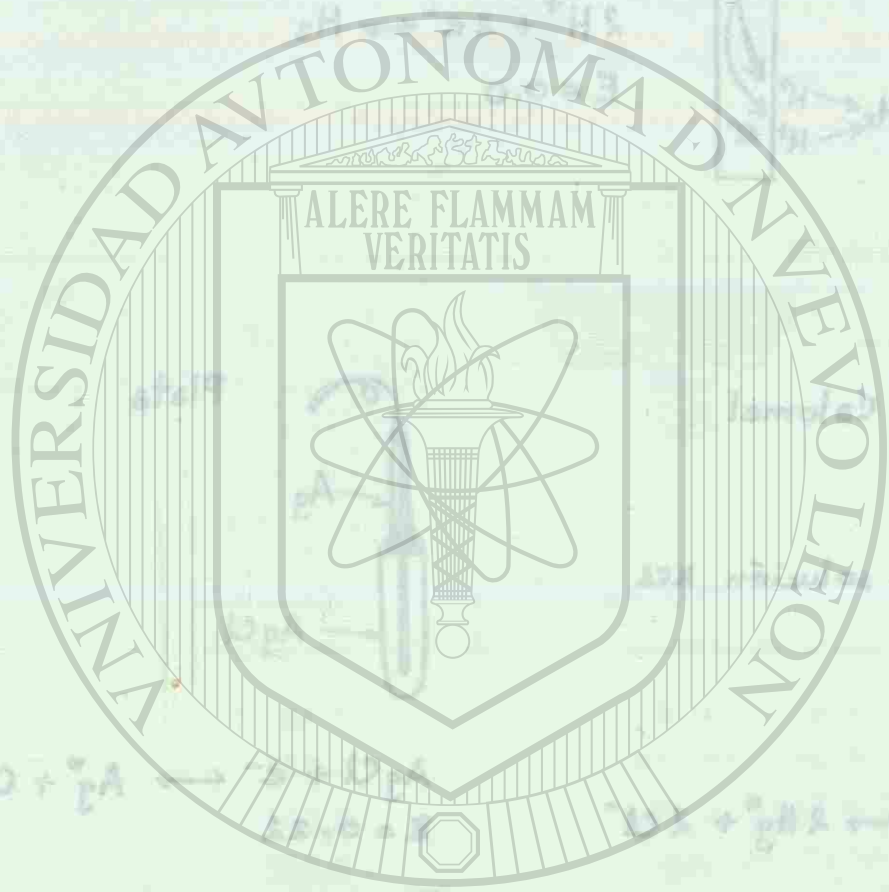
Potenciales estándar de electrodo
E° / V vs. E.C.S.

Reacción electrodo	E° / V vs. E.C.S.
* Au ³⁺ + 3e ⁻ → Au	1.50
● Pd ²⁺ + 2e ⁻ → Pd	0.987
● Hg ²⁺ + 2e ⁻ → Hg	0.854
* Ag ⁺ + e ⁻ → Ag	0.799
● Cu ²⁺ + 2e ⁻ → Cu	0.337
● 2 H ⁺ + 2e ⁻ → H ₂	0.0
● Pb ²⁺ + 2e ⁻ → Pb	- 0.126
● Sn ²⁺ + 2e ⁻ → Sn	- 0.136
● Ni ²⁺ + 2e ⁻ → Ni	- 0.250
● Fe ²⁺ + 2e ⁻ → Fe	- 0.440
● Cr ³⁺ + 3e ⁻ → Cr	- 0.744
● Zn ²⁺ + 2e ⁻ → Zn	- 0.763
● Mn ²⁺ + 2e ⁻ → Mn	- 1.18
● Al ³⁺ + 3e ⁻ → Al	- 1.662
● Mg ²⁺ + 2e ⁻ → Mg	- 2.372

ELECTRODOS DE REFERENCIA



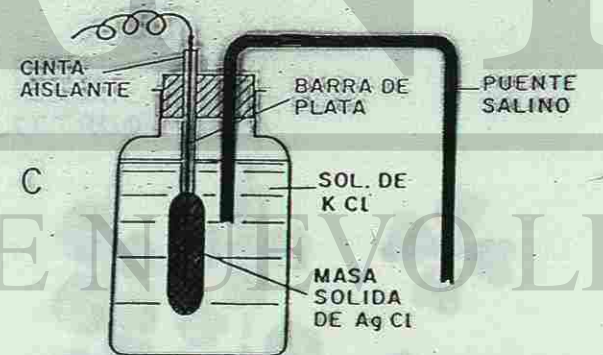
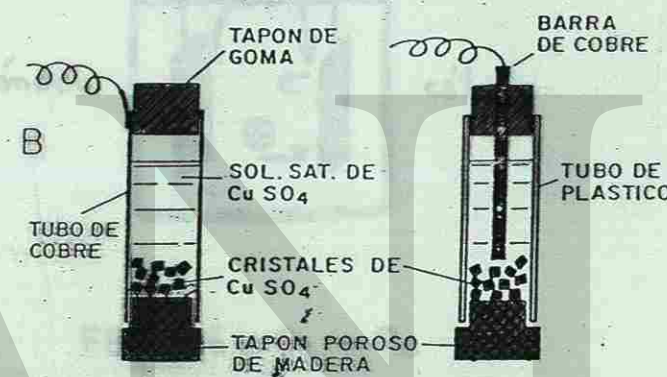
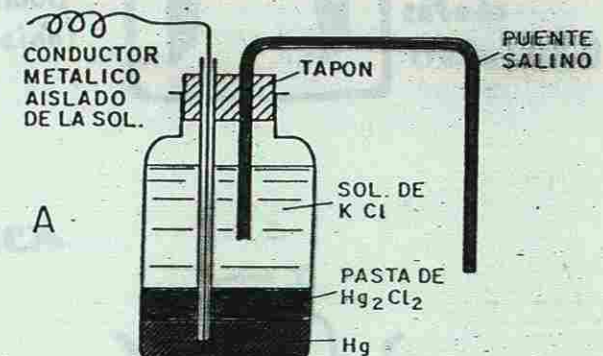
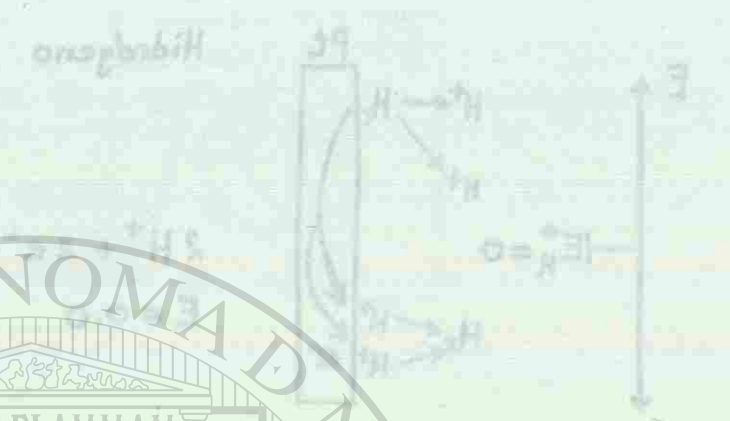
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE

ELECTRODOS DE REFERENCIA



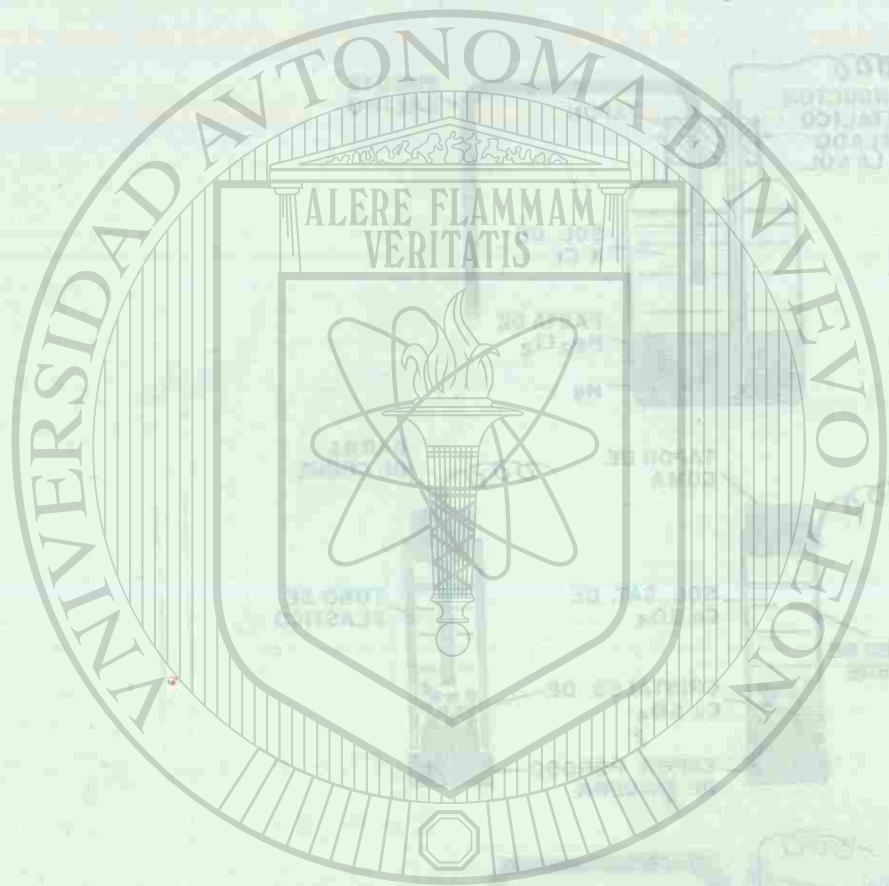
Algunos ejemplos de electrodos de referencia de fácil construcción.

(A) Electrodo de calomelanos empleado principalmente en medidas de laboratorio (el extremo del puente salino se introduce en el electrolito donde se halla el metal objeto de medida).

(B) Dos variantes de electrodos de cobre/sulfato de cobre de gran utilización para la medida de potenciales de metales enterrados (el electrodo de referencia se situa directamente en el medio que contiene el metal objeto de medida; el contacto se establece a través del tapón poroso).

(C) Electrodo de plata/cloruro de plata especialmente utilizado para la medida de potenciales en agua de mar (en este medio la barrita de plata recubierta de AgCl se suele emplear fuera del frasco (2)).

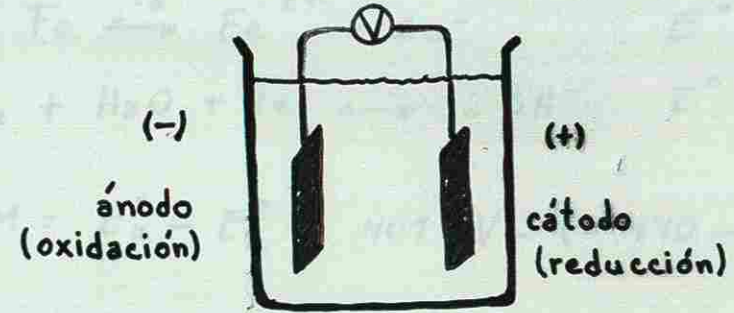




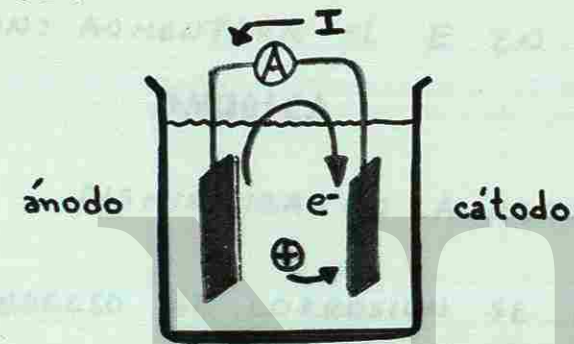
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CELDA ELECTROLITICA

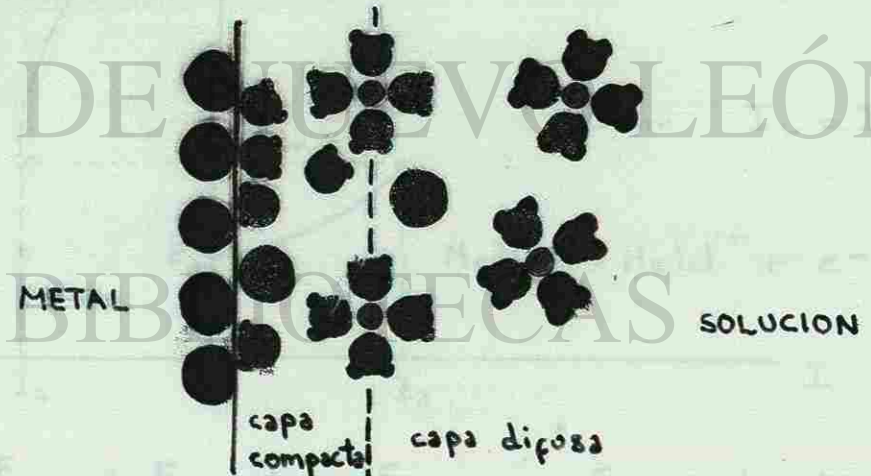


CELDA GALVANICA

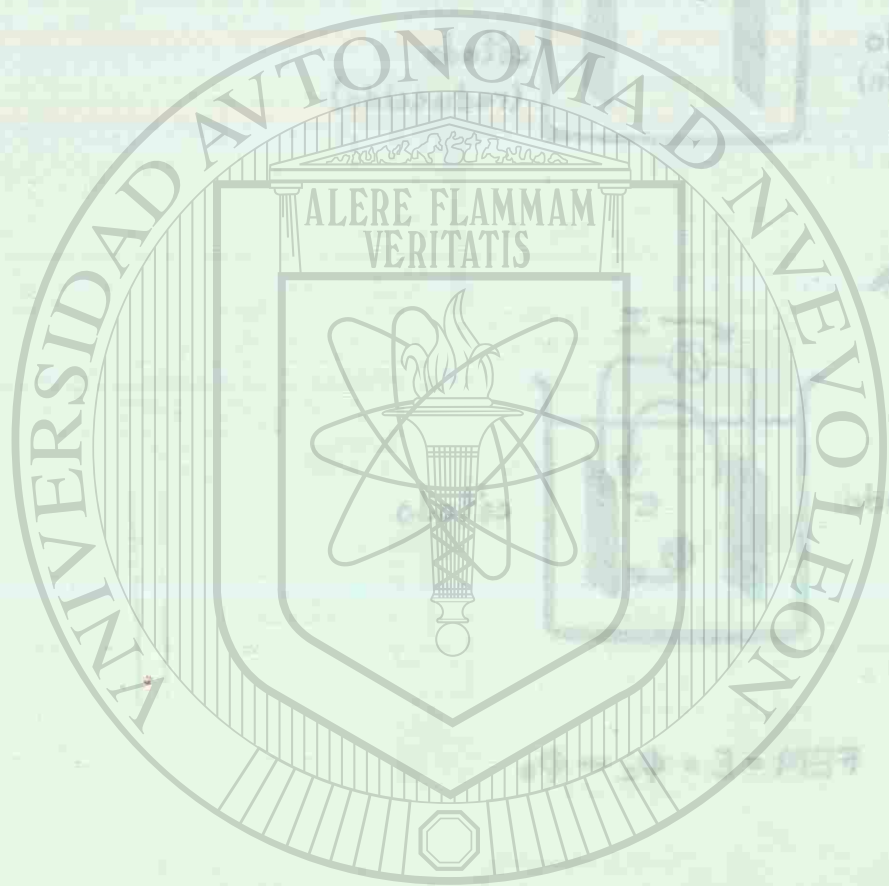


$$FEM = \mathcal{E} = \phi_c - \phi_a$$

DOBLE CAPA ELECTROQUIMICA



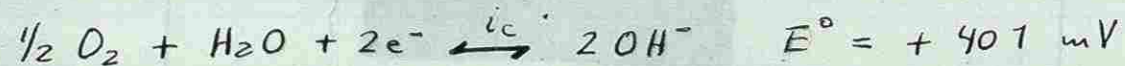
CORROSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

POTENCIAL MIXTO



$$\Delta V = \text{FEM} = E_c^\circ - E_a^\circ = 401 \text{ mV} - (-440 \text{ mV}) = 841 \text{ mV}$$

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

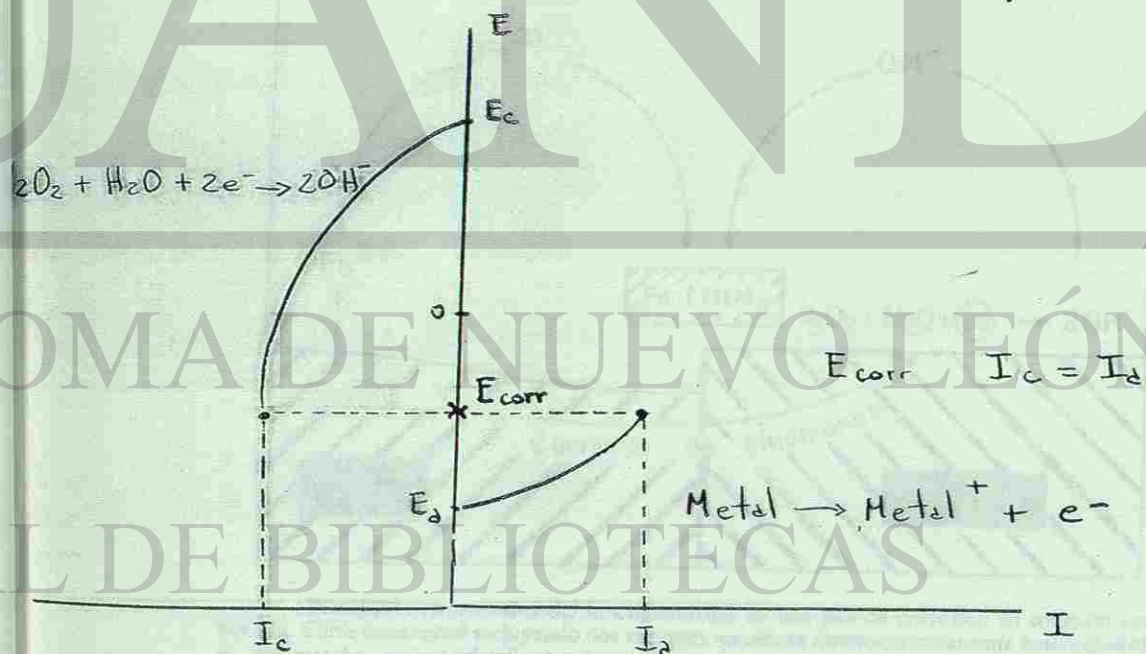
R = Resistencia del circuito

LA POLARIZACION: AUMENTARA EL E EN LA REACCION

ANODICA

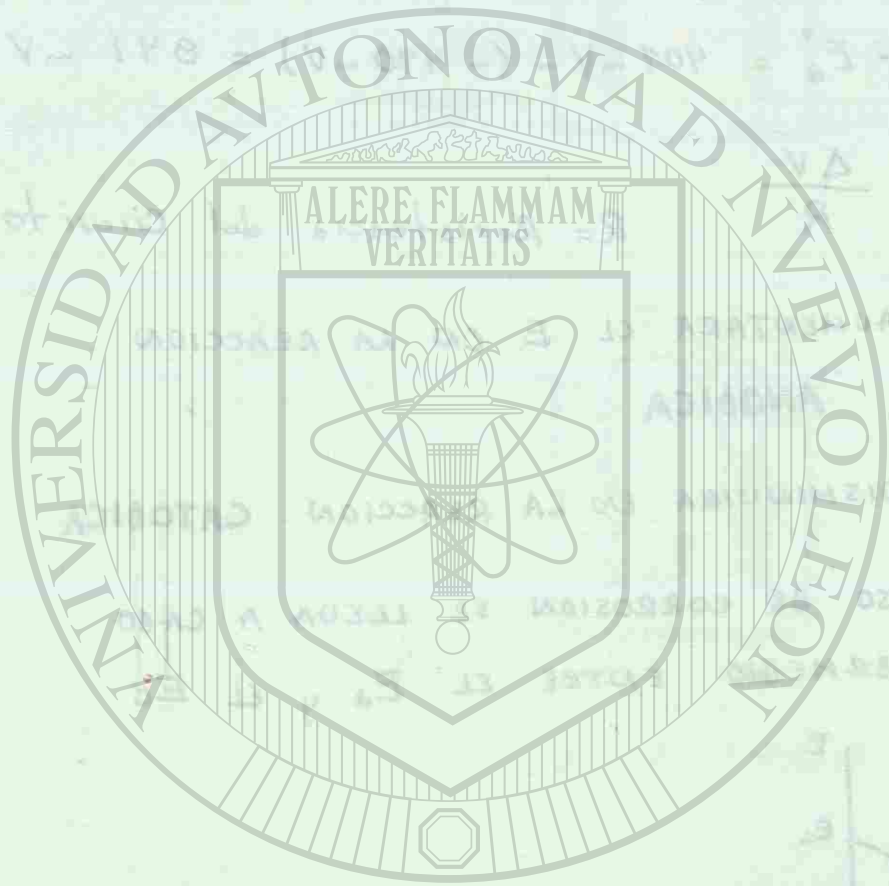
DISMINUIRA EN LA REACCION CATODICA

QUE EL PROCESO DE CORROSION SE LLEVA A CABO A UN E INTERMEDIO ENTRE EL E_a y EL E_c



$$E_{corr} = E_{mixto} = E_{reposo} = E_{circuito\ abierto}$$

$$\text{CORROSION} \quad E_c > E_a \implies I_c \neq I_a$$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

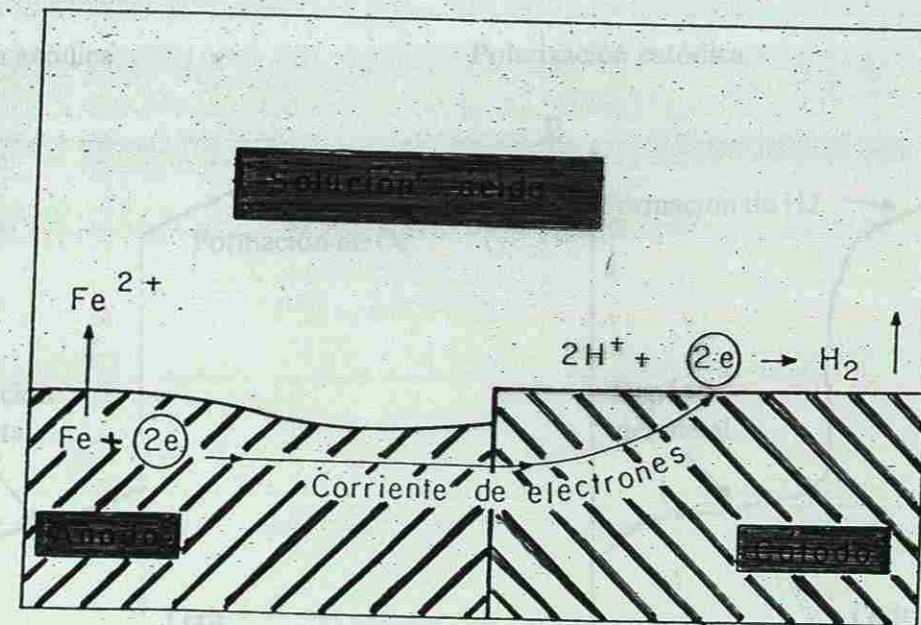


Ilustración esquemática del funcionamiento de una pila de corrosión en solución ácida. Corte transversal incluyendo dos regiones metálicas electroquímicamente heterogéneas (p. ej., dos metales, granos cristalinos o fases distintas).

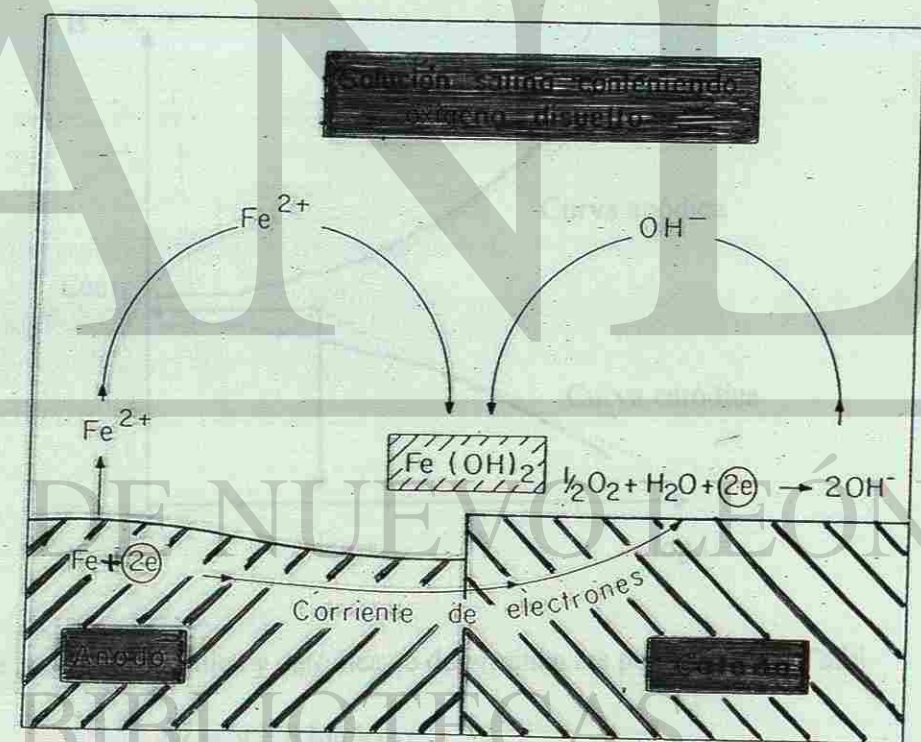
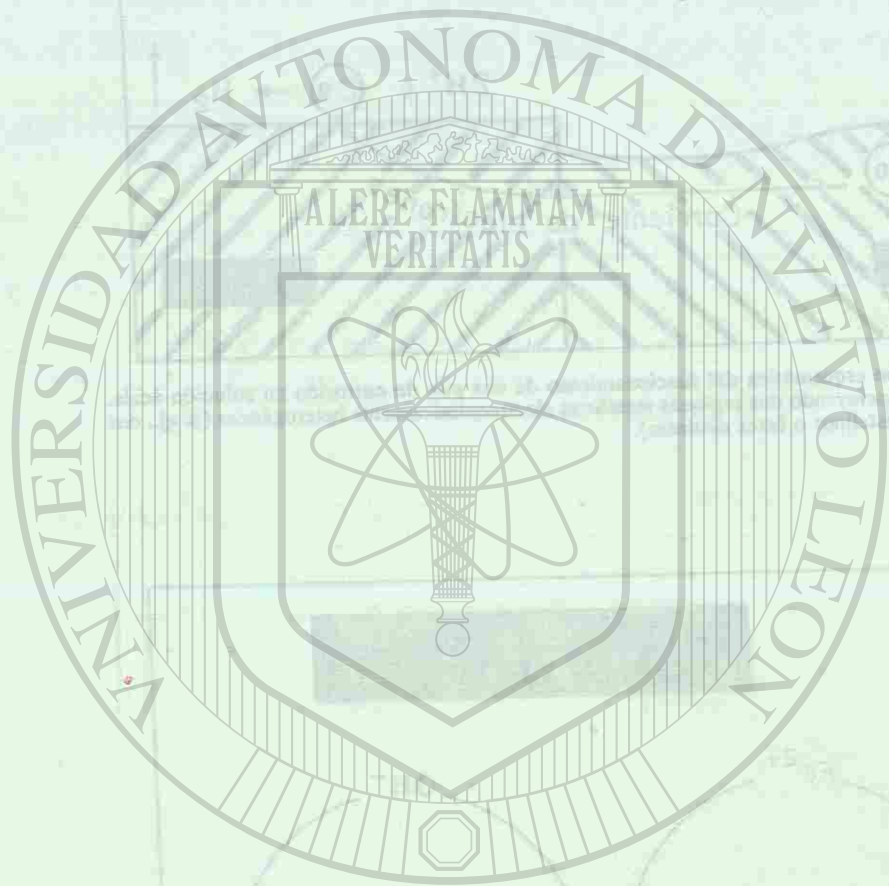


Ilustración esquemática del funcionamiento de una pila de corrosión en solución neutra aireada. Corte transversal incluyendo dos regiones metálicas electroquímicamente heterogéneas (p. ej., dos metales, granos cristalinos o fases distintas).

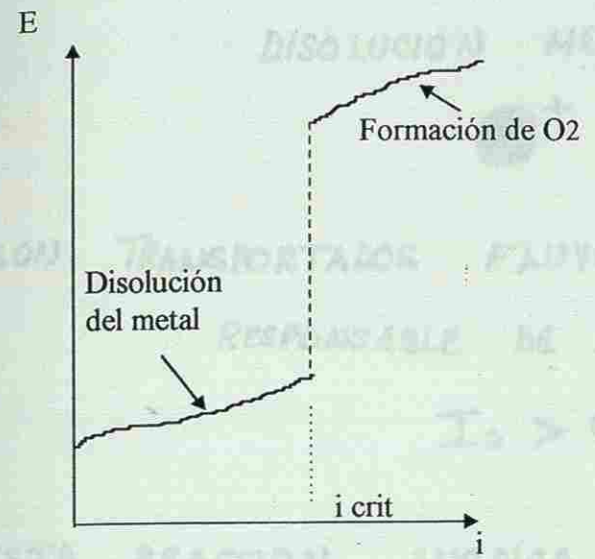


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

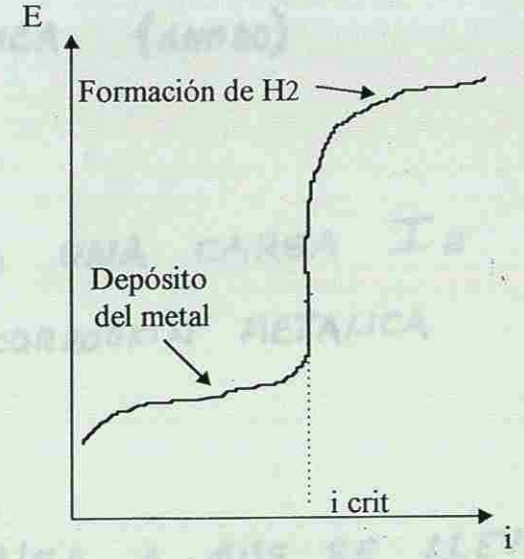
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Una curva de polarización es el gráfico que representa al potencial vs la densidad de corriente (i):

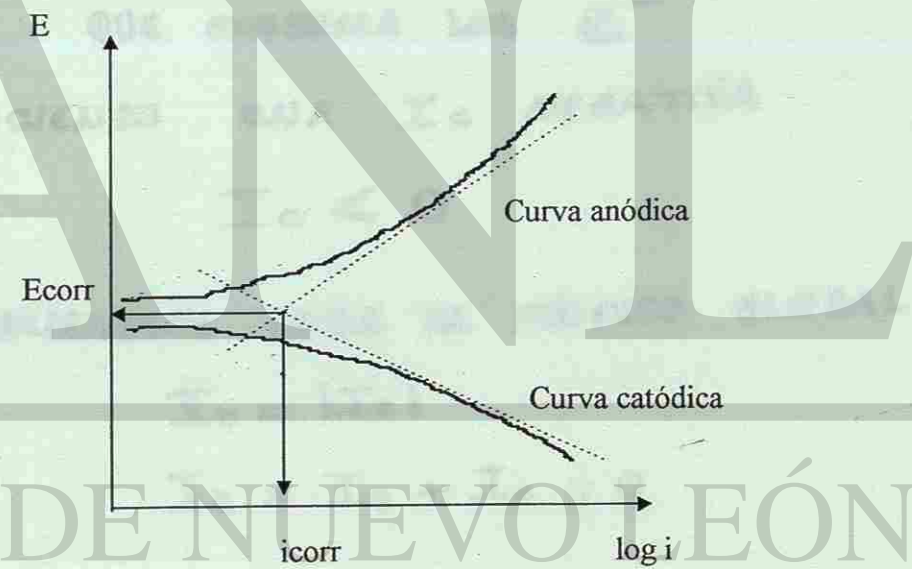
Polarización anódica:



Polarización catódica:



En un sólo gráfico E vs i se ven representadas las mismas curvas de polarización:



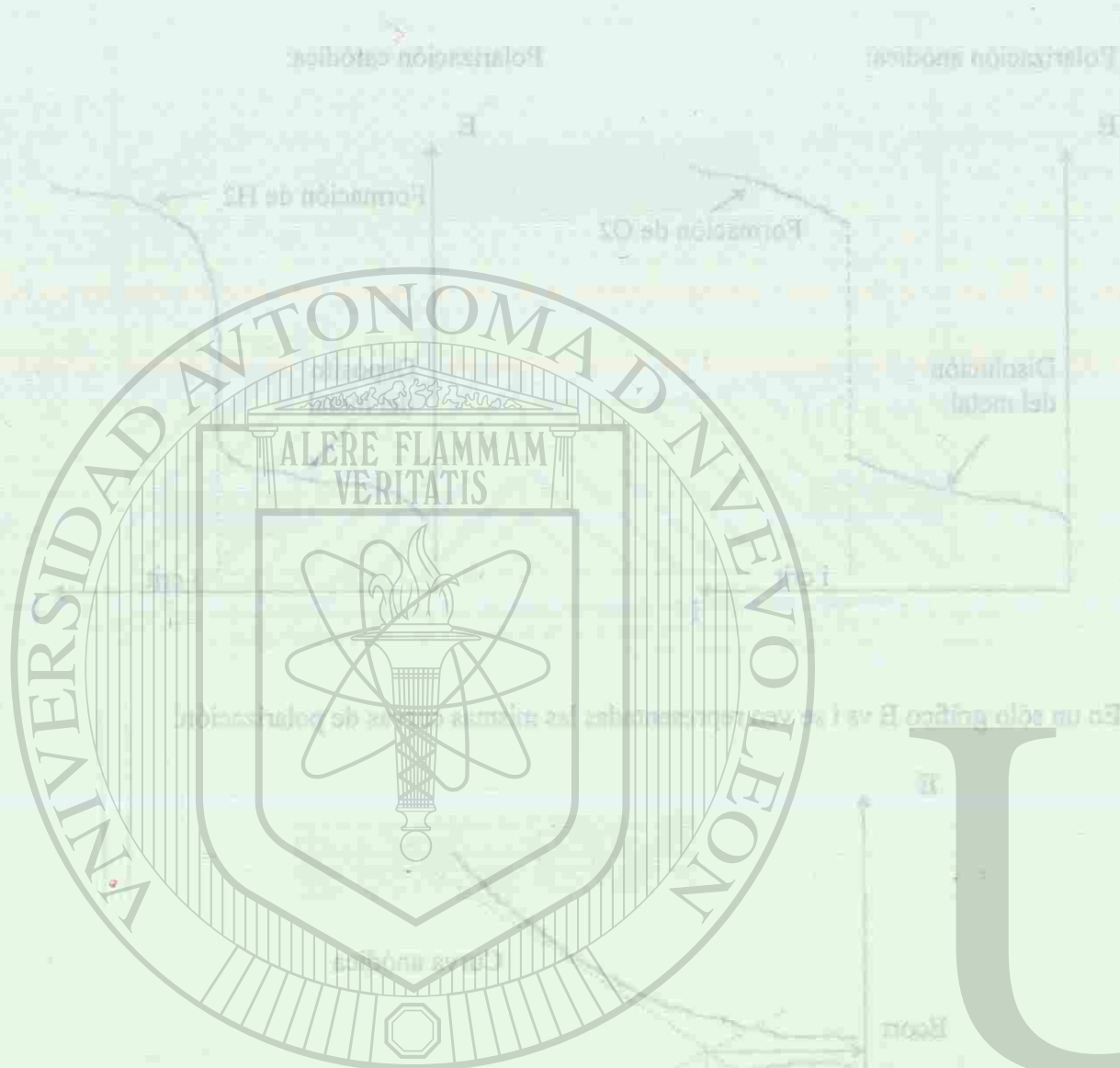
A partir de las curvas anódica y catódica se determinan las pendientes de Tafel

$$\eta = a + b \log i_{corr}$$

estas pendientes van a trazar el Diagrama de Evans, el cual da a conocer a partir de la intersección de las pendientes la i_{corr} del sistema en estudio:



Una curva de polarización es el gráfico que representa el potencial vs la densidad de corriente (i)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

EN UN FENOMENO DE CORROSION

DISOLUCION METALICA (ANODO)



SON TRANSPORTADOS FLUYENDO UNA CARGA I_a
RESPONSABLE DE LA CORROSION METALICA

$I_a > 0$

ESTA REACCION ANODICA OBLIGA A QUE SE LLEVE
A CABO UNA REACCION CATODICA

QUE CONSUMA LOS e^-

PRODUCIENDO UNA I_c NEGATIVA

$I_c < 0$

COMPLIENDOSE PARA EL PROCESO GLOBAL

$I_a = |I_c|$

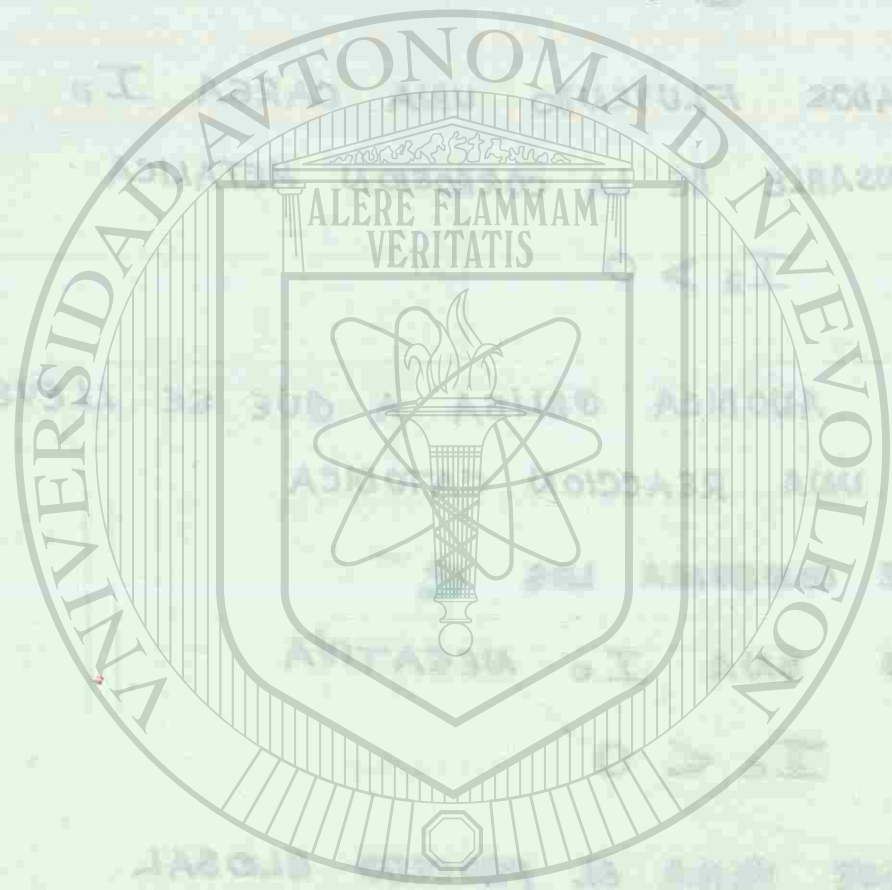
$I_t = I_a + I_c = 0$

$E_{corr} \quad I_a = |I_c| = I_{corr}$

Si hay un SOBREPOTENCIAL (η)

se genera ΔE y $\Delta I \neq 0$

$I_t = I_a + I_c = I_{oxid} - |I_{red}| = \Delta I$



SI SE FORZA AL METAL POR DEBAJO DE SU

$$E^{\circ}$$

DEJA DE PRODUCIRSE LA REACCION OXIDACION



$$I_t = I_c$$

SIMILARMENTE

SI SE DESPLAZA EL E POR ENCIMA DEL E°

LA REACCION ANODICA ES LA QUE OCURRE



$$I_t = I_a$$

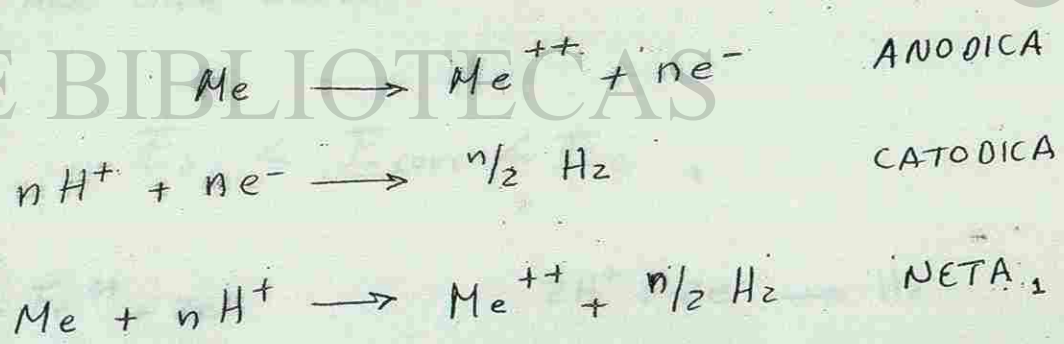
EL COMPORTAMIENTO DE LA CORROSION DE LOS METALES

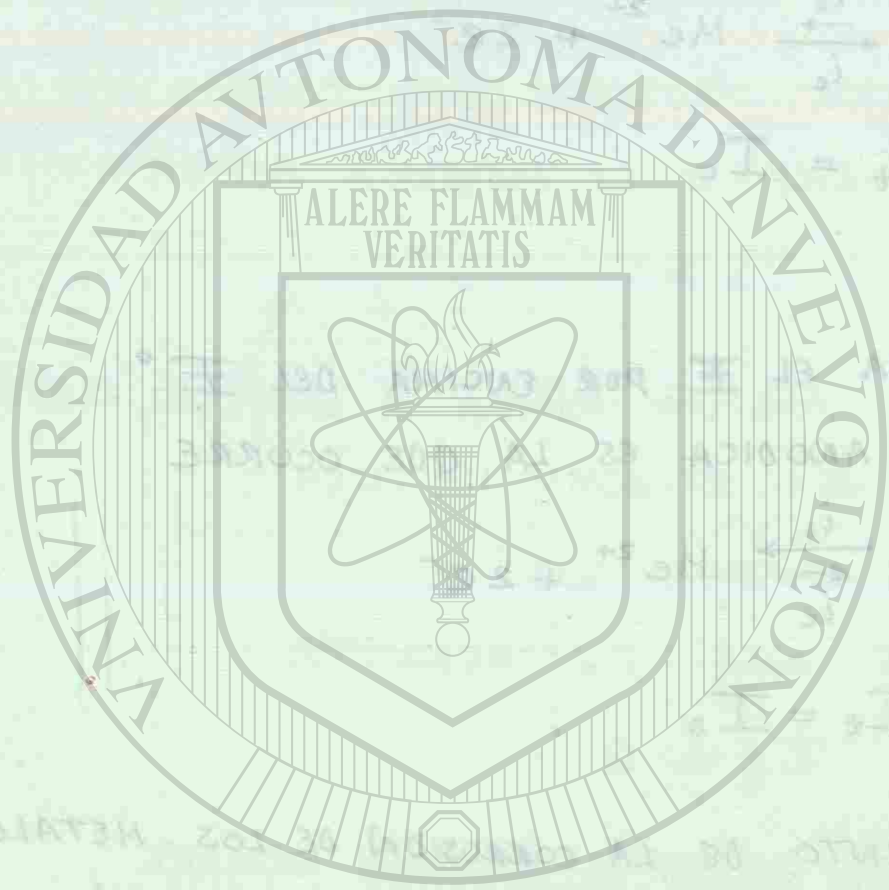
E mixto (Wagner - Traud)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

POSTULA QUE LA REACCION NETA DE CORROSION ES LA SUMA DE DOS SEMIRREACCIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





LA RELACION ENTRE LA I y EL E (ϕ)
 SE ESCRIBE POR LAS ECUACIONES
 (Butler - Volmer)

CINETICA ELECTROQUIMICA

$$I_1 = I_{1a} + I_{1c} = I_{o1} \left(e^{\left(\frac{\phi - \phi_{o1}}{b'_{1a}}\right)} - e^{\left(\frac{-\phi - \phi_{o1}}{b'_{1c}}\right)} \right)$$

$$I_2 = I_{2a} + I_{2c} = I_{o2} \left(e^{\left(\frac{\phi - \phi_{o2}}{b'_{2a}}\right)} - e^{\left(\frac{-\phi - \phi_{o2}}{b'_{2c}}\right)} \right)$$

$$I_T = I_1 + I_2 = I_{1a} + I_{1c} + I_{2a} + I_{2c}$$

$$b'_{1a} = \frac{RT}{(1-\alpha_1)nF}$$

$$b'_{2a} = \frac{RT}{(1-\alpha_2)nF}$$

$$b'_{1c} = \frac{RT}{-\alpha_1 nF}$$

$$b'_{2c} = \frac{RT}{-\alpha_2 nF}$$

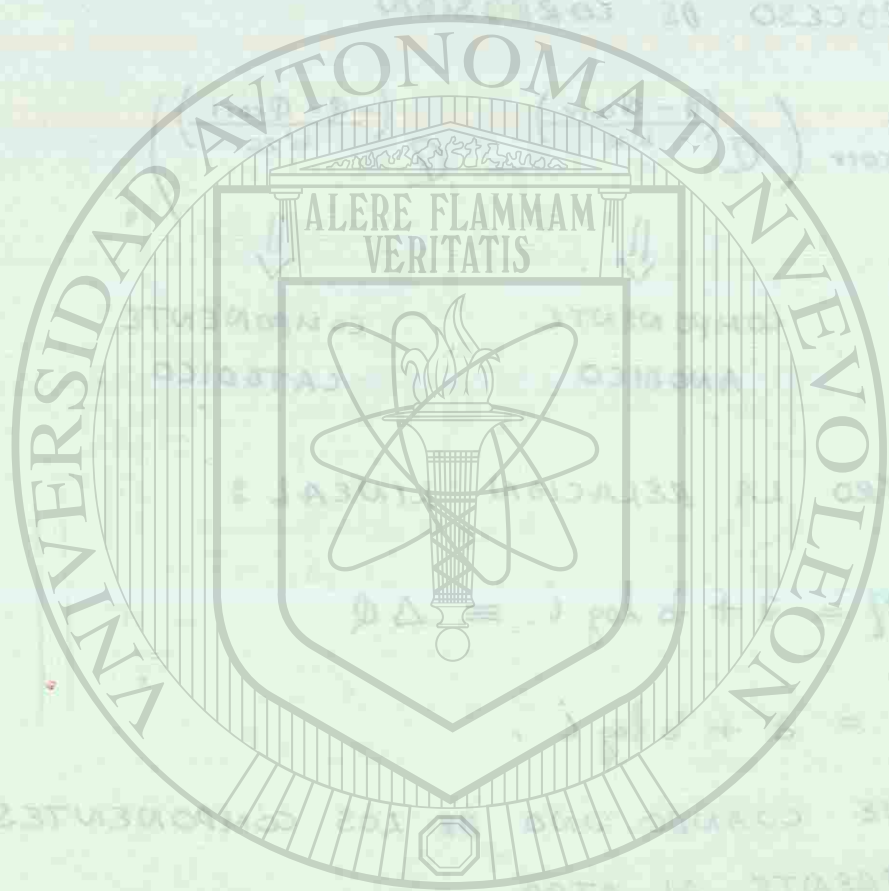
SE RELACIONAN CON TAFEL

PENDIENTE TAFEL $b = 2.3 b'$

PARA CADA REACCION

$$E_o < E_{corr} < E_c$$

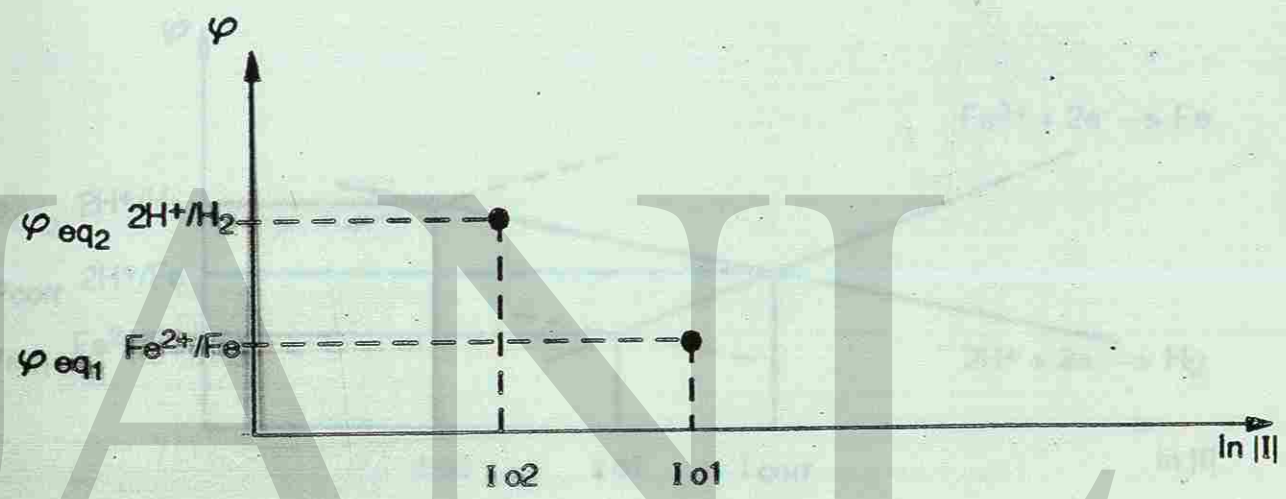




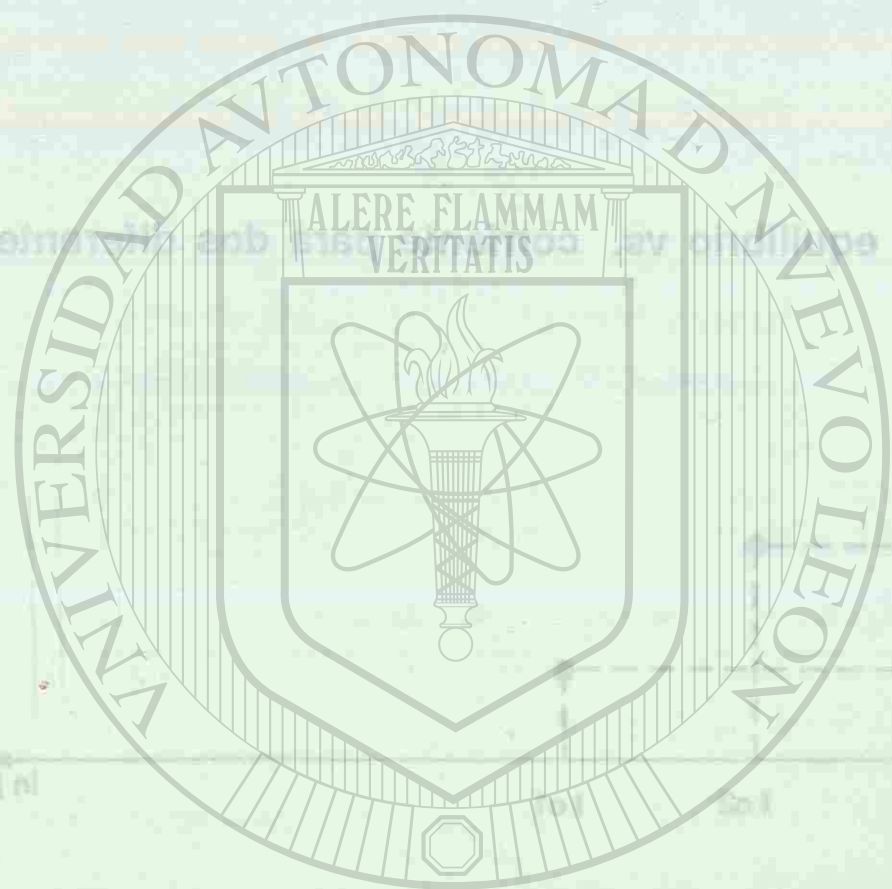
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

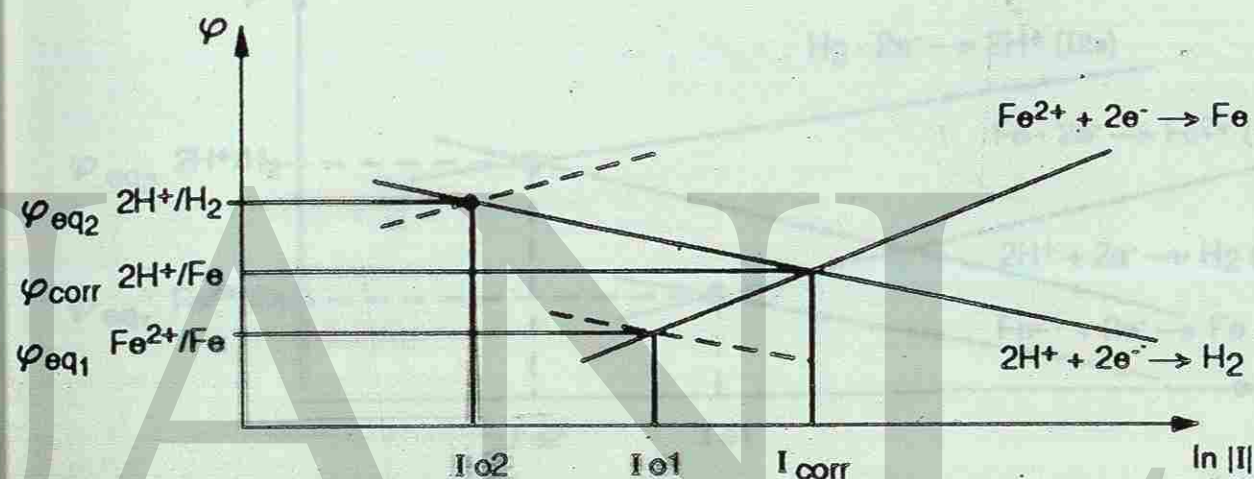
Potencial de equilibrio vs. corriente para dos diferentes reacciones



®

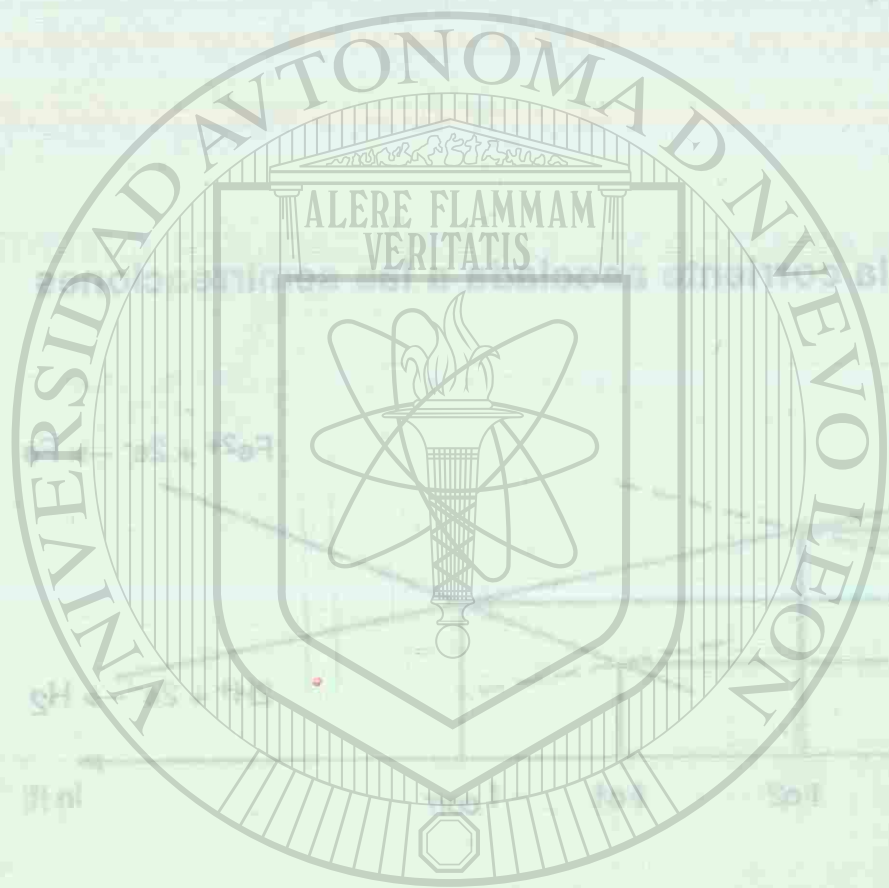


Predicción de la corriente asociada a las semirreacciones

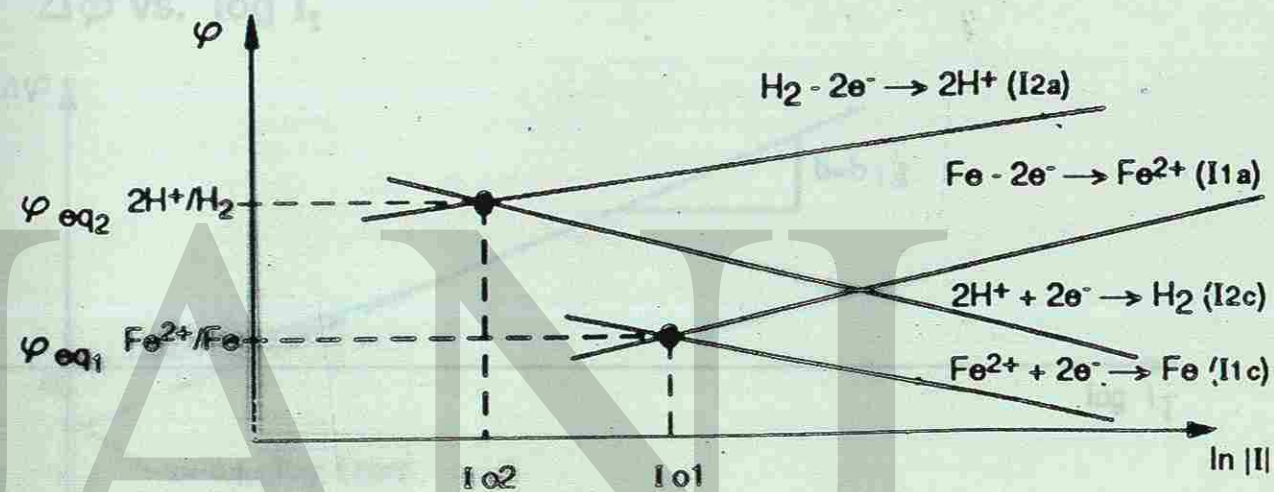


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



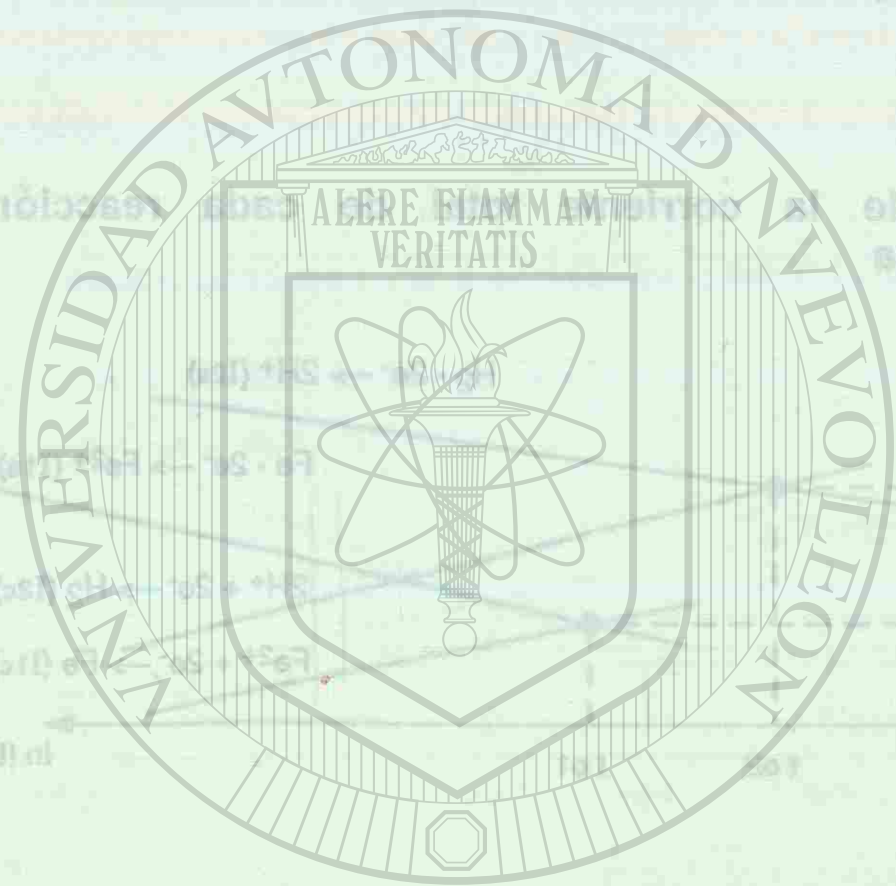
Predicción de la corriente total de cada reacción electroquímica



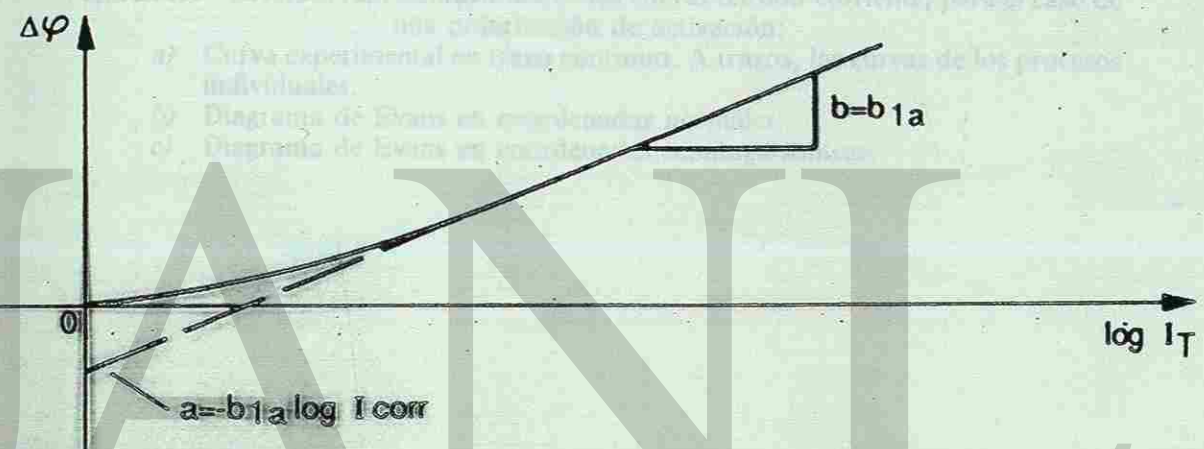
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





Obtención de la pendiente de Tafel mediante diagramas $\Delta\varphi$ vs. $\log I_T$



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



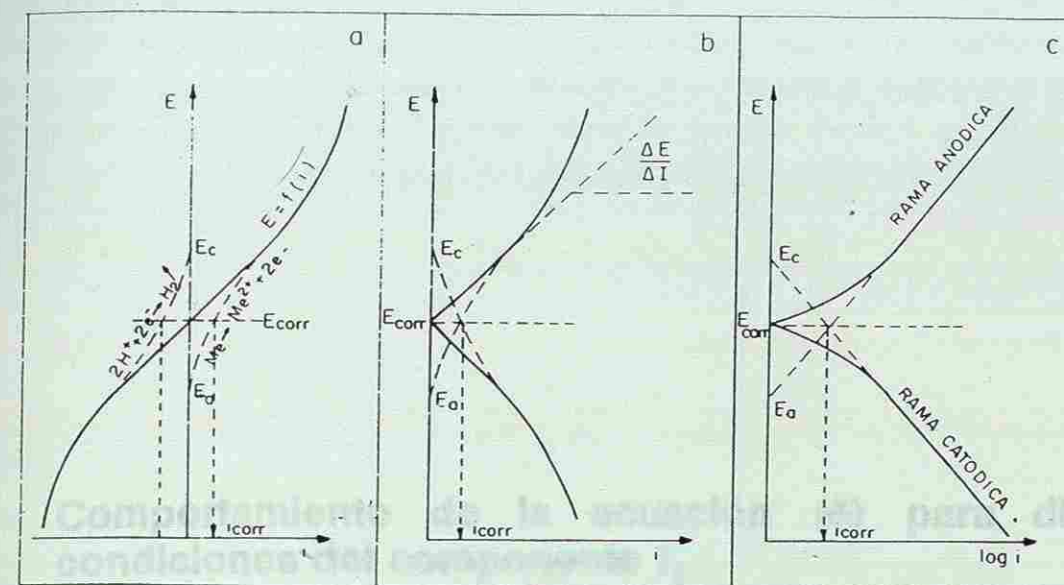
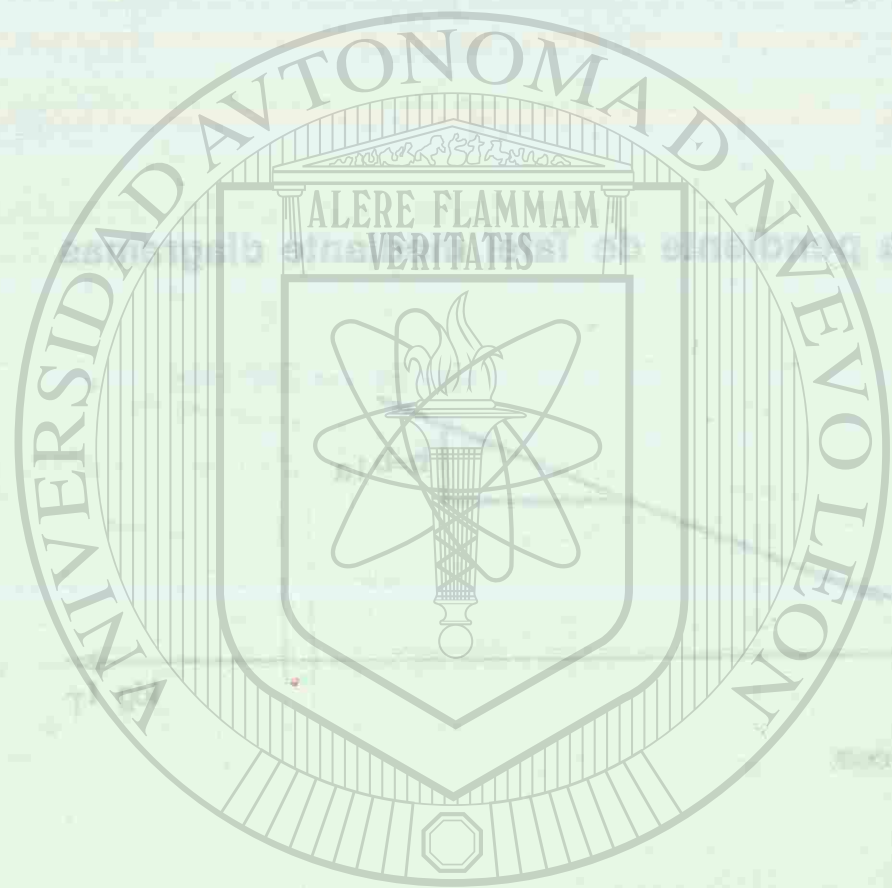


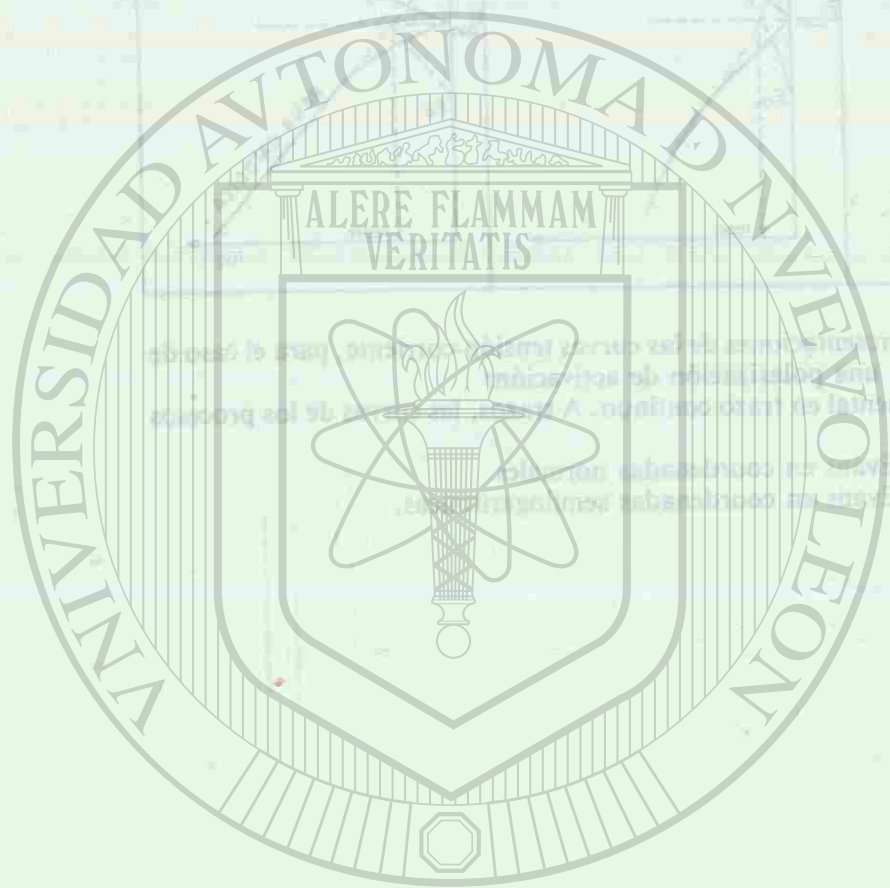
Figura 3.3.—Diversas representaciones de las curvas tensión-corriente, para el caso de una polarización de activación:

- Curva experimental en trazo continuo. A trazos, las curvas de los procesos individuales.
- Diagrama de Evans en coordenadas normales.
- Diagrama de Evans en coordenadas semilogarítmicas.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





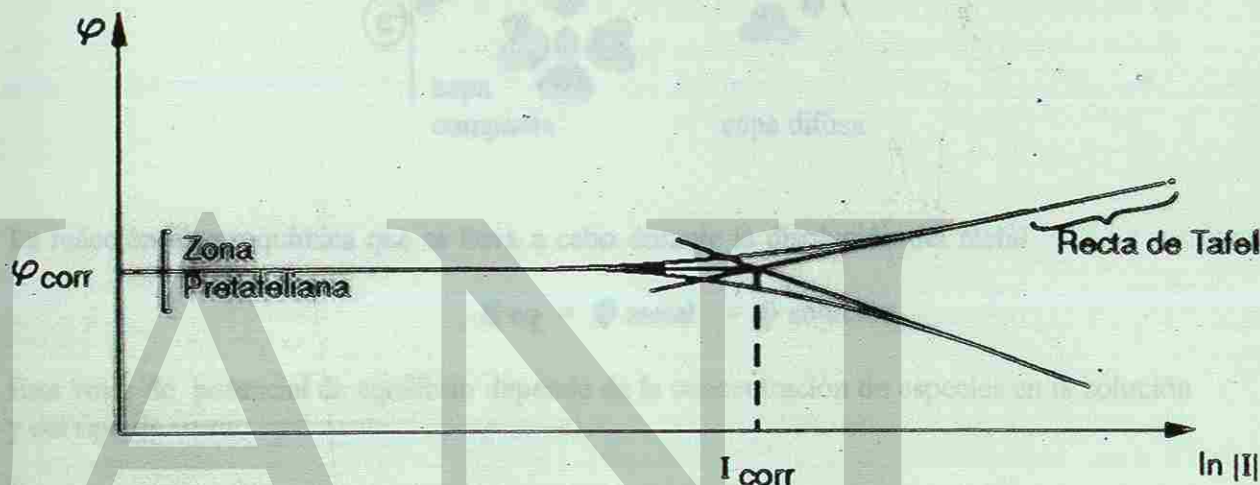
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

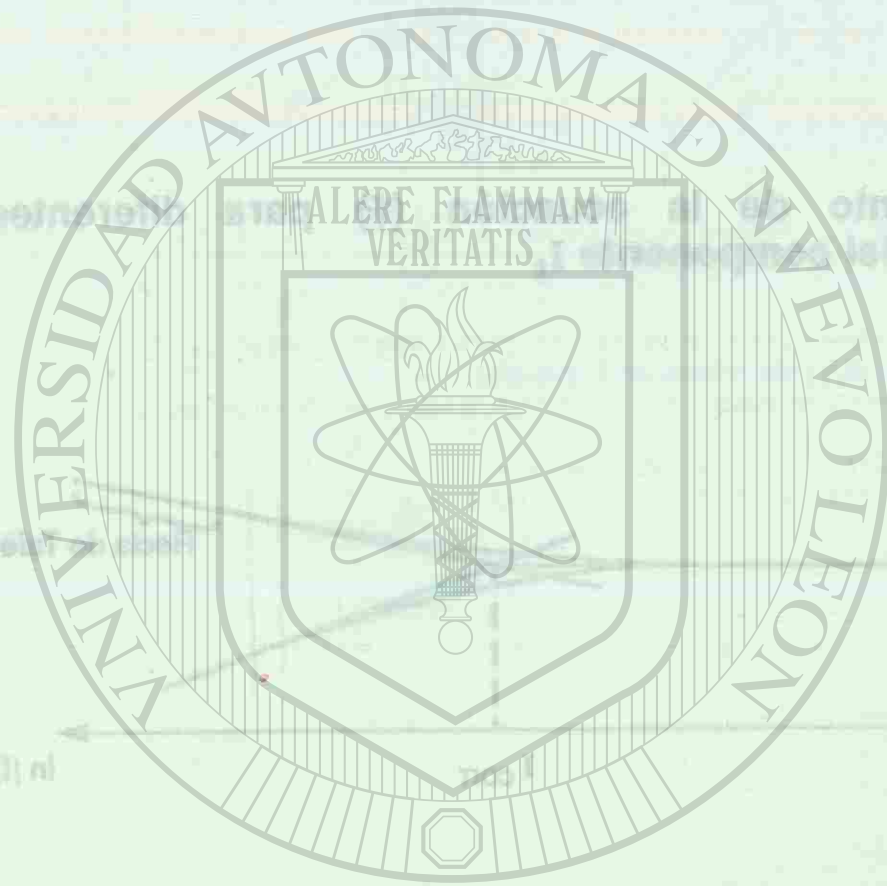
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

POLARIZACIÓN

Las celdas exhiben una diferencia de potencial (ϕ) cuando se sumergen en cualquier solución acuosa, esto es debido a que en un campo eléctrico debido a la formación de la doble capa electroquímica (ϕ_0) que es una capa compuesta por iones en la interfase metal-electrolito.

Comportamiento de la ecuación (*) para diferentes condiciones del componente I_1





POLARIZACION

Los metales adquieren una diferencia de potencial (ΔE) cuando se sumergen en cualquier solución acuosa, esto es porque se genera un campo eléctrico debido a la formación de la doble capa electroquímica (d_e) que es una capa compacta con cargas en la interfase metal-solución:

La formación de la doble capa electroquímica (d_e) que es una capa compacta con cargas en la interfase metal-solución, esta barrera de potencial se puede modificar, es decir, la velocidad del proceso de corrosión puede variar mediante variaciones de potencial de electrodo, polarización del metal.

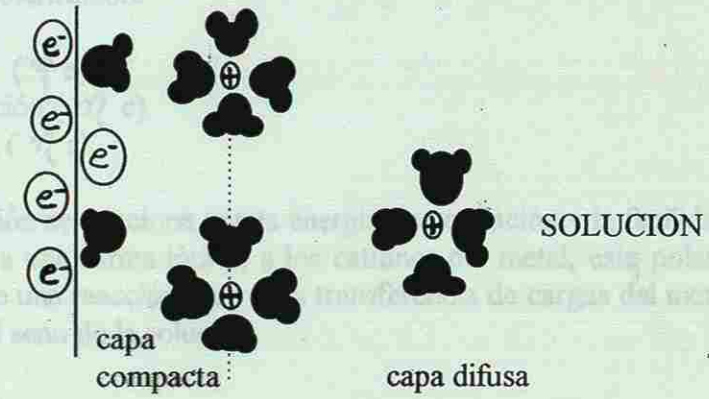
Se conocen tres tipos de polarización:

Polarización de activación

Polarización de concentración

Polarización de resistencia

La polarización de activación se produce cuando el metal en solución para pasar a disolverse, con la formación de cargas positivas del metal, esta barrera de potencial se puede modificar, es decir, la velocidad del proceso de corrosión puede variar mediante variaciones de potencial de electrodo, polarización del metal.



La reacción electroquímica que se lleva a cabo durante la disolución del metal

$$E_{eq} = \Phi_{metal} - \Phi_{solución}$$

Este valor de potencial de equilibrio depende de la concentración de especies en la solución y del tipo de metal.

Es decir, el metal sufrirá una corrosión, alejándose por lo tanto del equilibrio, este proceso de corrosión sucede cuando el potencial del metal deja de ser el potencial de equilibrio desplazándose a un cierto valor de potencial (η) expresando este cambio de potencial de la siguiente forma:

$$\Phi_{metal} = \Phi_{metal} + \eta$$

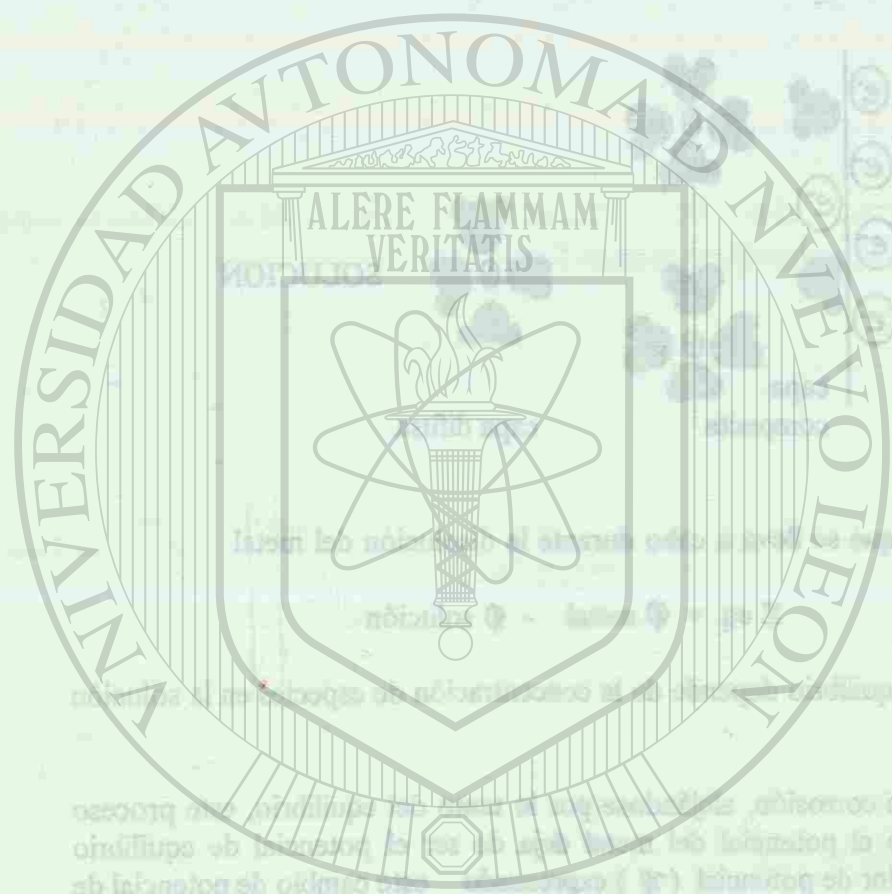
$$E_{eq} = [\Phi_{metal} + \eta] - \Phi_{solución}$$

a este desplazamiento de potencial se le llama SOBREPOTENCIAL.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

13396



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

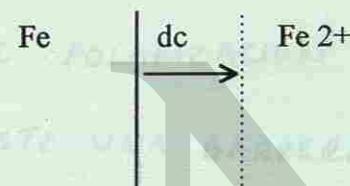
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La curva de polarización es la relación entre el potencial impuesto a un electrodo y la intensidad medida debido a ese potencial, como ya se mencionó anteriormente, existe una barrera de energía que la reacción de corrosión tiene que vencer (energía de activación) para que el metal pase a disolución, con la formación de **cargas positivas del metal**, esta barrera de corrosión se puede modificar, es decir, la **velocidad del proceso de corrosión** puede variar mediante variaciones de potencial de electrodo, **polarizando al metal**.

Se conocen tres tipos de polarización:

- Polarización de activación (η_a)
- Polarización de concentración (η_c)
- Polarización de resistencia (η_r)

La polarización de activación se relaciona con la energía de activación y la facilidad con que el metal en solución pasa a una forma iónica, a los cationes del metal, esta polarización se asocia al paso más lento de una reacción, que es la transferencia de cargas del metal a través de la interfase (dc) hasta el seno de la solución:

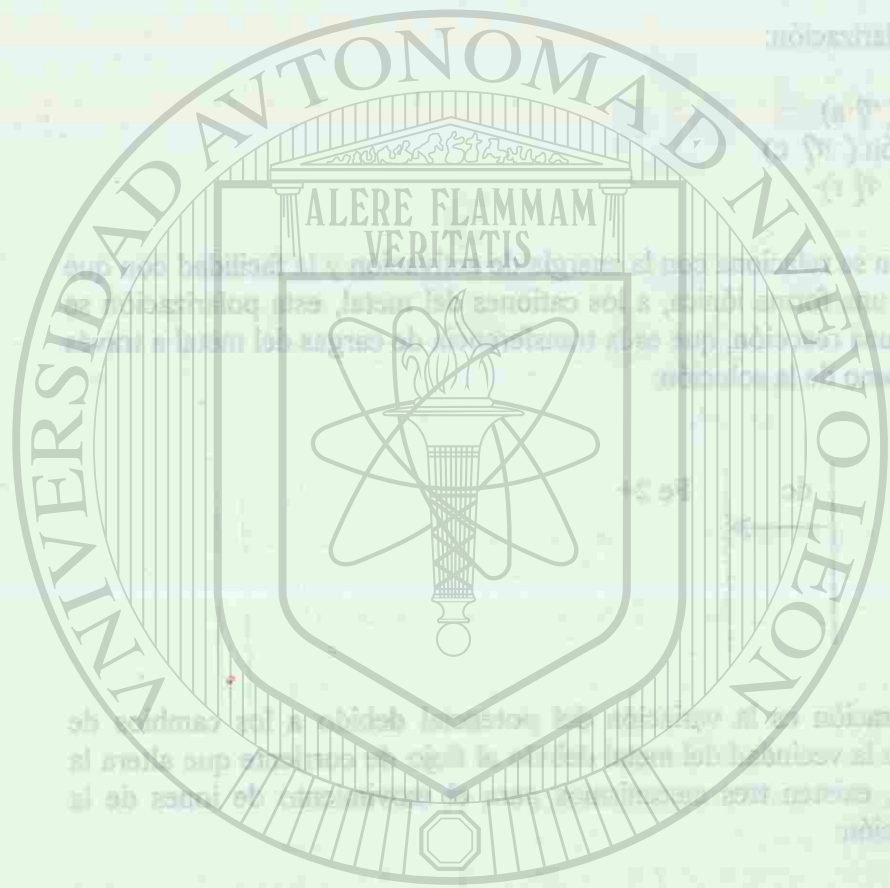


La polarización de concentración es la variación del potencial debido a los cambios de concentración que existen en la vecindad del metal debido al flujo de corriente que altera la composición de la solución, existen tres mecanismos para el movimiento de iones de la superficie del metal a la solución:

- Difusión
- Migración
- Convección o agitación.

La polarización de resistencia se genera por una caída de potencial (**IR**) en las vecindades del metal a consecuencia de la inmediata capa de solución en contacto con el metal, de la formación de películas u óxidos en la superficie del metal, y de productos de corrosión poco conductores.

146885



398821

POLARIZACION

OXIDACION - REDUCCION

Desplaza el EQUILIBRIO a una DIRECCION

∴ EL SISTEMA SE POLARIZA CAMBIANDO LA MAGNITUD DE LA I

ESTE DESPLAZAMIENTO DE E CANTIFICA ESA POLARIZACION

$$\eta = E - E_{\text{corr}}$$

FENOMENOS DE POLARIZACION

EXISTE UNA BARRERA DE E QUE LIMITA LA VELOCIDAD DE LA REACCION.

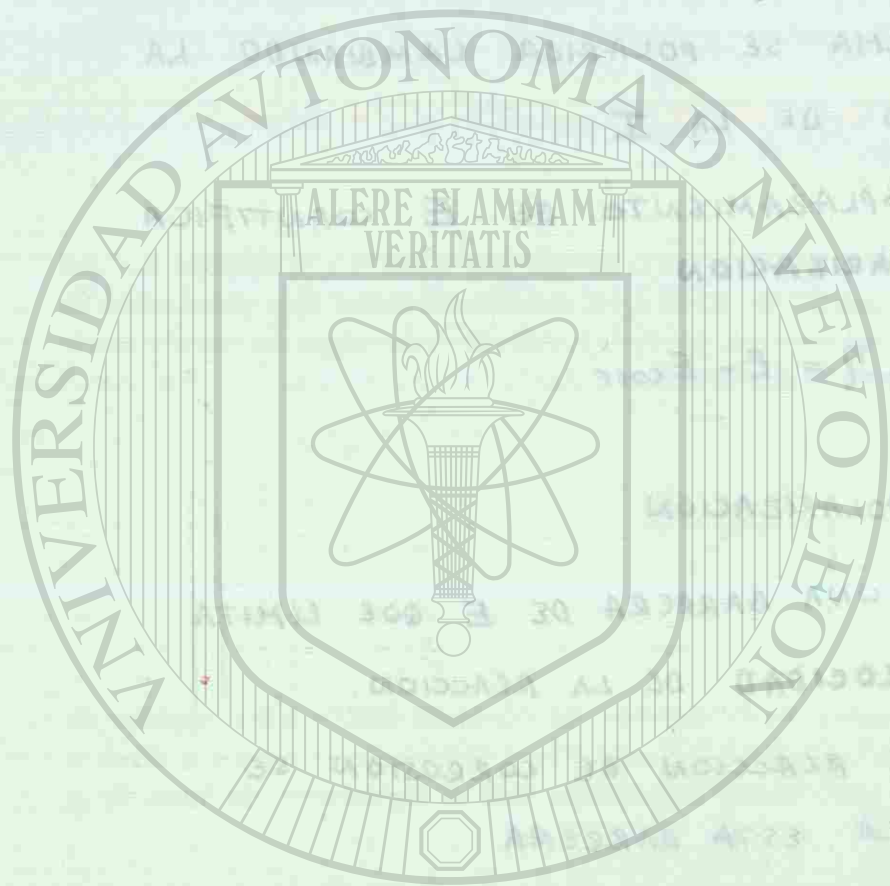
EN LA REACCION DE CORROSION SE MODIFICA ESTA BARRERA

∴ SE MODIFICA LA VELOCIDAD DE CORROSION POR VARIACIONES DE POTENCIAL

ESTAS BARRERAS DE E

- POLARIZACION DE ACTIVACION η_a
- POLARIZACION DE CONCENTRACION η_c
- POLARIZACION DE RESISTENCIA η_r

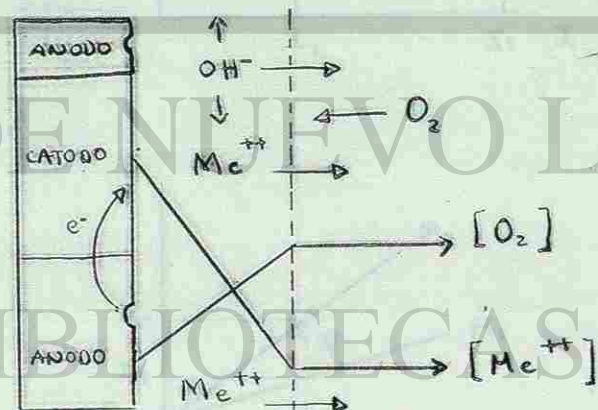
CONDICIONAN LAS ETAPAS PARCIALES DEL PROCESO DE CORROSION

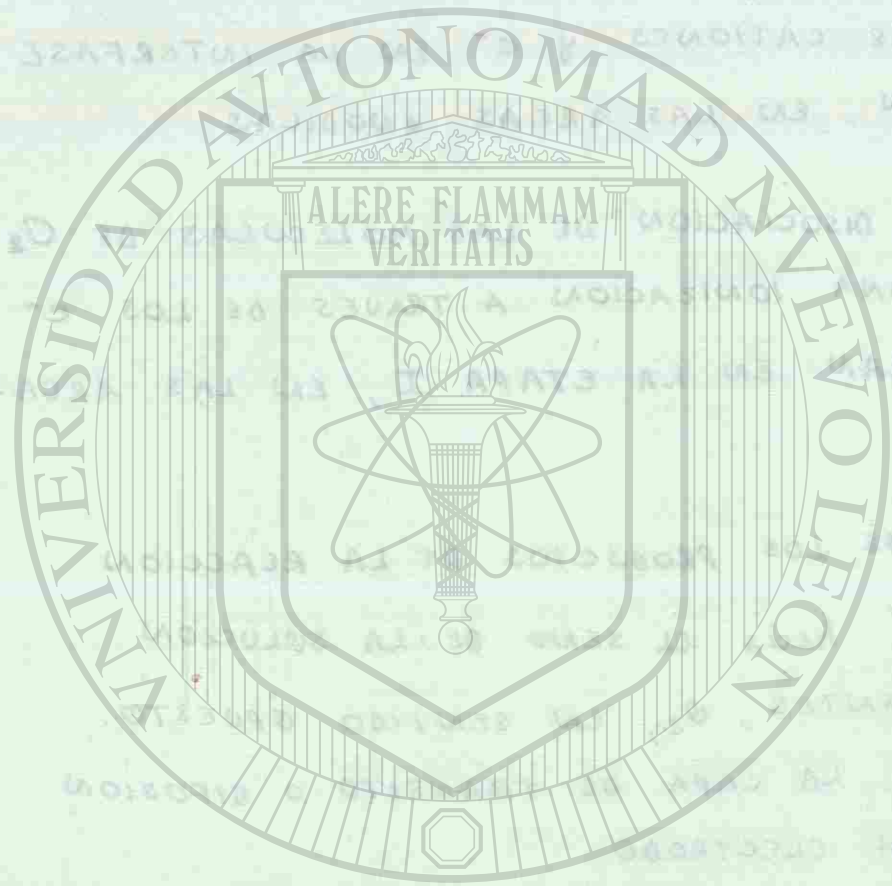


EN TODA REACCION DE CORROSION INTERVIENEN VARIAS ETAPAS EN SERIE:

LA MAS LENTA ES LA QUE CONTROLA LA VELOCIDAD DEL PROCESO GLOBAL

- I GENERACION DE CATIONES $y e^-$ EN LA INTERFASE METAL/SOLUCION, EN LAS AREAS ANODICAS
- II ADSORCION Y DISOCIACION DE LAS MOLECULAS DE O_2 SEGUIDA DE UNA IONIZACION A TRAVES DE LOS e^- QUE SE LIBERAN EN LA ETAPA I, EN LAS AREAS CATORICAS
- III TRANSPORTE DE LOS PRODUCTOS DE LA REACCION Me^{++} y OH^- hacia EL SENO DE LA SOLUCION y LOS REACTANTES, O_2 , EN SENTIDO OPUESTO A TRAVES DE LA CAPA DE TRANSITO O DIFUSION QUE RODEA AL ELECTRODO





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ENSAYOS DE POLARIZACION

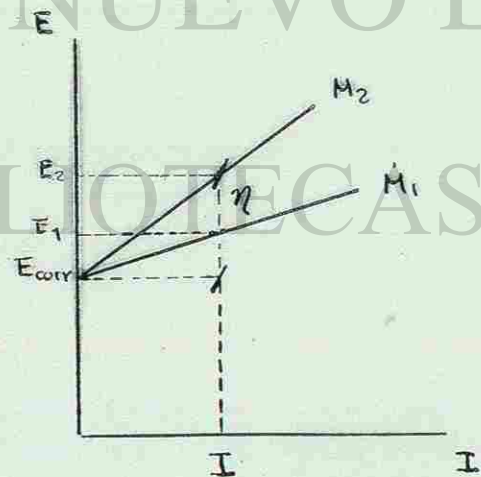
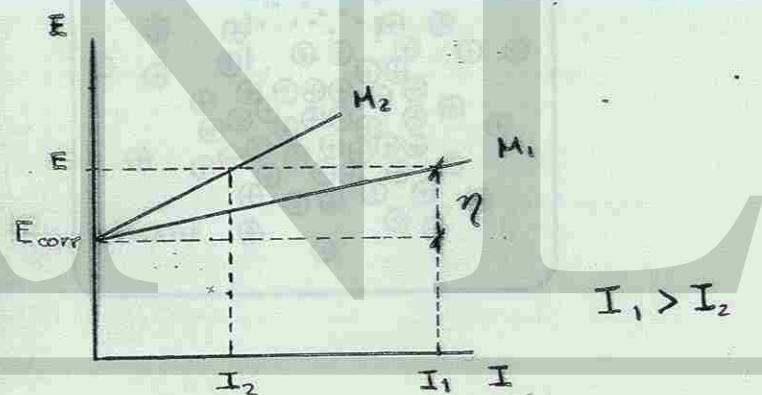
EQUILIBRIO $I_c = I_a$

INSTRUMENTALMENTE $I_{neto} = 0$

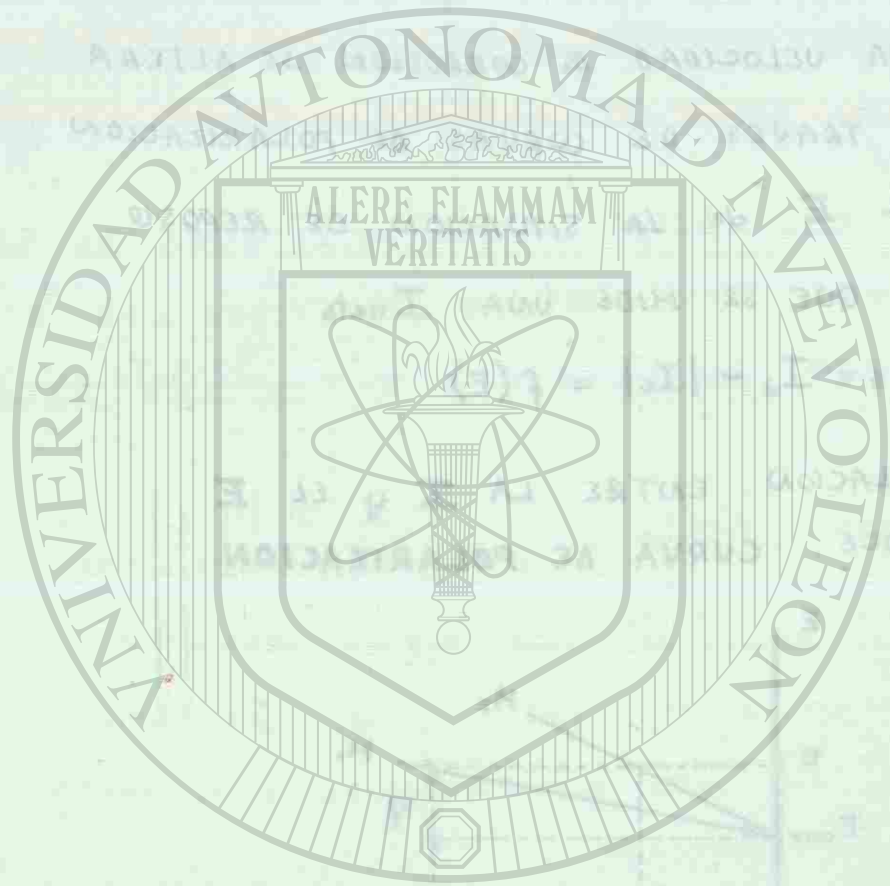
PARA MEDIR UNA VELOCIDAD DE CORROSION SE ALTERA EL SISTEMA A TRAVES DE CURVAS DE POLARIZACION DESPLAZANDO EL E de LA SITUACION DE REPOSO DE TAL FORMA QUE SE MIDE UNA I_{neto}

$$I_t = I_a - |I_c| = f(E)$$

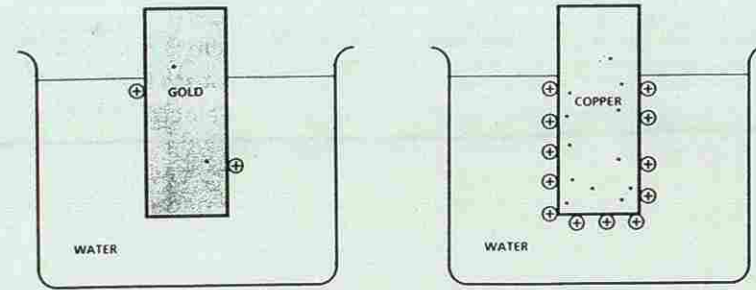
A ESTA RELACION ENTRE LA I y EL E SE LA CONOCE CURVA DE POLARIZACION



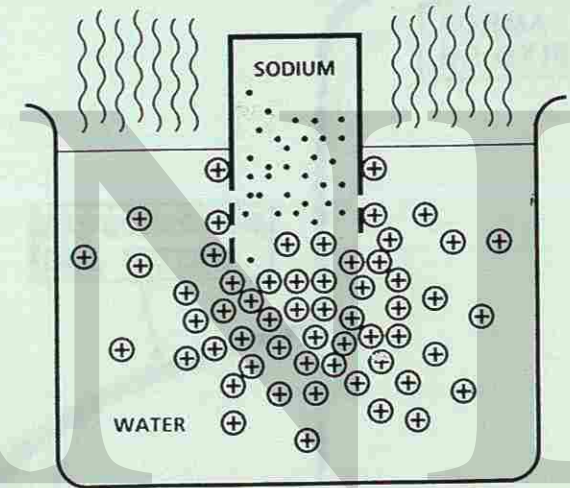
$E_2 > E_1$



12



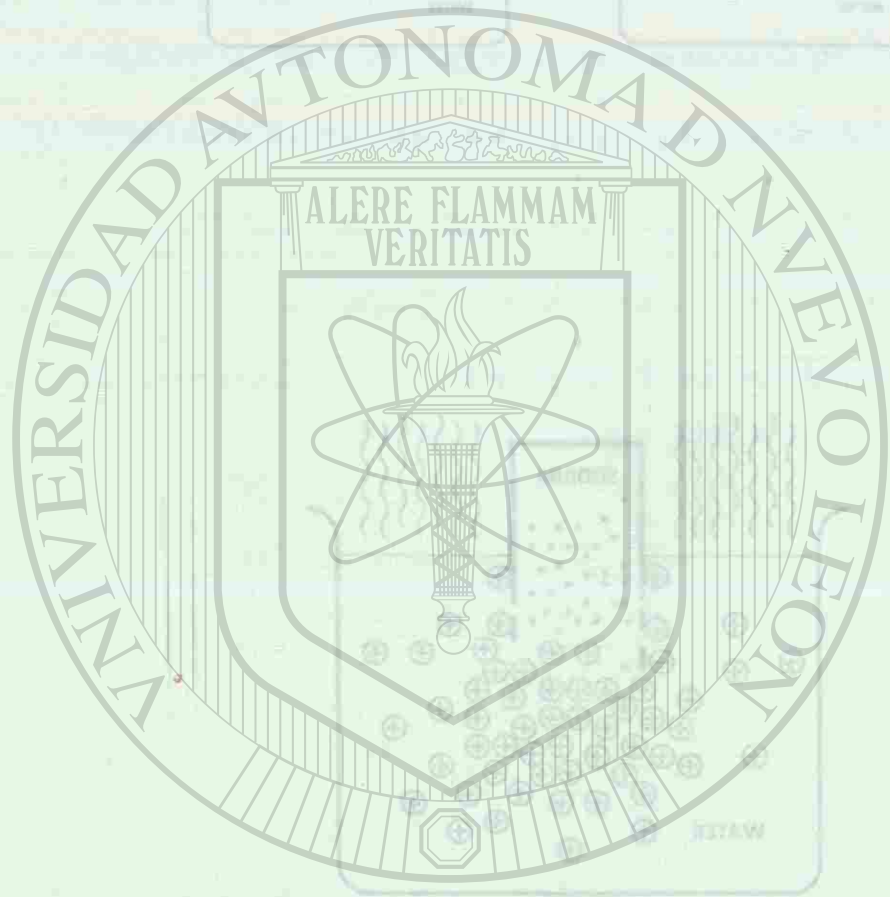
13



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

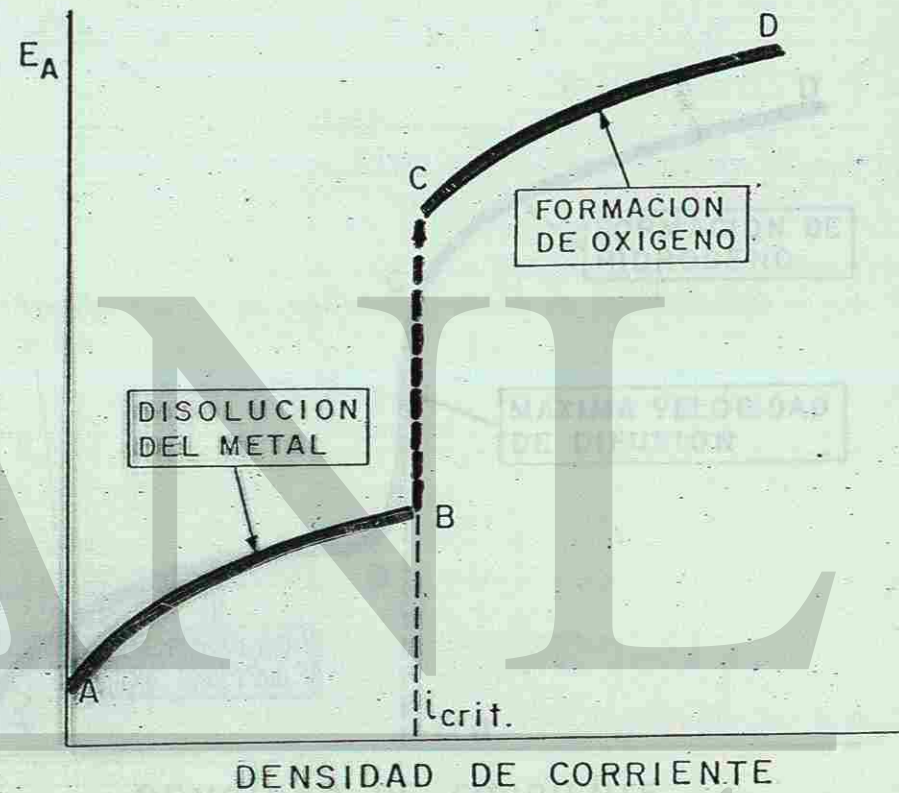
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





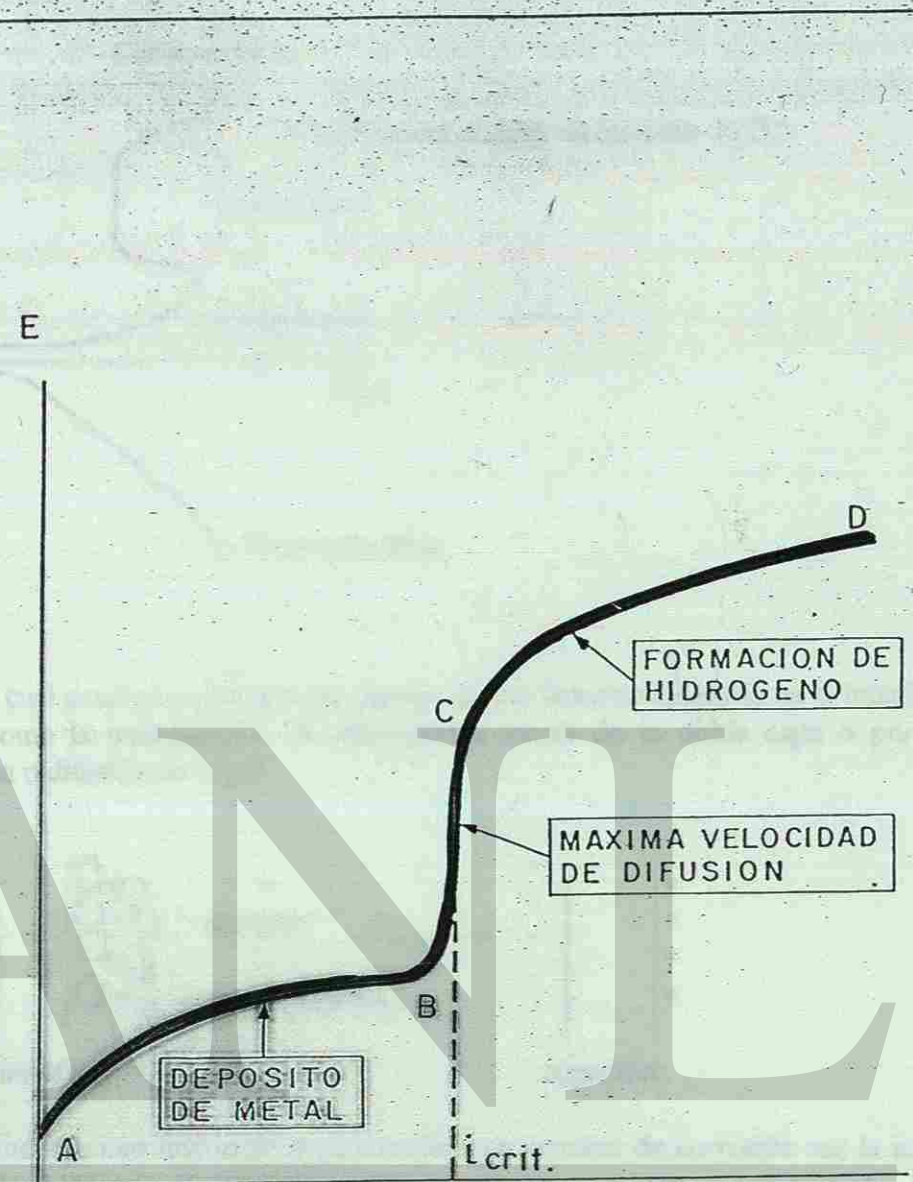
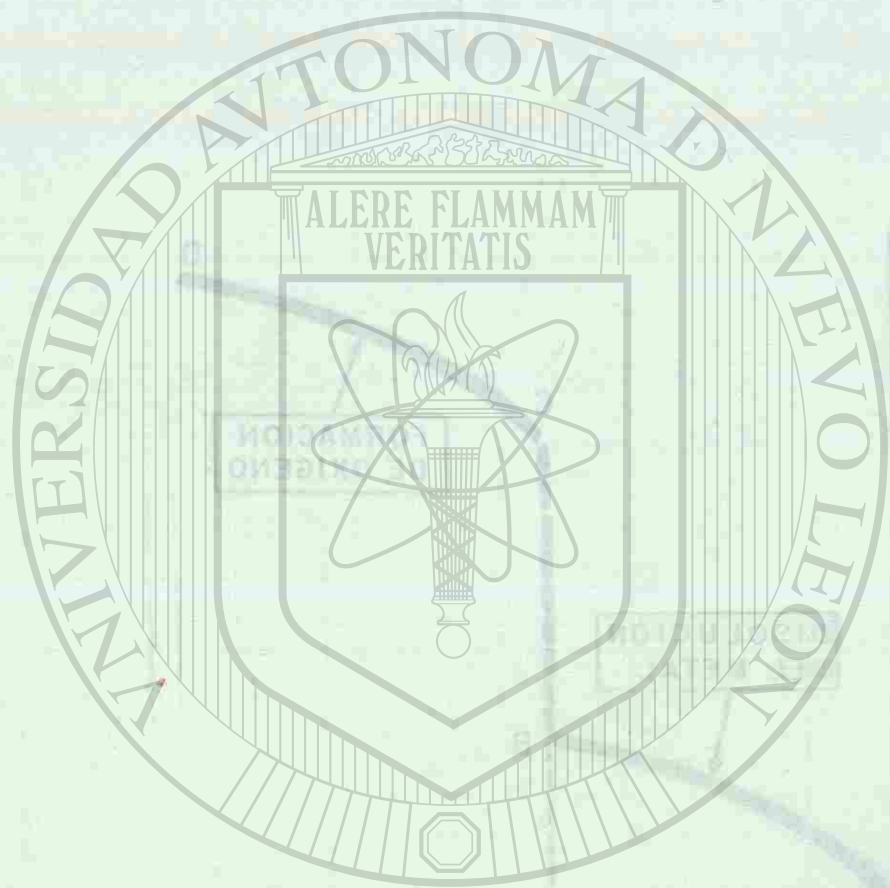
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Polarización anódica (curva galvanostática). En el tramo AB tiene lugar la reacción de disolución $Me - z e \rightarrow Me^{z+}$ y en el tramo CD la formación de oxígeno $4 OH^- - 4 e \rightarrow 2 H_2O + O_2$, acompañada o no de disolución del metal.



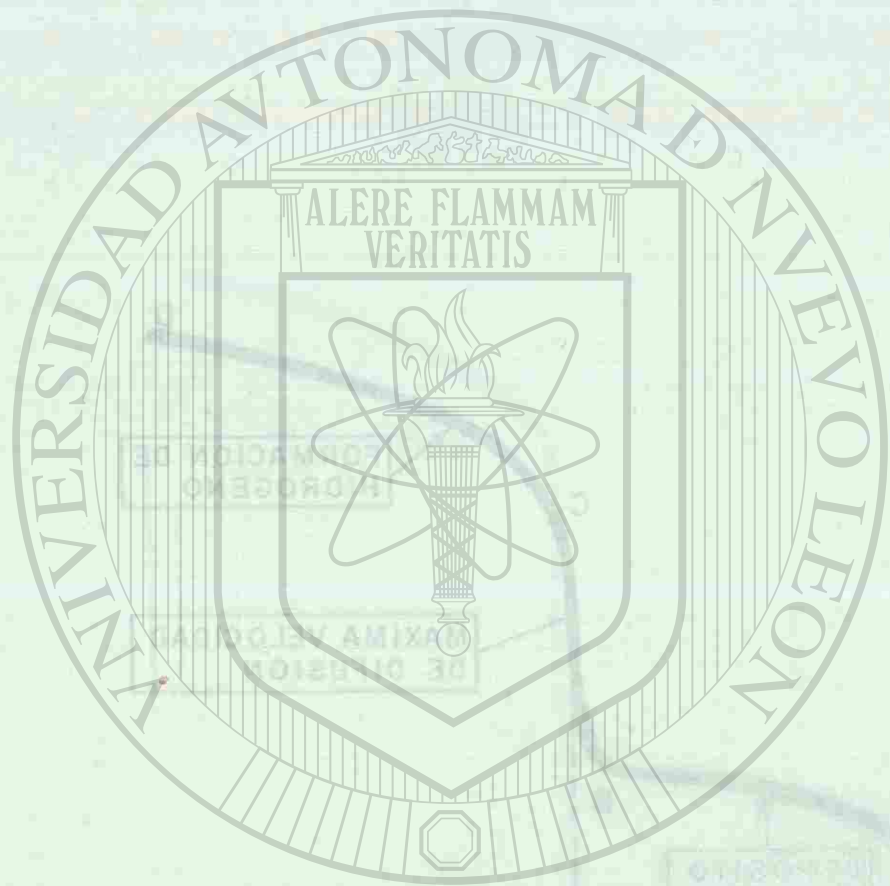


DENSIDAD DE CORRIENTE

Ejemplo de curva de polarización catódica.

El tramo AB puede corresponder al depósito de algún catión metálico presente en el baño ($Me^{z+} + z e^{-} \rightarrow Me$). En B la densidad de corriente alcanza un valor límite equivalente a la máxima velocidad de difusión de dichos iones hacia el electrodo. En C el potencial aplicado es suficiente para que se verifique una nueva reacción catódica, como puede ser la descarga de hidrogeniones ($2 H^{+} + 2 e^{-} \rightarrow H_2$).

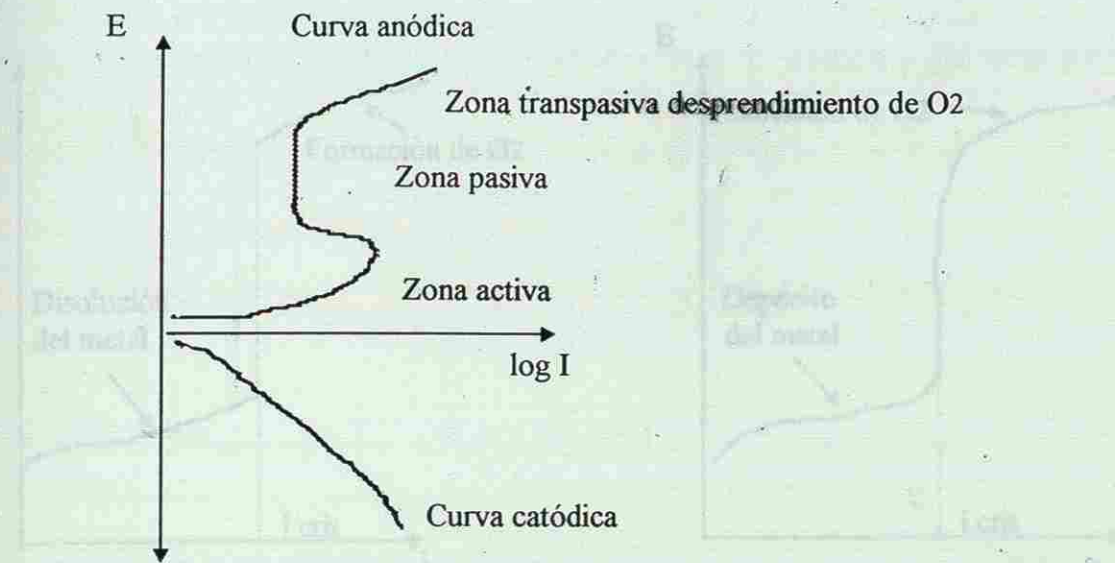
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



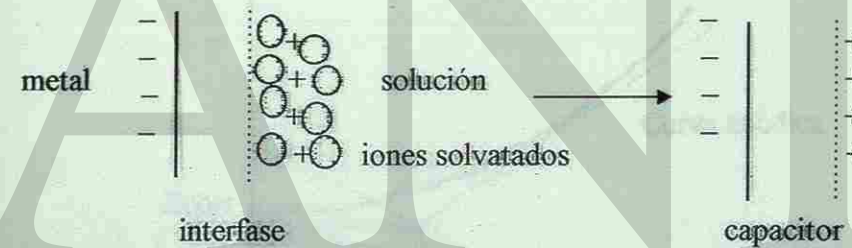
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Curva típica de polarización:

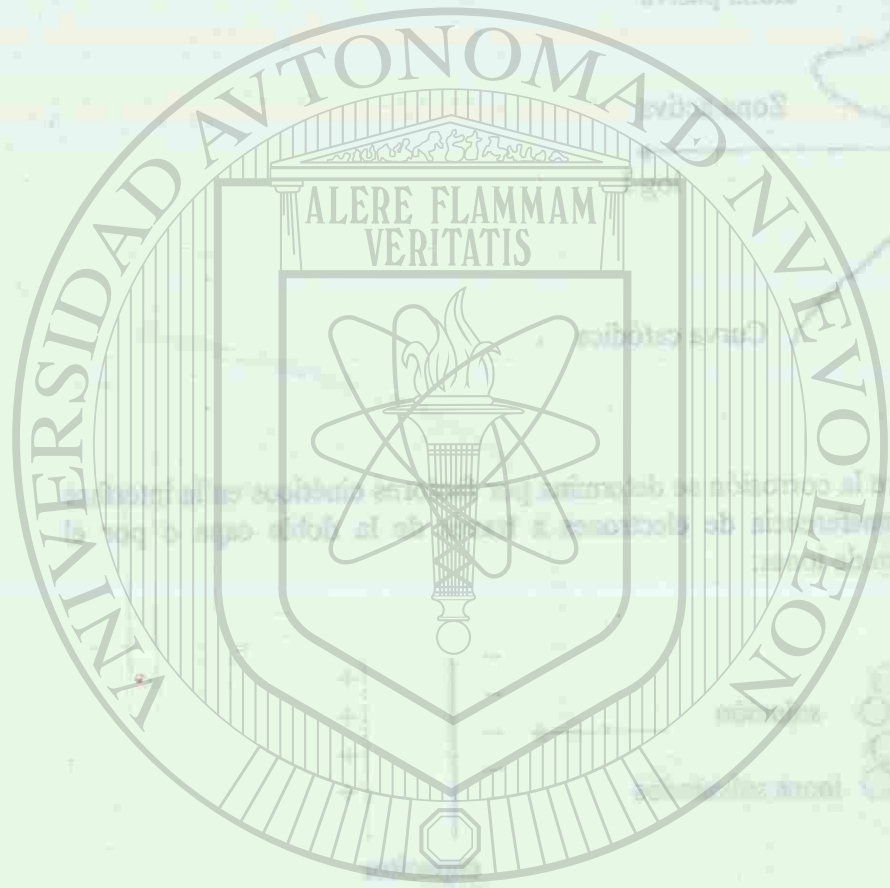


La rapidez con la cual ocurre la corrosión se determina por factores cinéticos en la interfase metal-solución, como la transferencia de electrones a través de la doble capa o por el transporte de masa o difusión de iones:



Los parámetros cinéticos más importantes para evaluar un proceso de corrosión son la icorr y la capacidad de la doble capa electroquímica (Cdc).



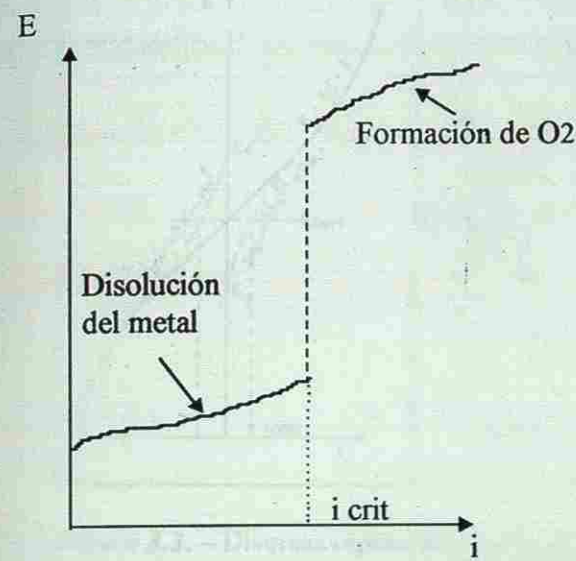


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

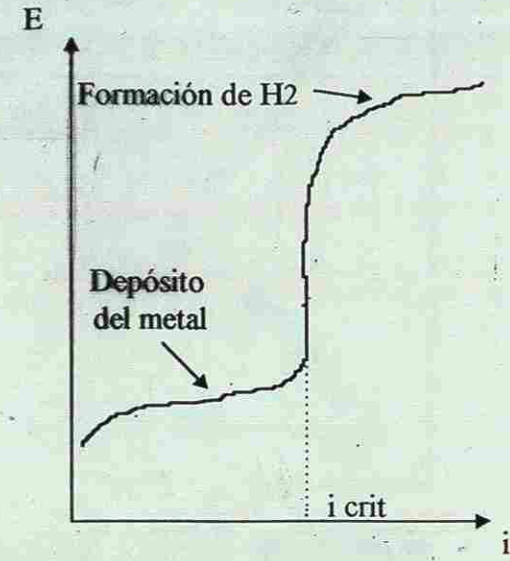
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Una curva de polarización es el gráfico que representa al potencial vs la densidad de corriente (i):

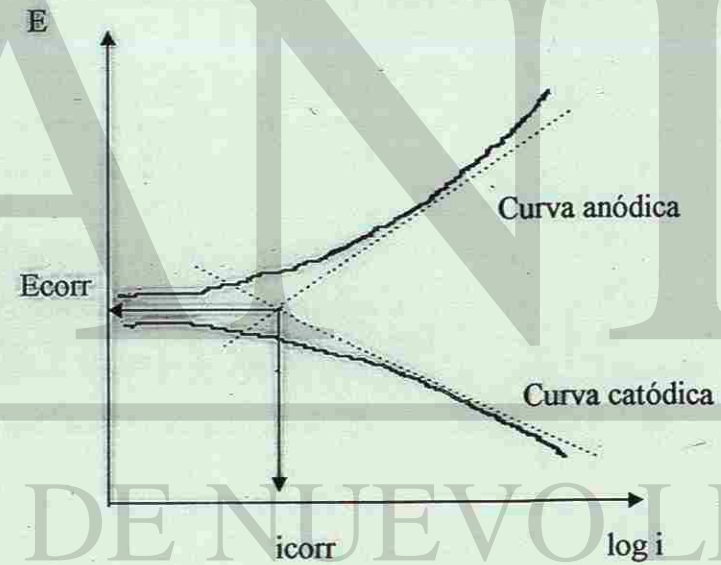
Polarización anódica:



Polarización catódica:



En un sólo gráfico E vs i se ven representadas las mismas curvas de polarización:

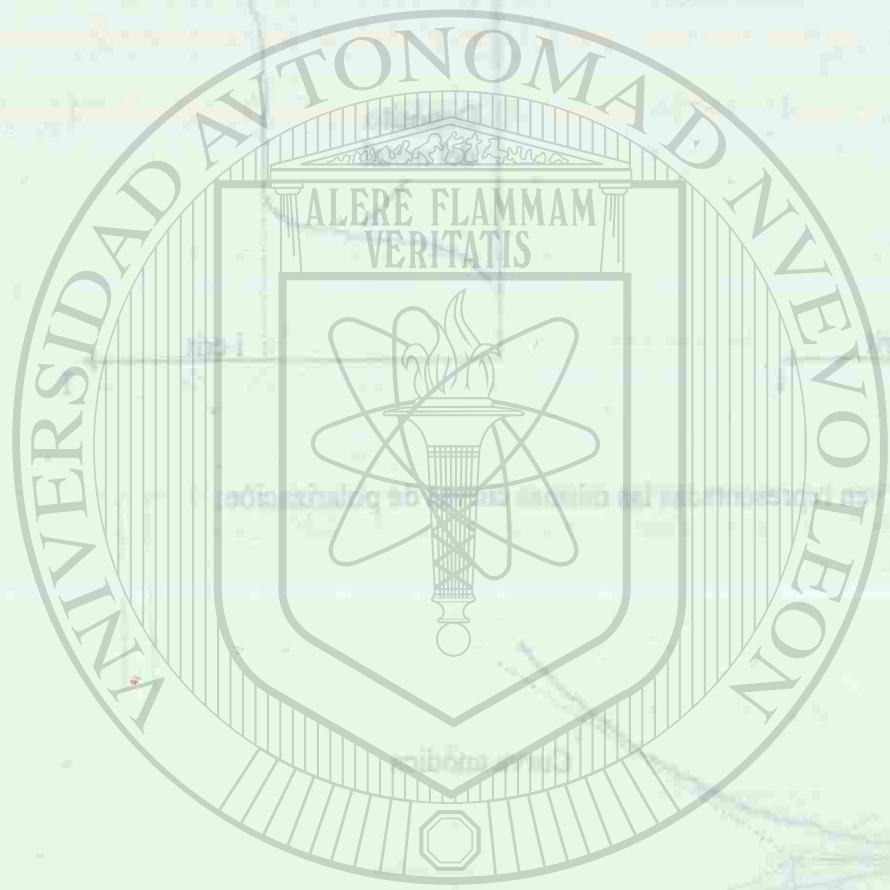


A partir de las curvas anódica y catódica se determinan las pendientes de Tafel

$$\eta = a + b \log i_{corr}$$

estas pendientes van a trazar el Diagrama de Evans, el cual da a conocer a partir de la intersección de las pendientes la i_{corr} del sistema en estudio:





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

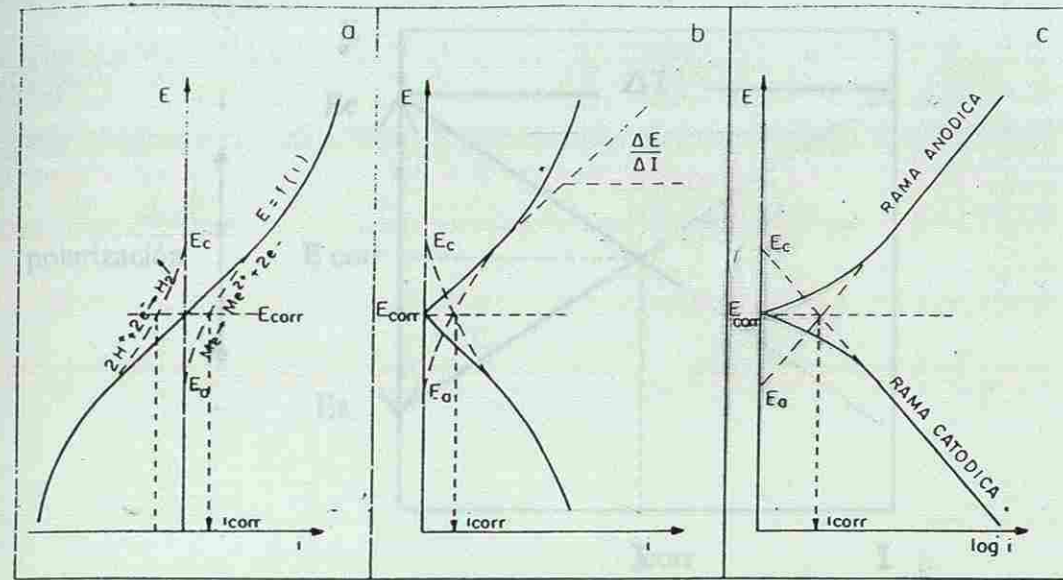
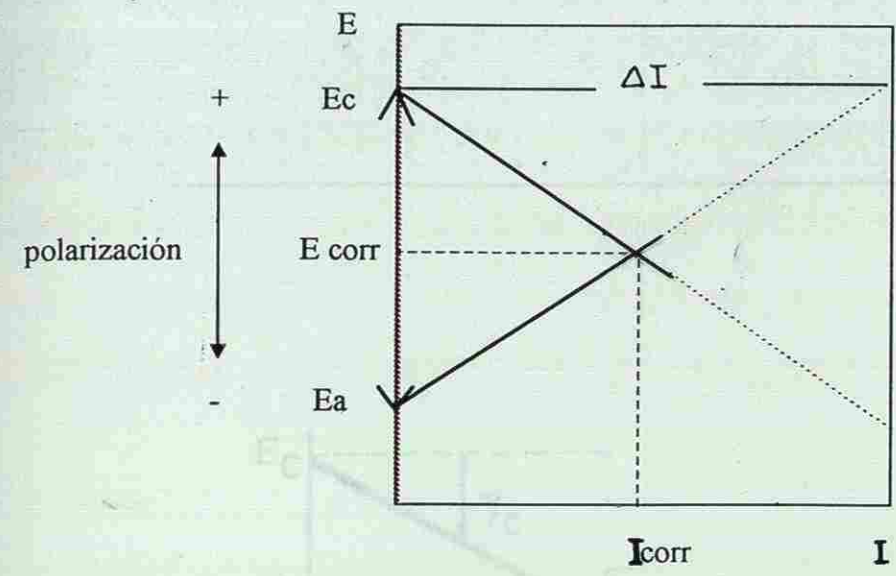
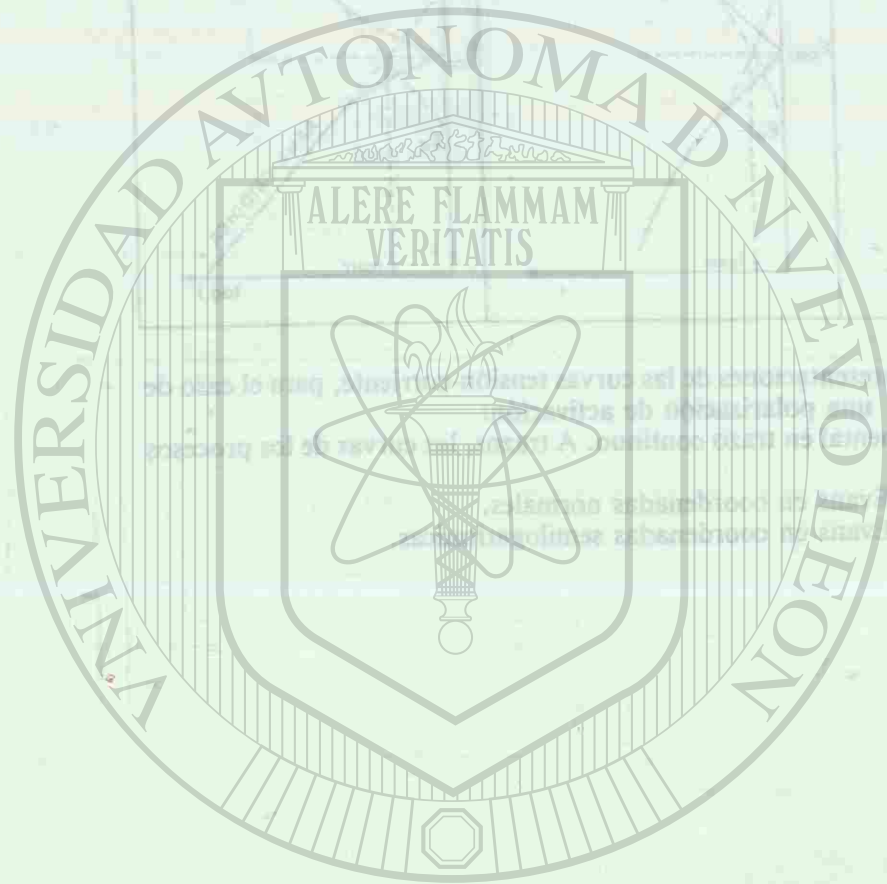


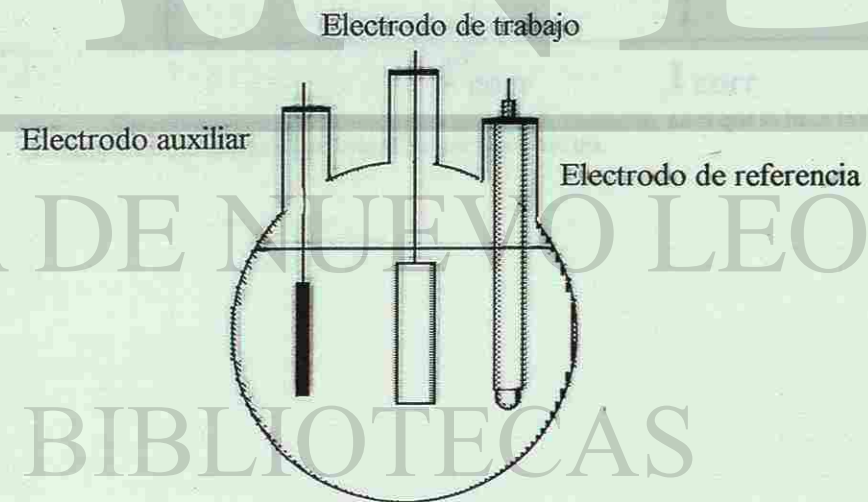
Figura 3.3.—Diversas representaciones de las curvas tensión-corriente, para el caso de una polarización de activación:

- a) Curva experimental en trazo continuo. A trazos, las curvas de los procesos individuales.
- b) Diagrama de Evans en coordenadas normales.
- c) Diagrama de Evans en coordenadas semilogarítmicas.



La polarización es el desplazamiento del potencial con respecto al E_{corr} , esto se consigue con una fuente de corriente o con un potenciostato, imponiendo un potencial distinto al E_{corr} , el cual puede ser positivo o negativo, se puede polarizar anódica o catódicamente, obteniendo como respuesta a esta polarización o desplazamiento del potencial una respuesta en corriente (ΔI).

Una forma en el laboratorio de obtener una curva de polarización es utilizando la Celda Electroquímica de los Tres Electrodos, la cual consiste de un electrodo de trabajo o ánodo, de un cátodo o electrodo de referencia que es con el cual se mide el potencial y un electrodo auxiliar o contraelectrodo que cierra el circuito eléctrico con el ánodo:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



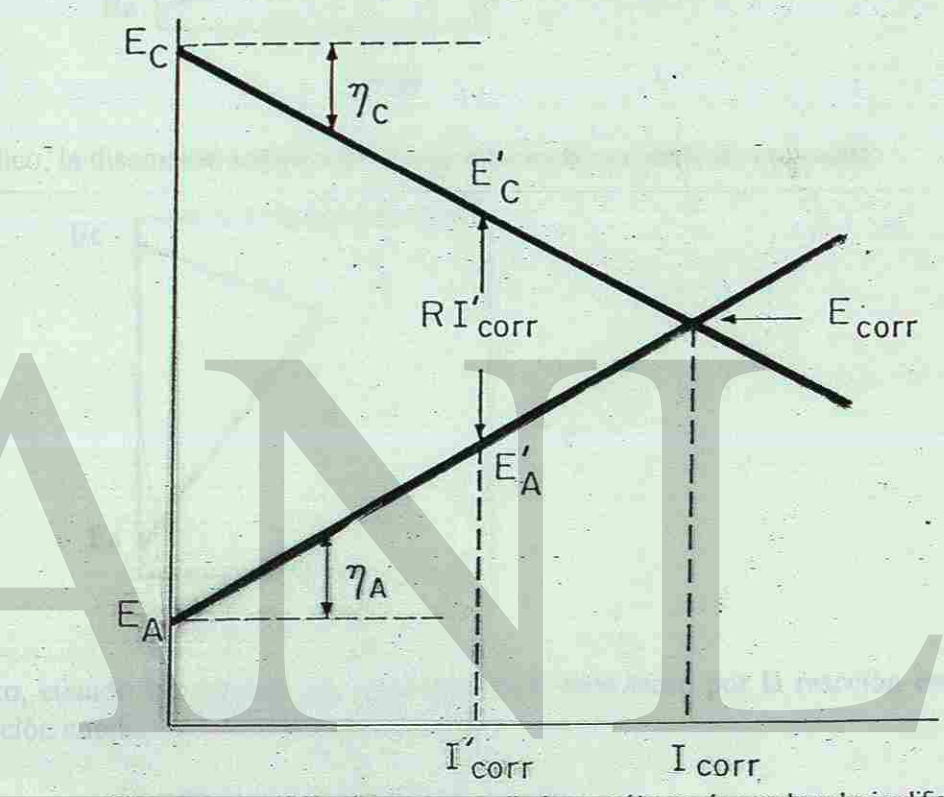
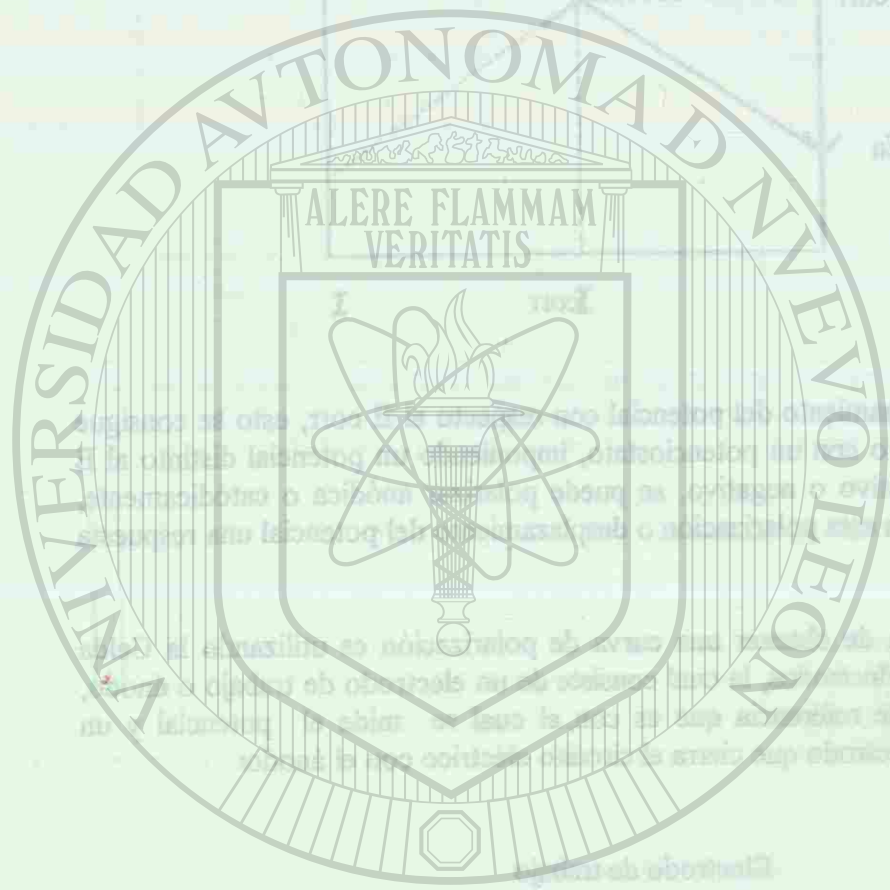
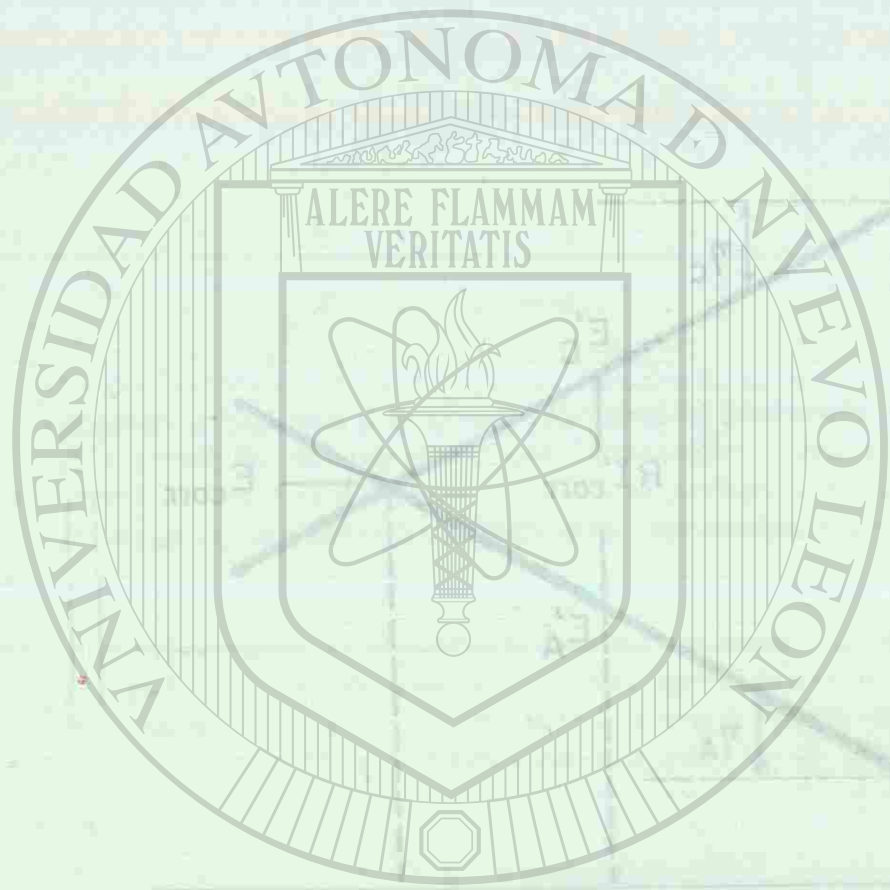


Diagrama potencial/corriente para una pila de corrosión, en el que se hace la simplificación de reemplazar las curvas de polarización por líneas rectas.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

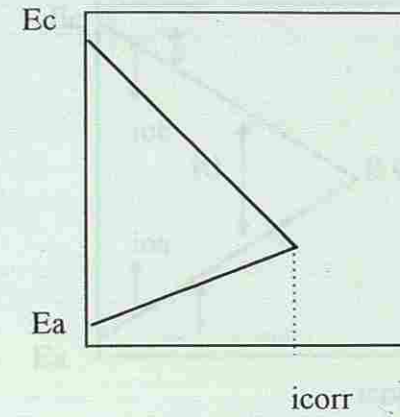




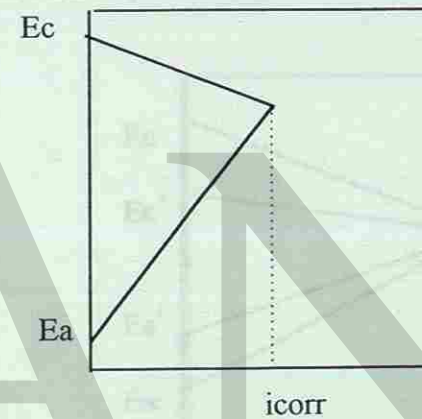
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

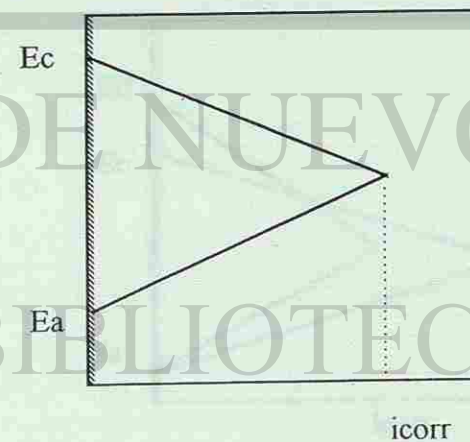
Control catódico, la corriente de corrosión está determinada por la reacción catódica:

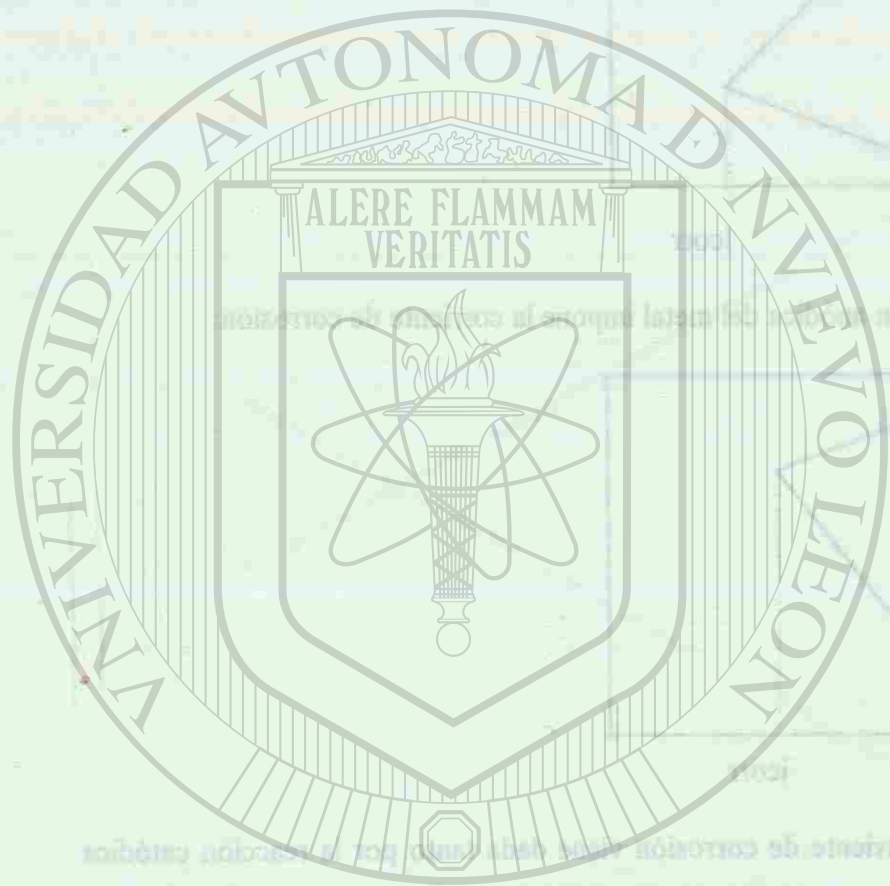


Control anódico, la disolución anódica del metal impone la corriente de corrosión:

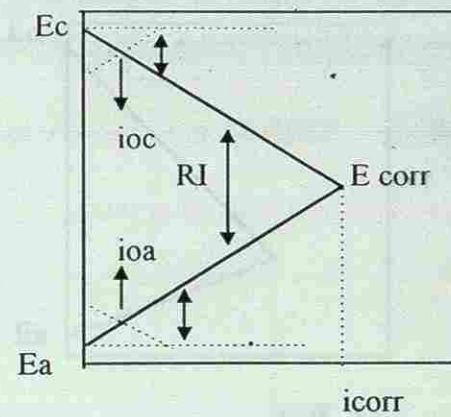


Control mixto, cuando la corriente de corrosión viene dada tanto por la reacción catódica como la reacción anódica:

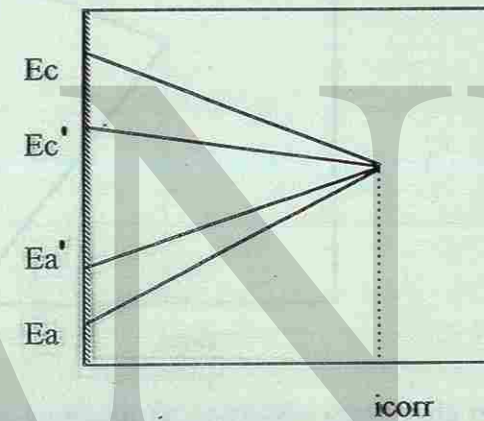




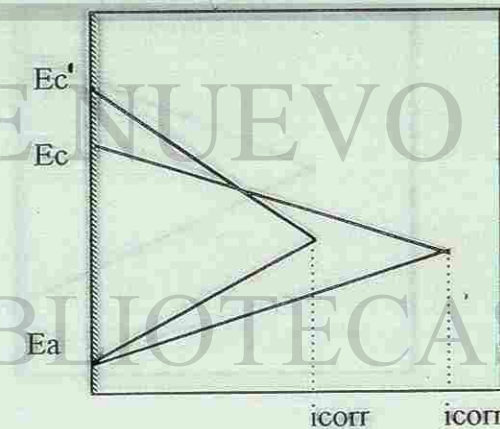
DIAGRAMAS DE EVANS



Los diagramas de Evans permiten explicar, por ejemplo:
 Dos sistemas con distinto potencial pueden dar una misma i_{corr} :



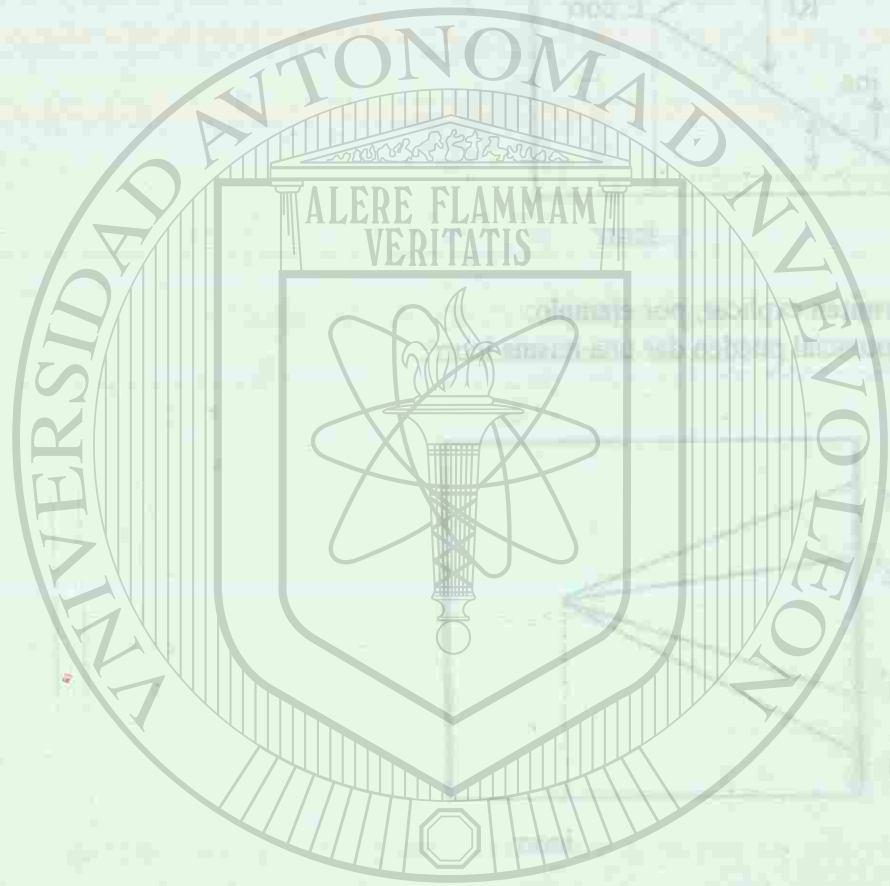
A un sistema con un mayor ΔE , le corresponde, una menor i_{corr} :



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



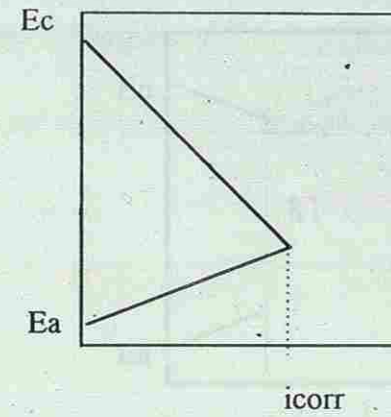


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

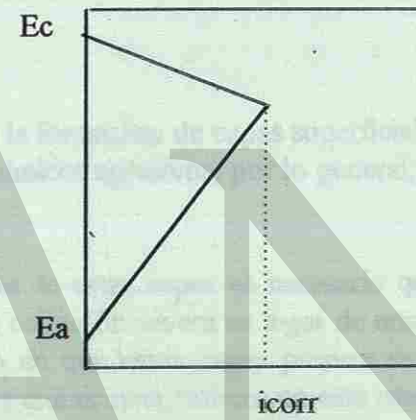
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



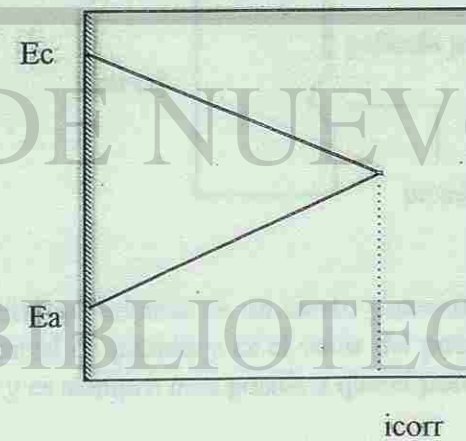
Control catódico, la corriente de corrosión está determinada por la reacción catódica:

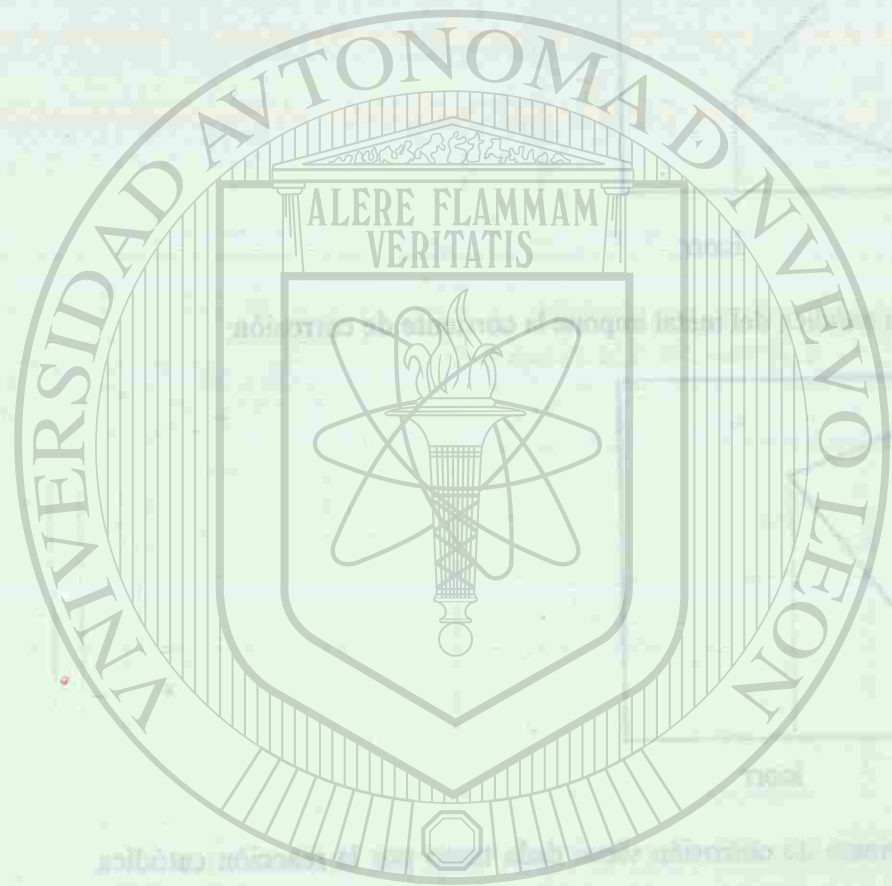


Control anódico, la disolución anódica del metal impone la corriente de corrosión:



Control mixto, cuando la corriente de corrosión viene dada tanto por la reacción catódica como la reacción anódica:

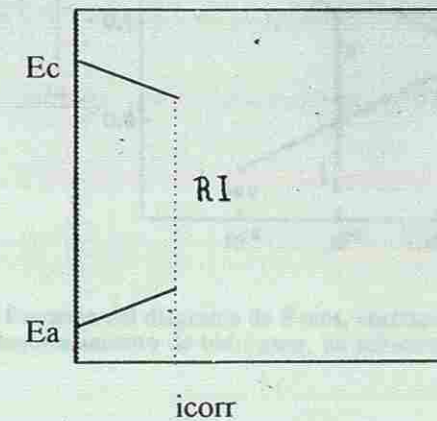




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL

Control por resistencia, el efecto de una fuerte caída ohmica (IR) entre la región anódica y la catódica da una icorr muy por debajo del valor máximo si continuaran ambas reacciones:

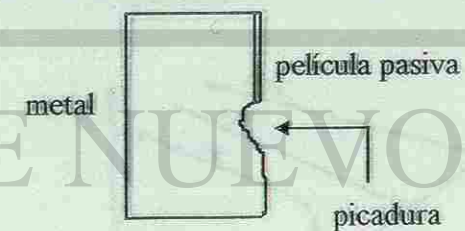


PASIVACION

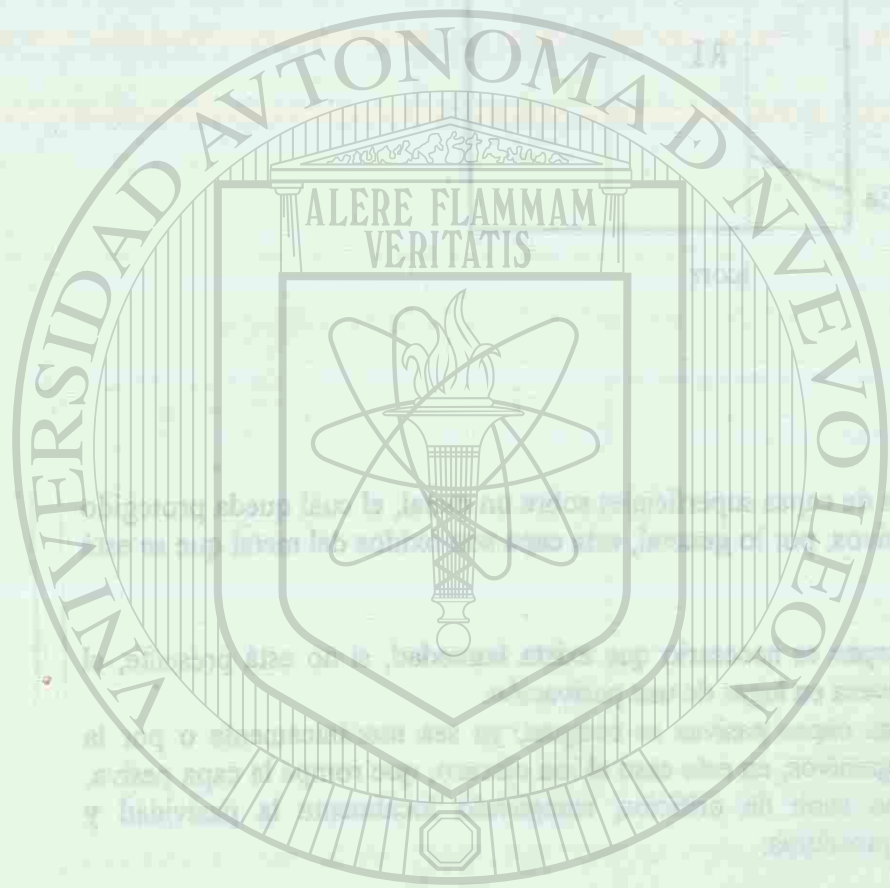
La pasivación es la formación de capas superficiales sobre un metal, el cual queda protegido de los agentes químicos agresivos, por lo general, esta capa son óxidos del metal que se está protegiendo.

Para la formación de estas capas es necesario que exista humedad, si no está presente, el metal sufrirá una corrosión severa en lugar de una pasivación.

Existe el peligro de que estas capas pasivas se rompan, ya sea mecánicamente o por la acción de agentes químicos agresivos, en este caso el ion cloruro, que rompe la capa pasiva, creando en la superficie una serie de orificios, rompiendo localmente la pasividad y generando una corrosión por picaduras:



El picado se presenta por encima de un cierto potencial que se conoce como potencial de ruptura (E_r) o potencial de picado y es el valor del potencial donde inician las picaduras en el electrodo pasivo y es siempre más positivo que el potencial de corrosión ($E_p > E_{corr}$).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

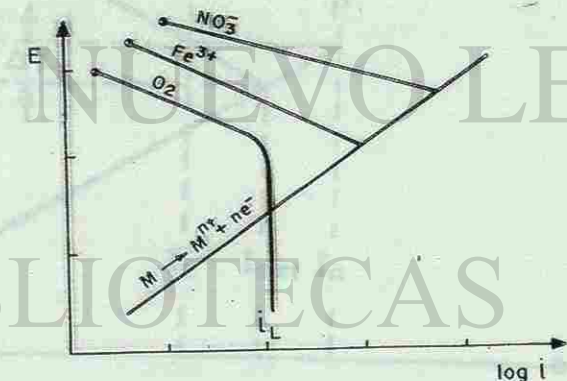


Figura 3.16.—Despolarizaciones provocadas en la semirreacción catódica por la presencia de oxidantes más fuertes que el oxígeno.

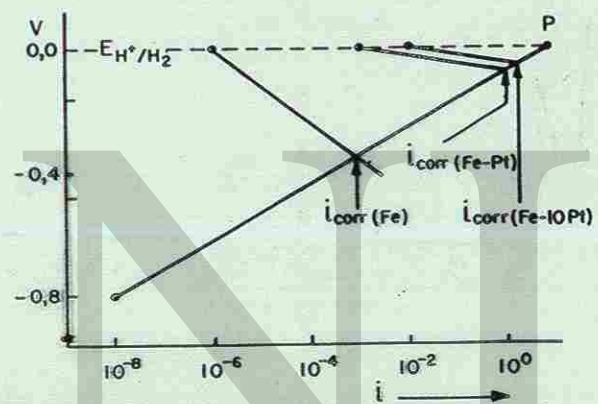


Figura 3.14.—Efecto de la relación de áreas cátodo/ánodo sobre la actividad de los pares galvánicos, en soluciones ácidas.

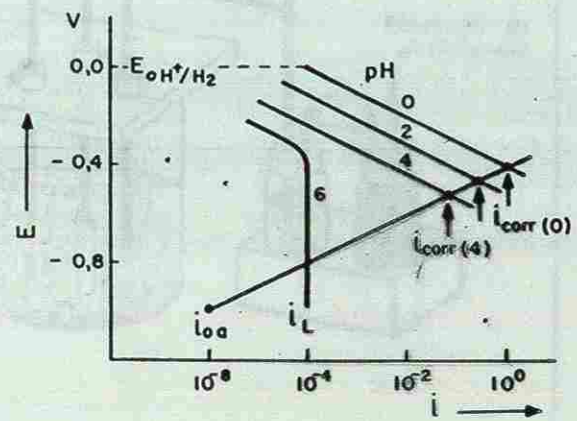
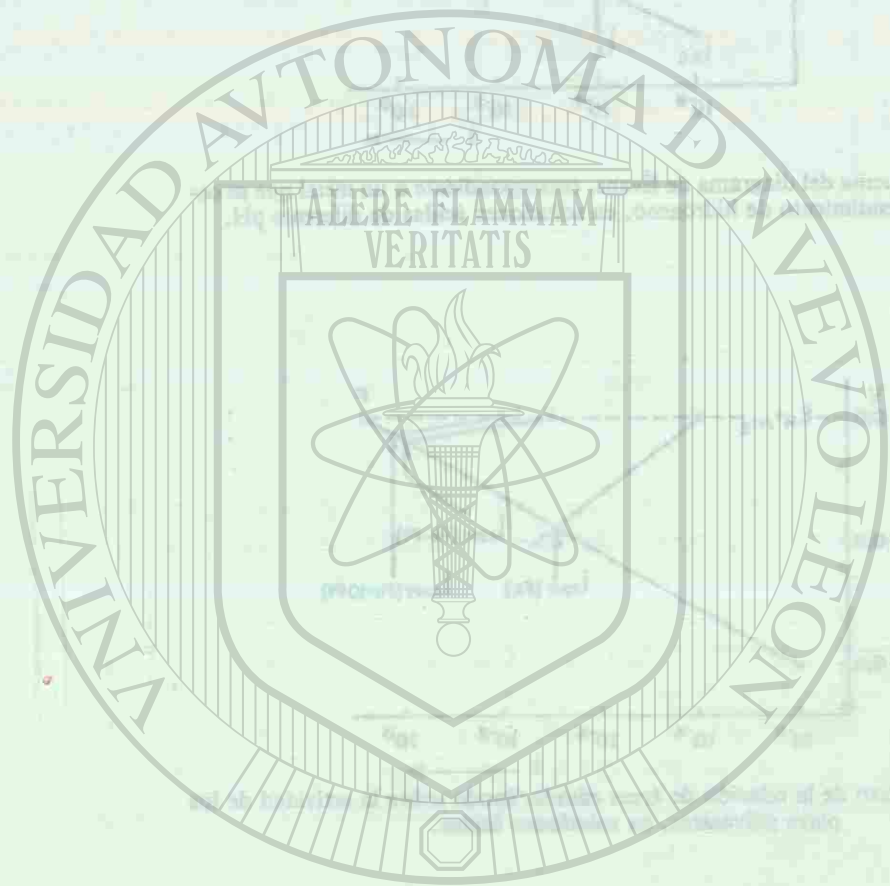


Figura 3.9.—Esquema del diagrama de Evans, correspondiente a un metal que se corroe con desprendimiento de hidrógeno, en soluciones ácidas de diferente pH.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

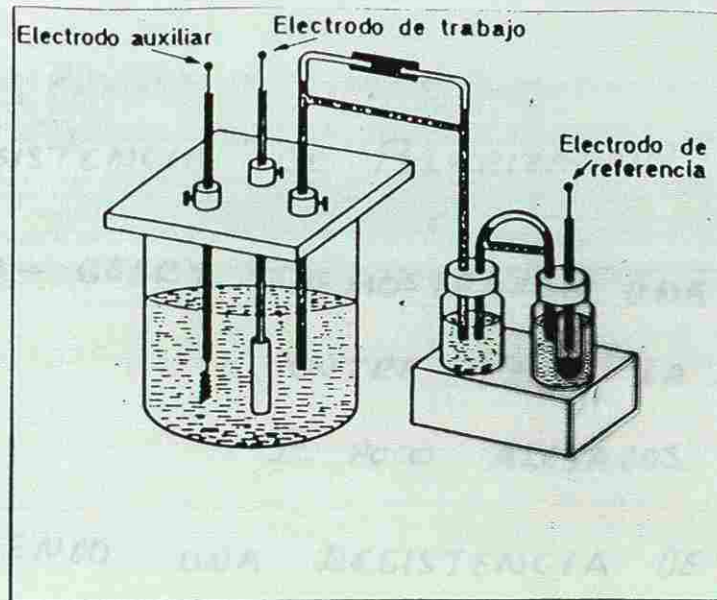


Figura 3.1.—Ejemplo de una célula electroquímica fácil de construir en el laboratorio, incluido el electrodo de referencia.

CURVAS DE POLARIZACIÓN

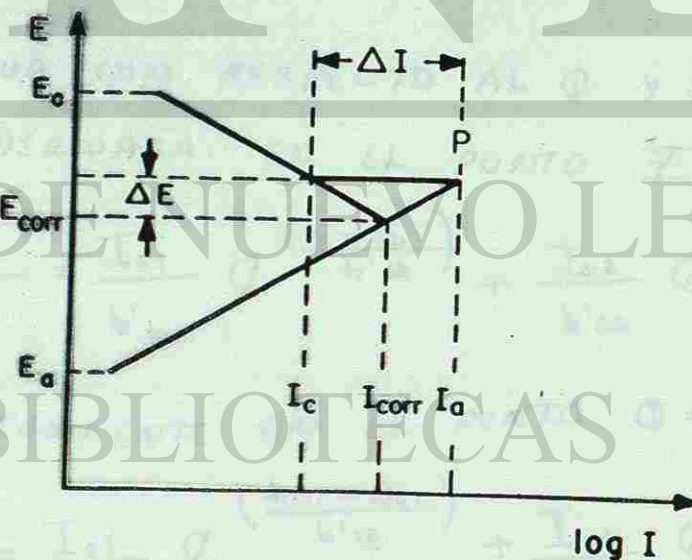
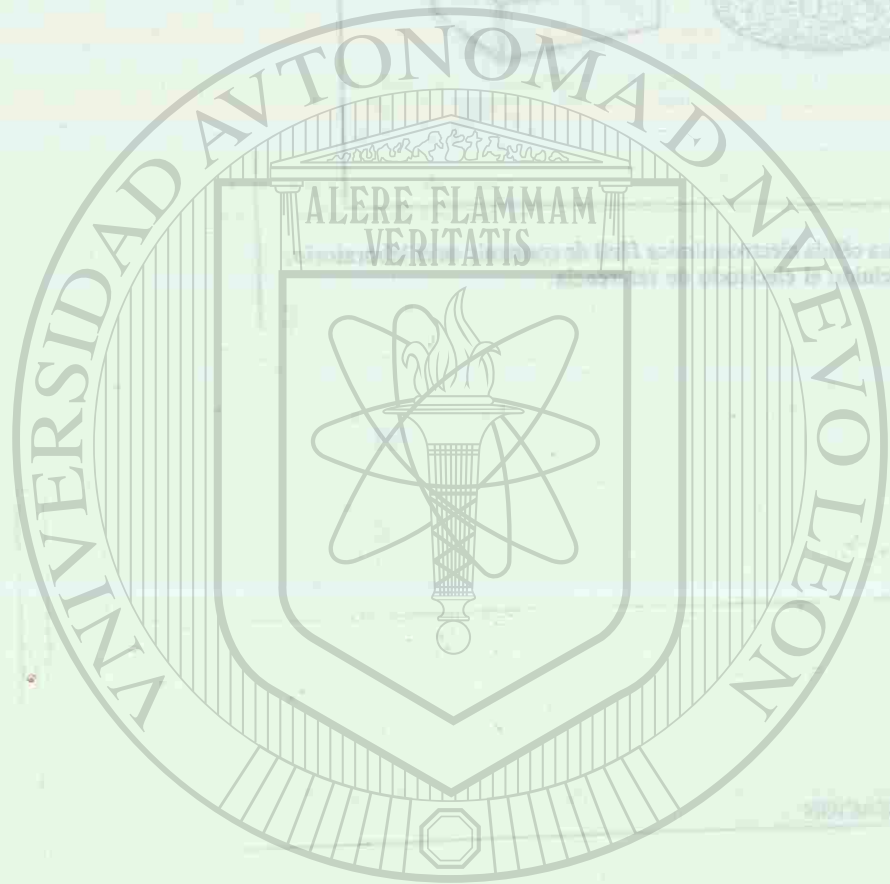
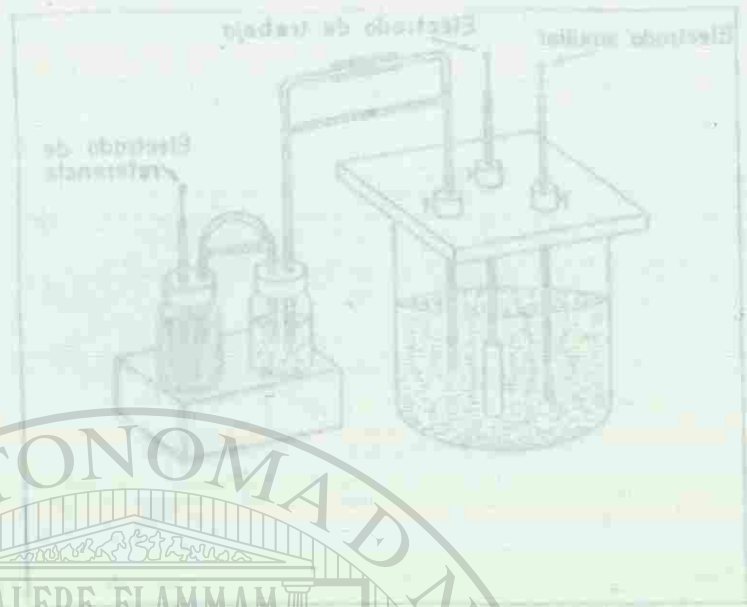


Figura 3.2.—La aplicación de una pequeña polarización rompe el equilibrio existente entre I_a e I_c en el E_{corr} , permitiendo medir instrumentalmente un ΔI , a partir del cual se estima la I_{corr} .



RESISTENCIA DE POLARIZACION

STERN - GEARY DEMOSTRARON UNA RELACION LINEAL ENTRE E y LA I APLICADA A E POCO ALEJADOS DEL I_{corr}

DEFINIENDO UNA RESISTENCIA DE POLARIZACION

$$V = RI \Rightarrow R = \frac{V}{I} \equiv \frac{\Delta E}{\Delta I}$$

$$R_p = \left(\frac{d\Phi}{dI_T} \right)_{\Phi_{corr}}$$

ESTA R_p ES LA DERIVADA DE UNA CURVA POLARIZACION SI SE PARTE DE LA ECUACION GENERAL

$$I_T = \left(I_{o1} \exp\left(\frac{\Phi - \Phi_{o1}}{b'_{1a}}\right) - I_{o2} \exp\left(\frac{-\Phi - \Phi_{o2}}{b'_{2c}}\right) \right)$$

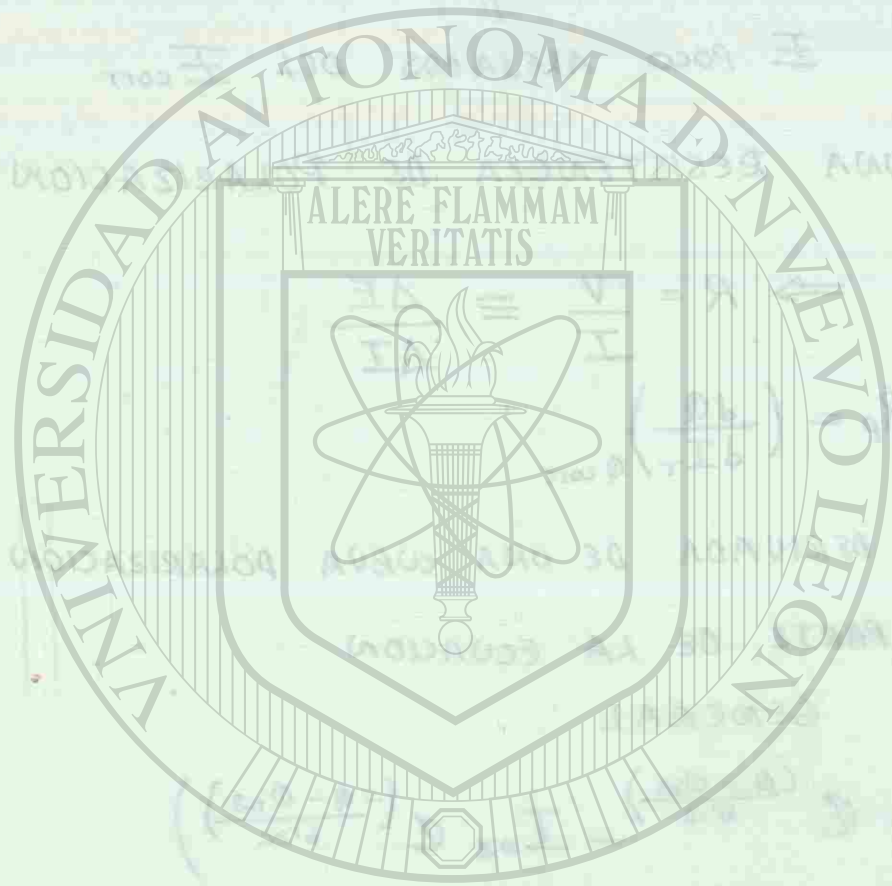
Y SE DERIVA CON RESPECTO AL Φ Y SE TOMA

ESTA DERIVADA EN EL PUNTO I_{corr}

$$\frac{dI_T}{d\Phi} = \frac{I_{o1}}{b'_{1a}} \exp\left(\frac{\Phi - \Phi_{o1}}{b'_{1a}}\right) + \frac{I_{o2}}{b'_{2c}} \exp\left(\frac{-\Phi - \Phi_{o2}}{b'_{2c}}\right)$$

Y LA TANGENTE EN EL PUNTO $\Phi = \Phi_{corr}$

$$\frac{dI_T}{d\Phi_{corr}} = \frac{I_{o1}}{b'_{1a}} \exp\left(\frac{\Phi_{corr} - \Phi_{o1}}{b'_{1a}}\right) + \frac{I_{o2}}{b'_{2c}} \exp\left(\frac{-\Phi_{corr} - \Phi_{o2}}{b'_{2c}}\right)$$



DE TAL MANERA QUE

$$\left(\frac{dI_T}{d\Phi}\right)_{\Phi_{corr}} = I_{corr} \left(\frac{1}{b'_{12}} + \frac{1}{b'_{2c}}\right)$$

Y COMO $R_p = \left(\frac{d\Phi}{dI_T}\right)_{\Phi_{corr}}$

$$\frac{1}{R_p} = I_{corr} \left(\frac{1}{b'_{12}} + \frac{1}{b'_{2c}}\right)$$

$$\therefore I_{corr} = \frac{1}{R_p} \left(\frac{b'_{12} * b'_{2c}}{b'_{12} + b'_{2c}}\right) \quad \text{COMO } b = 2.3 b'$$

$$I_{corr} = \frac{1}{R_p} \left(\frac{b_{12} * b_{2c}}{2.3(b_{12} + b_{2c})}\right)$$

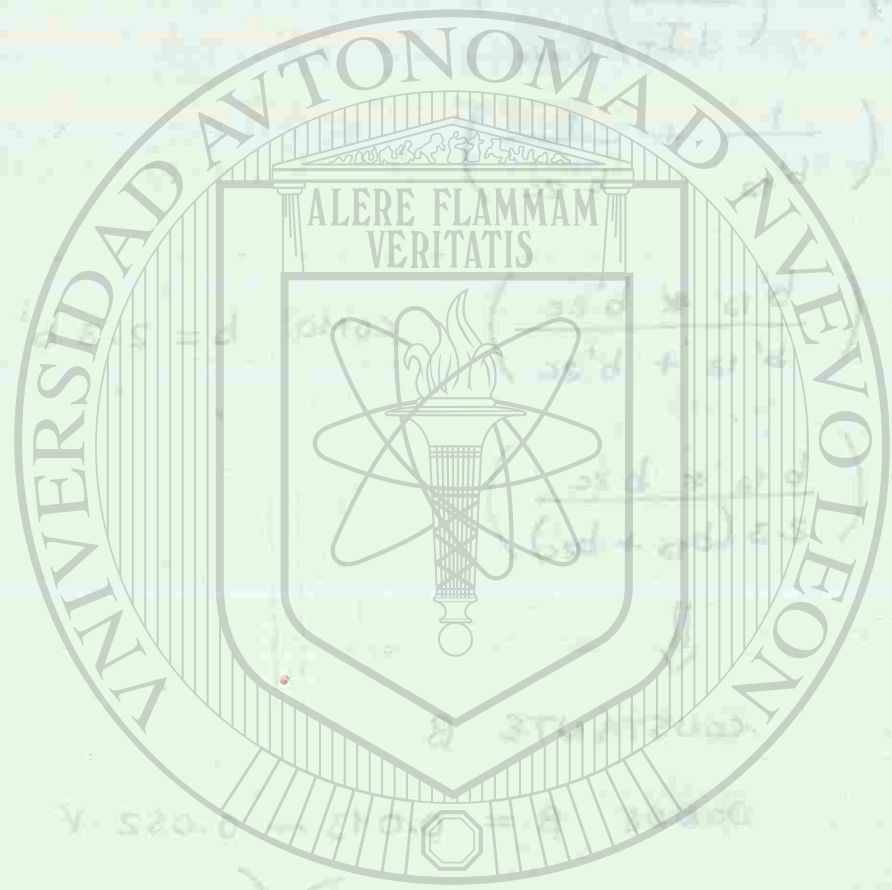
⇓
CONSTANTE β

DONDE $\beta = 0.013 - 0.052 \cdot V$

$$\therefore I_{corr} = \frac{\beta}{R_p} \quad \text{0.026}$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ENSAYOS DE POLARIZACION

Al potencial de equilibrio se le conoce como potencial de corrosión (E_{corr}) o potencial neta (E mixto)

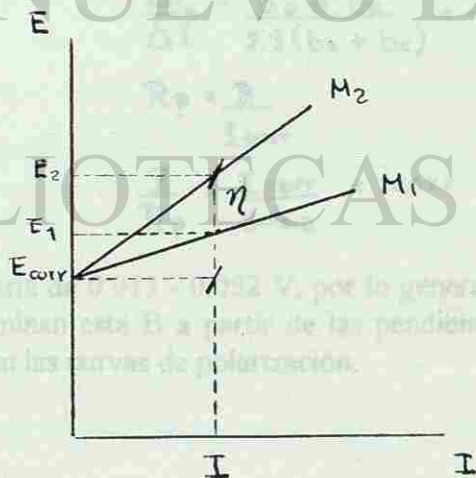
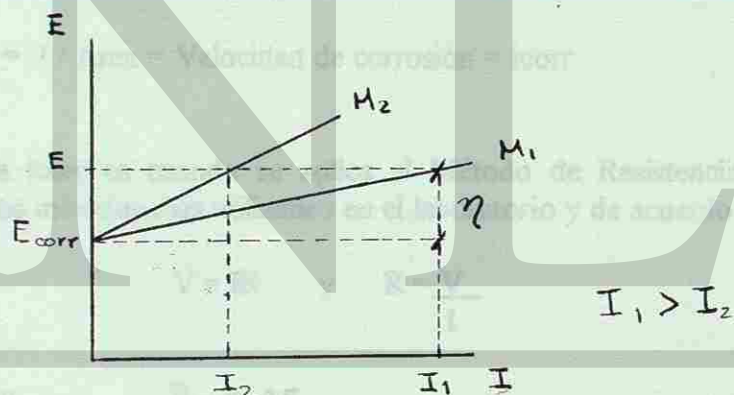
EQUILIBRIO $I_c = I_a$

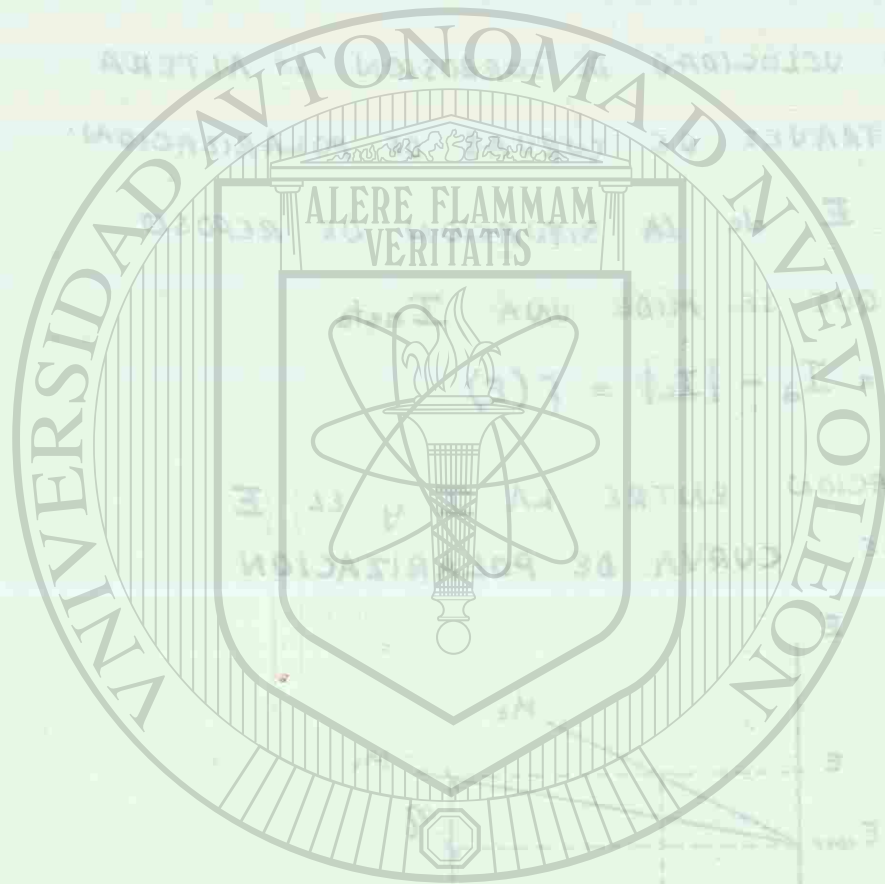
INSTRUMENTALMENTE $I_{neta} = 0$

PARA MEDIR UNA VELOCIDAD DE CORROSION SE ALTERA EL SISTEMA A TRAVES DE CURVAS DE POLARIZACION DESPLAZANDO EL E de LA SITUACION DE REPOSO DE TAL FORMA QUE SE MIDE UNA I_{neta}

$$I_t = I_a - |I_c| = f(E)$$

A ESTA RELACION ENTRE LA I y EL E SE LA CONOCE CURVA DE POLARIZACION





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

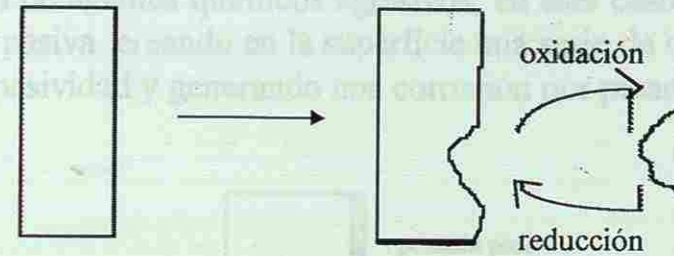
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



La pasivación es la formación de capas superficiales sobre un metal, el cual
 Al potencial fuera del equilibrio se le conoce como potencial de corrosión (E_{corr}) o potencial mixto (E_{mixto}):

$$E_{eq} = [\Phi_{metal} + \eta] - \Phi_{solución} = E_{corr} = E_{mixto}$$

se dice potencial mixto porque está involucrado tanto el potencial del metal que se disuelve o se oxida como el potencial que adquiere la solución o el potencial del elemento que se reduce o se deposita.



la corrosión y la deposición ocurren al mismo tiempo $i_{oa} = i_{oc}$.

La velocidad o cinética del proceso va a depender del sobrepotencial y de las velocidades de reacción, de la velocidad de oxidación y reducción de cada metal, originando una rapidez del proceso de corrosión, esta rapidez o velocidad se mide a través de una densidad de corriente, que es igual al cociente entre la corriente generada durante la disolución del metal y el área del mismo metal:

$$i = I / \text{Area} = \text{Velocidad de corrosión} = i_{corr}$$

Un método para calcular una i_{corr} es cuando se aplica el Método de Resistencia de Polarización (R_p), es uno de los métodos más utilizados en el laboratorio y de acuerdo a la Ley de Ohm:

$$V = IR \quad \text{y} \quad R = \frac{V}{I}$$

y una resistencia de polarización

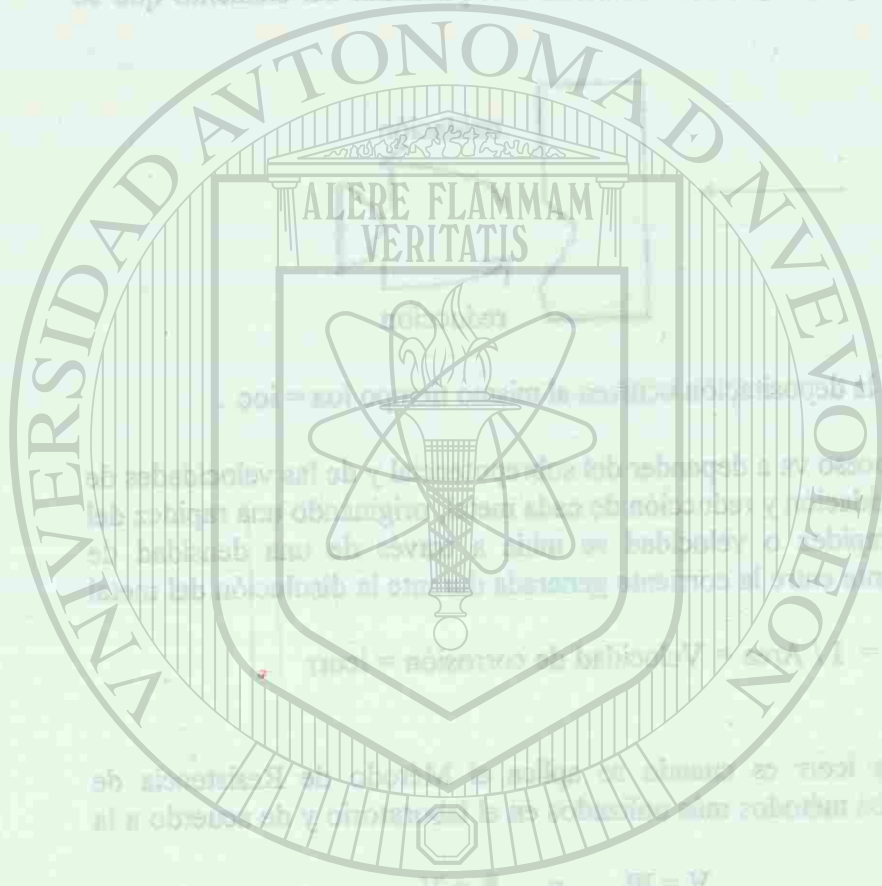
$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I}$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{b_a * b_c}{2.3(b_a + b_c)} * \frac{1}{I} = \frac{B}{I_{corr}}$$

$$R_p = \frac{B}{I_{corr}}$$

$$\frac{B}{R_p} = \frac{I_{corr}}{\text{área}} = i_{corr} \quad (\mu A/cm^2)$$

donde B es una constante que varía de 0.013 - 0.052 V, por lo general se toma un valor de $B = 0.026V$. Stern-Geary determinan esta B a partir de las pendientes que resultan de la polarización anódica y catódica en las curvas de polarización.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

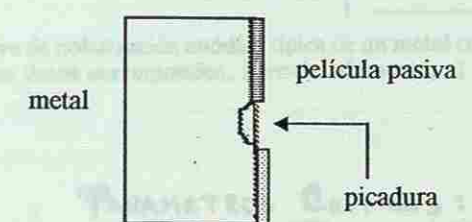
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PASIVACION

La pasivación es la formación de capas superficiales sobre un metal, el cual queda protegido de los agentes químicos agresivos, por lo general, esta capa son óxidos del metal que se está protegiendo.

Para la formación de estas capas es necesario que exista humedad, si no está presente, el metal sufrirá una corrosión severa en lugar de una pasivación.

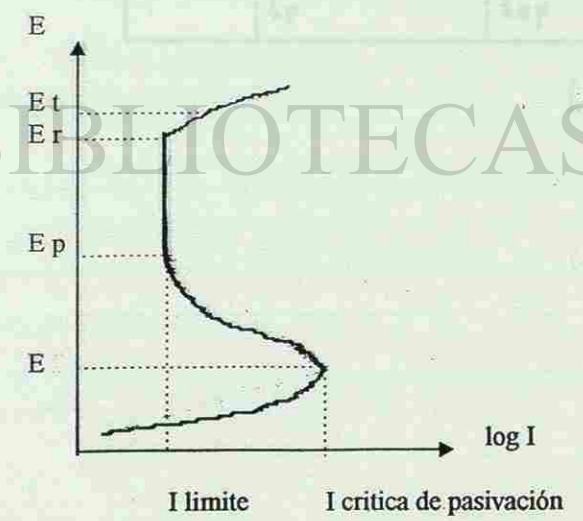
Existe el peligro de que estas capas pasivas se rompan, ya sea mecánicamente o por la acción de agentes químicos agresivos, en este caso el ion cloruro, que rompe la capa pasiva creando en la superficie una serie de orificios rompiendo localmente la pasividad y generando una corrosión por picaduras:

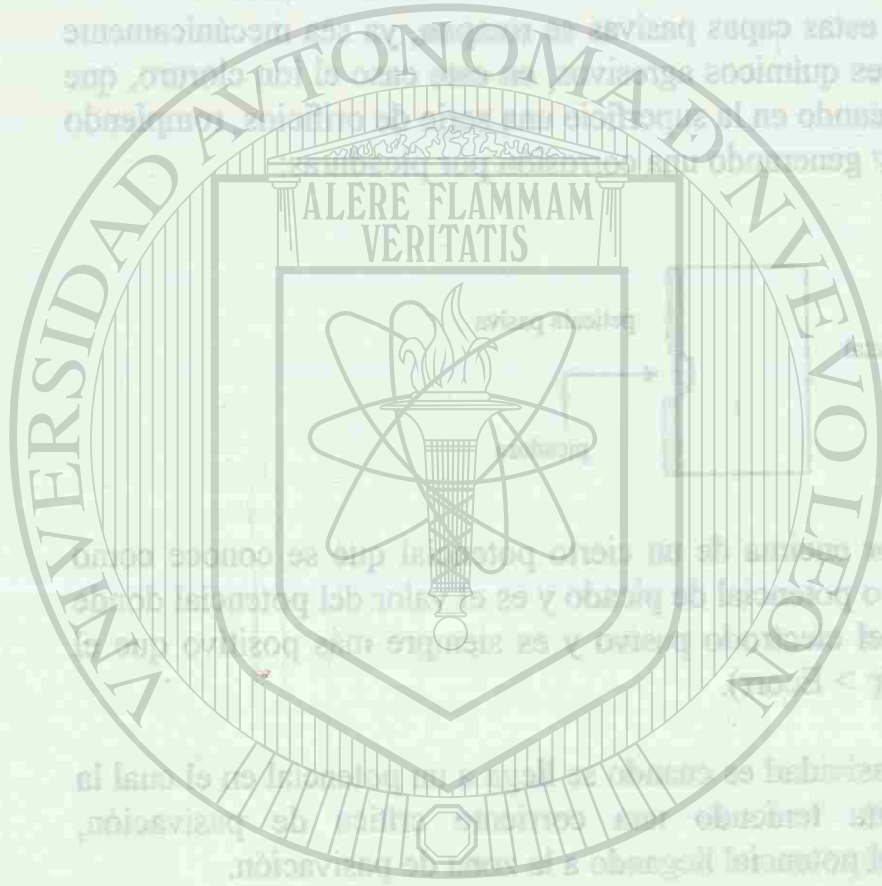


El picado se presenta por encima de un cierto potencial que se conoce como potencial de ruptura (E_r) o potencial de picado y es el valor del potencial donde inician las picaduras en el electrodo pasivo y es siempre más positivo que el potencial de corrosión ($E_r > E_{corr}$).

La transición actividad-pasividad es cuando se llega a un potencial en el cual la corriente ya no aumenta teniendo una corriente crítica de pasivación, posteriormente aumenta el potencial llegando a la zona de pasivación.

El potencial de Flade (E_f) es el potencial en el cual un metal que exhibe la transición actividad-pasividad se vuelve activo al ir disminuyendo la polarización anódica que lo mantenía pasivo.





La pasivación es la formación de capas superficiales sobre un metal, el cual queda protegido de los agentes químicos agresivos, por lo general, esta capa son óxidos del metal que se está protegiendo.

Para la formación de estas capas es necesario que exista humedad, si no está presente, el metal sufrirá una corrosión severa en lugar de una pasivación.

Existen el peligro de que estas capas pasivas se formen de manera mecánicamente por la acción de agentes químicos agresivos, que al estar presentes, que rompan la capa pasiva, creando en la superficie localmente la pasividad y generando una corrosión localizada.

La prueba se presenta por un cambio de un cierto potencial que se conoce como potencial de ruptura (E_r) o potencial de pasivo y es el valor del potencial donde ocurre la pasivación. En el caso de un metal que se encuentra en un estado activo, al aumentar el potencial, se produce una corriente de corrosión (i_c) que disminuye a medida que se acerca al potencial de ruptura (E_r). Una vez que se alcanza el potencial de ruptura (E_r), la corriente de corrosión (i_c) aumenta drásticamente y se establece un nuevo estado de pasividad.

El potencial de ruptura (E_r) es el potencial en el cual un metal que estaba en un estado activo, al aumentar el potencial, se produce una corriente de corrosión (i_c) que disminuye a medida que se acerca al potencial de ruptura (E_r). Una vez que se alcanza el potencial de ruptura (E_r), la corriente de corrosión (i_c) aumenta drásticamente y se establece un nuevo estado de pasividad.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Los curvas de polarización de metales pasivos como consecuencia de los factores de temperatura, naturaleza y concentración de electrolitos y presencia de otros factores.

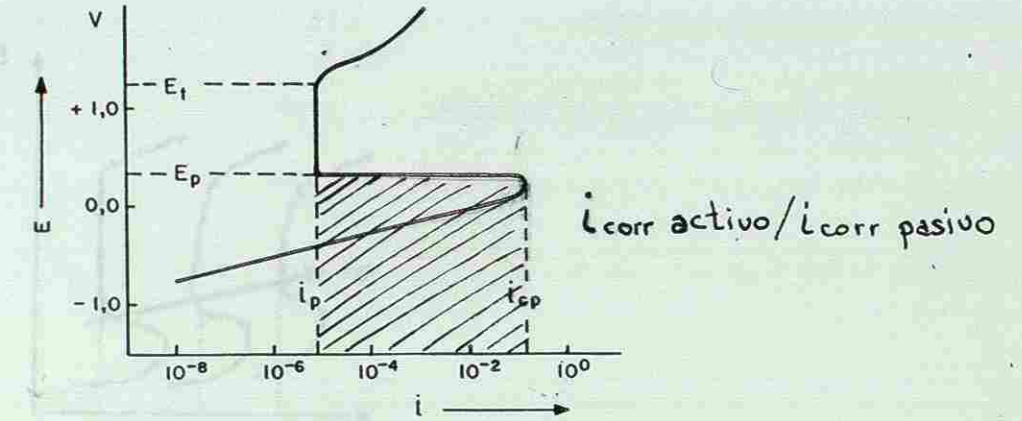
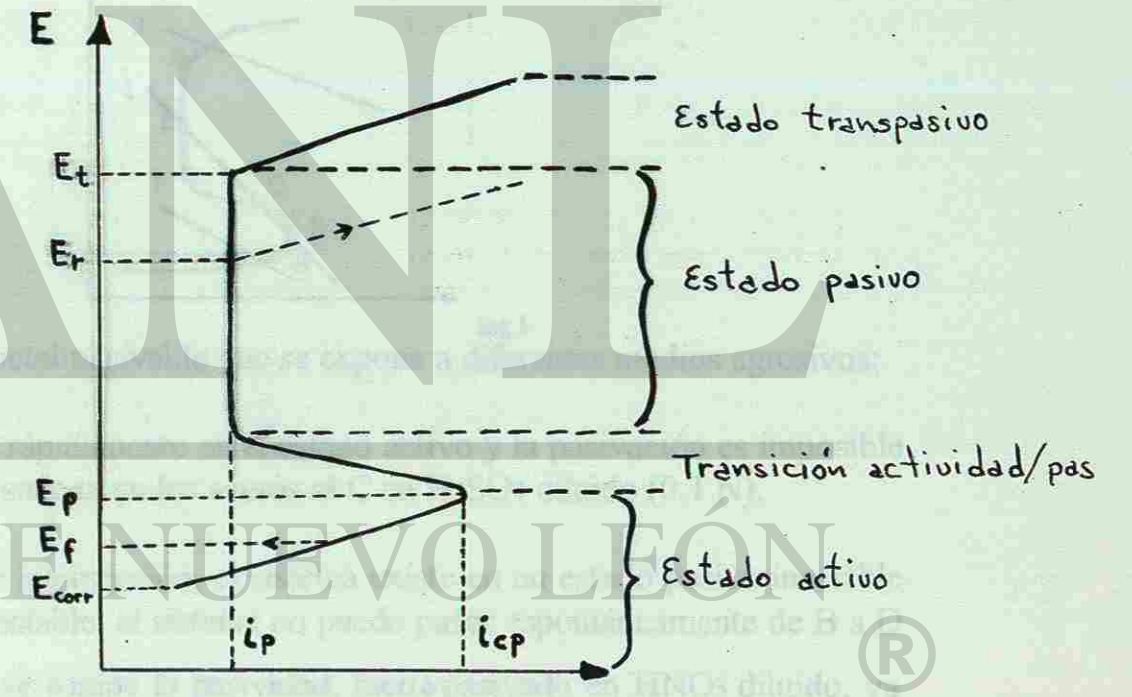


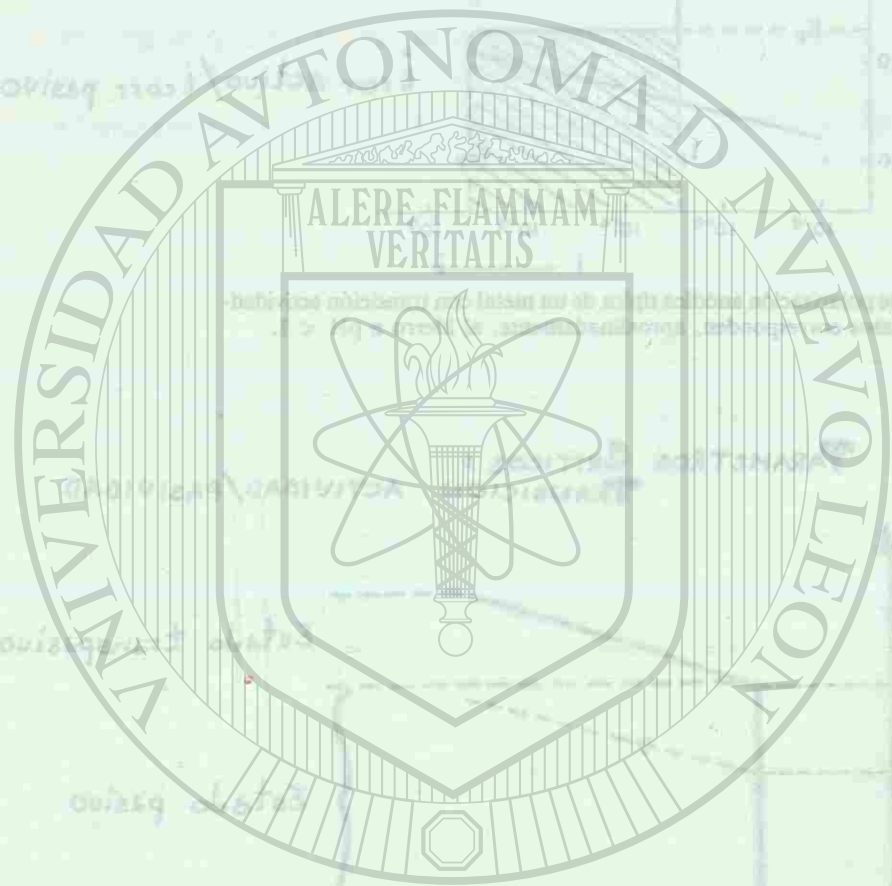
Figura 4.1.—Curva de polarización anódica típica de un metal con transición actividad-pasividad. Los datos corresponden, aproximadamente, al hierro a pH < 1.

La intersección de ambas curvas, la anódica y la catódica, presenta las condiciones de funcionamiento del sistema en estado estacionario.

PARAMETROS CRÍTICOS: TRANSICIÓN ACTIVIDAD/PASIVIDAD



En un estado activo, al aumentar el potencial, se produce una corriente de corrosión (i_c) que disminuye a medida que se acerca al potencial de ruptura (E_r). Una vez que se alcanza el potencial de ruptura (E_r), la corriente de corrosión (i_c) aumenta drásticamente y se establece un nuevo estado de pasividad.

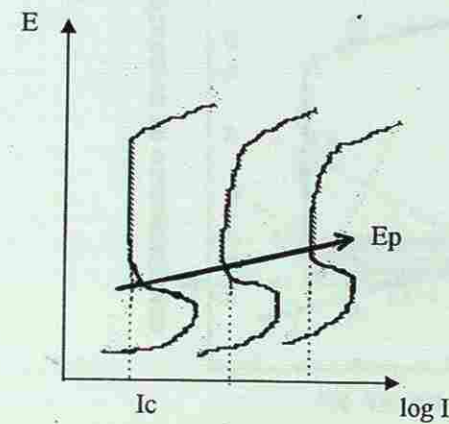


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

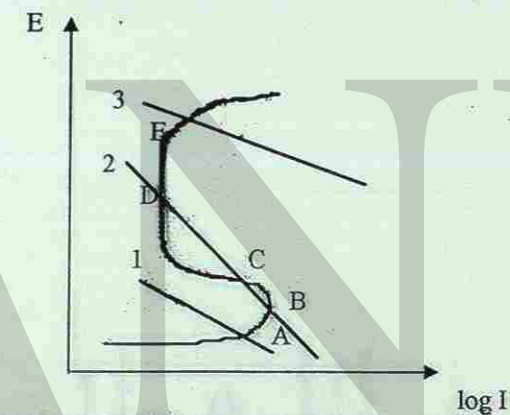
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Las curvas de polarización de metales pasivables están condicionadas por varios factores: la temperatura, naturaleza y concentración de electrolito y presencia de iones específicos.

Pueden influir sobre los parámetros críticos de la transición actividad-pasividad, modificando el E_p y la I crítica de pasivación, restringiendo la pasividad:

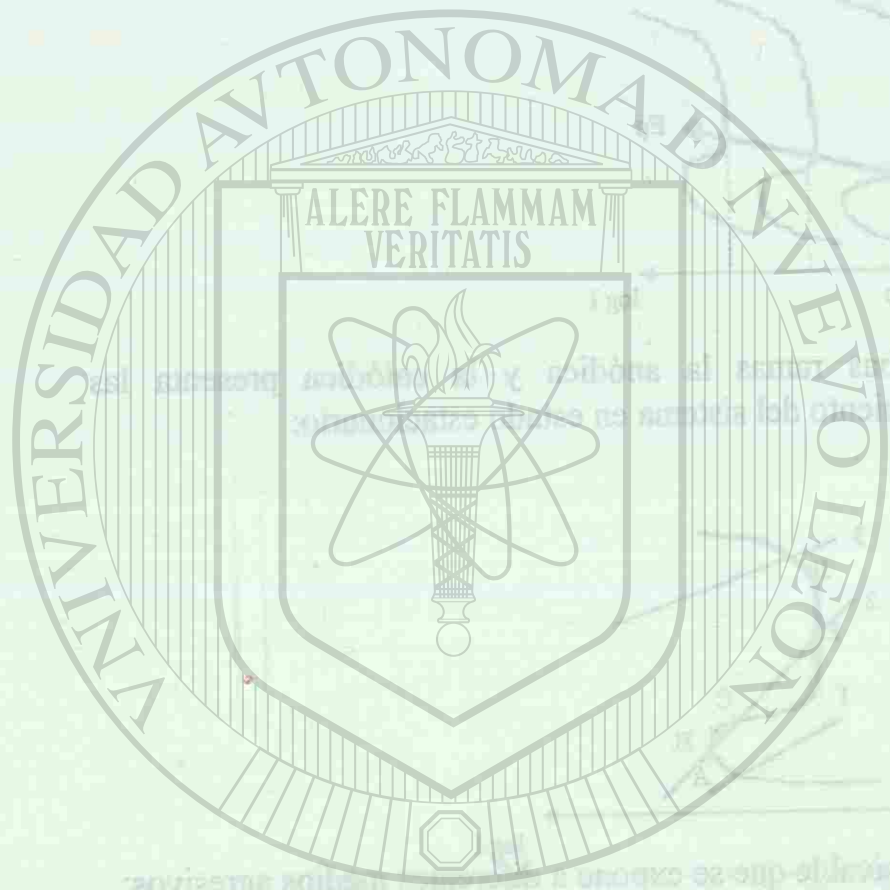


La intersección de ambas ramas la anódica y la catódica presenta las condiciones de funcionamiento del sistema en estado estacionario:



En el caso de un metal pasivable que se expone a diferentes medios agresivos:

- 1 El metal se corroe rápidamente en el estado activo y la pasivación es imposible tal como sucede en los aceros al C en H_2SO_4 diluido (0.1 N).
- 2 Hay tres puntos de intersección, el sistema existe en un estado pasivo inestable y en otro activo inestable, el sistema no puede pasar espontáneamente de B a D pero sí de D a B, se rompe la pasividad, hierro pasivado en HNO_3 diluido, ya sea por un rayón o por iones cloruro.
- 3 Hay un punto estable E que garantiza una pasividad segura, se pasivará espontáneamente porque se llega a una I crítica de pasivación necesaria para que ocurra la transición actividad-pasividad, el sistema no se vuelve activo, este caso refleja el comportamiento del hierro y de aceros inoxidables en ácidos oxidantes como el HNO_3 concentrado. Entonces el caso 1 es un estado permanentemente activo, el 2 una pasivación inestable, y el 3 un estado pasivo estable.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

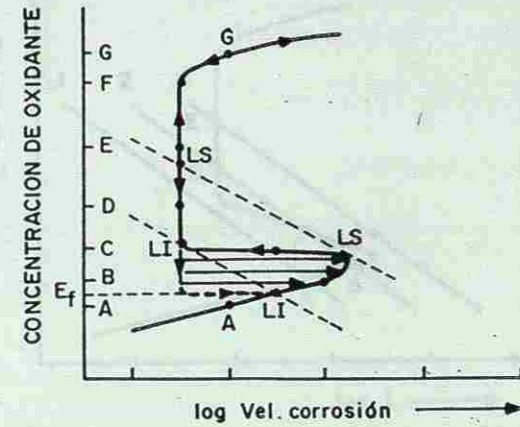


Figura 4.6.—Efecto de la concentración de oxidante en la velocidad de corrosión de los metales pasivables.

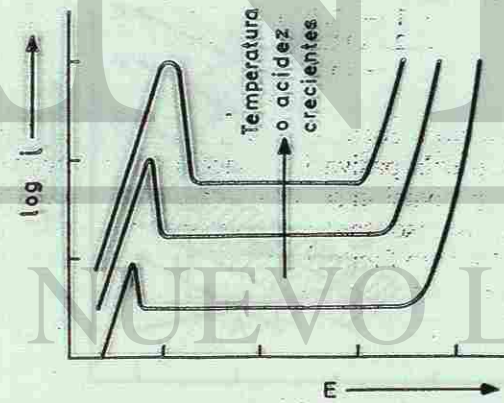
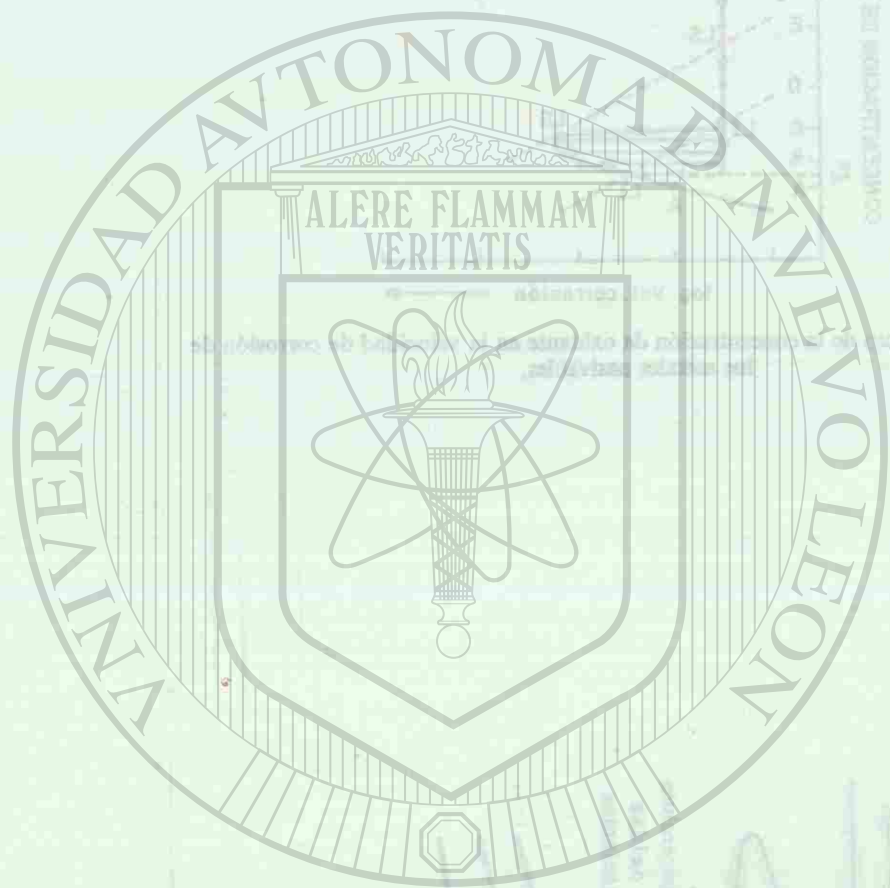


Figura 4.7.—Efecto de las condiciones ambientales sobre los parámetros del estado pasivo.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

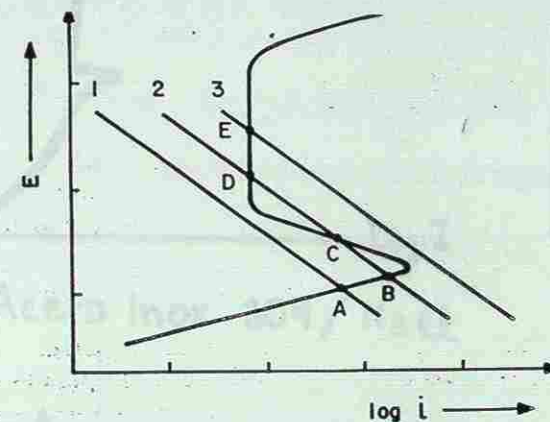


Figura 4.4.—Dependiendo del medio, los metales pasivables pueden encontrarse en estado activo, en una pasividad inestable o estable, casos que se corresponden con las curvas catódicas 1, 2 y 3, respectivamente.

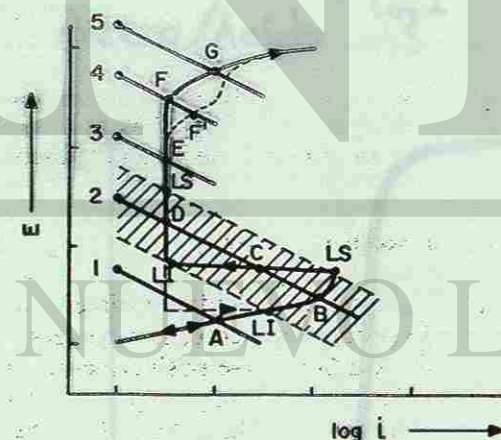
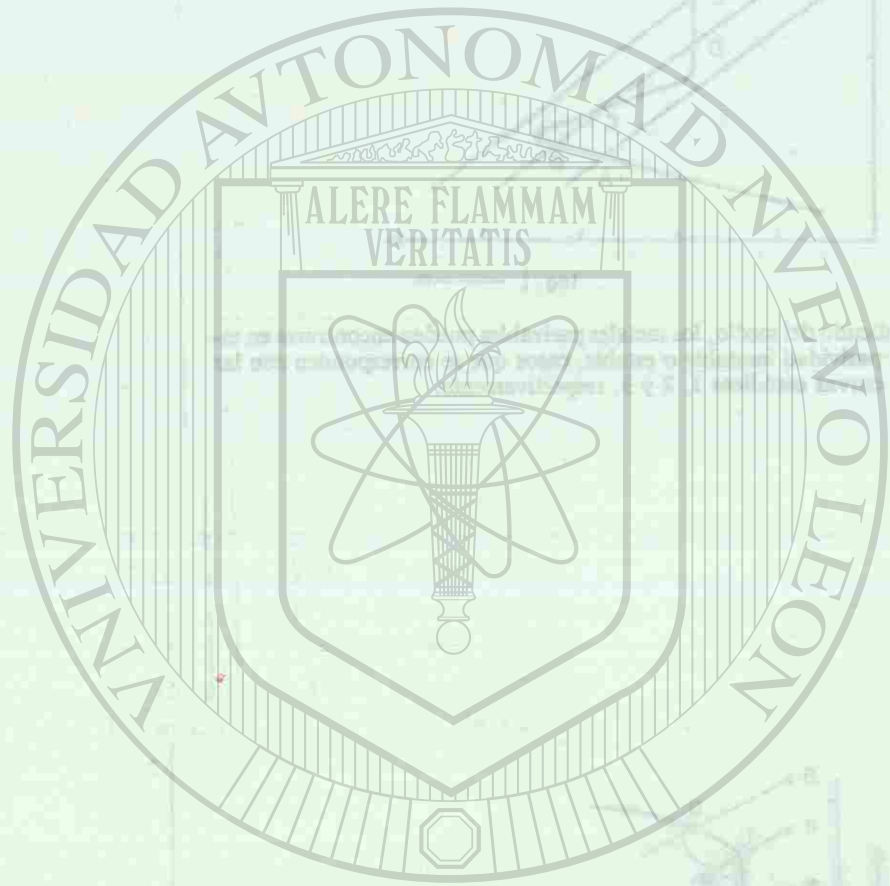
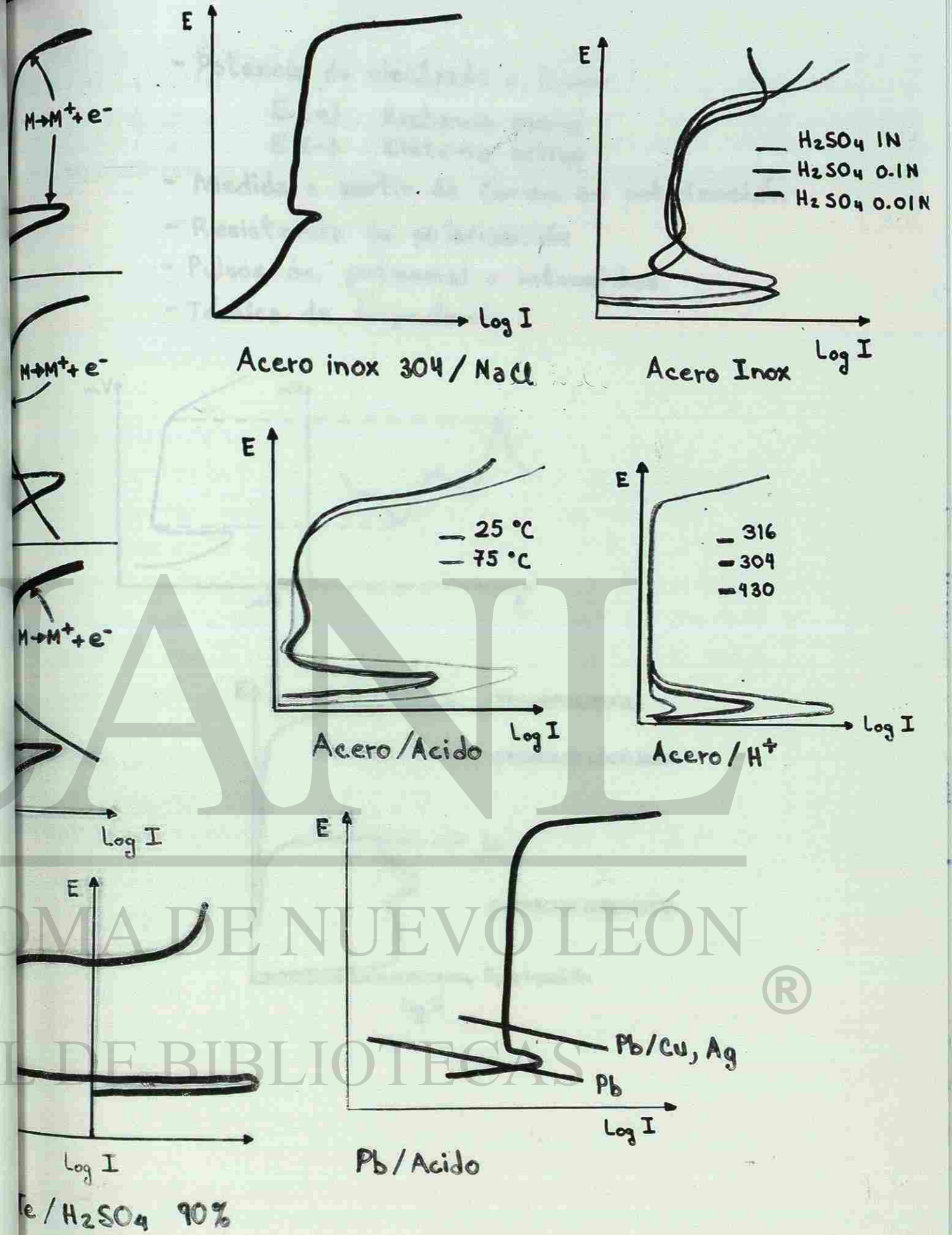


Figura 4.5.—Efecto de la concentración de oxidante sobre el comportamiento electroquímico de materiales metálicos con la transición actividad-pasividad.

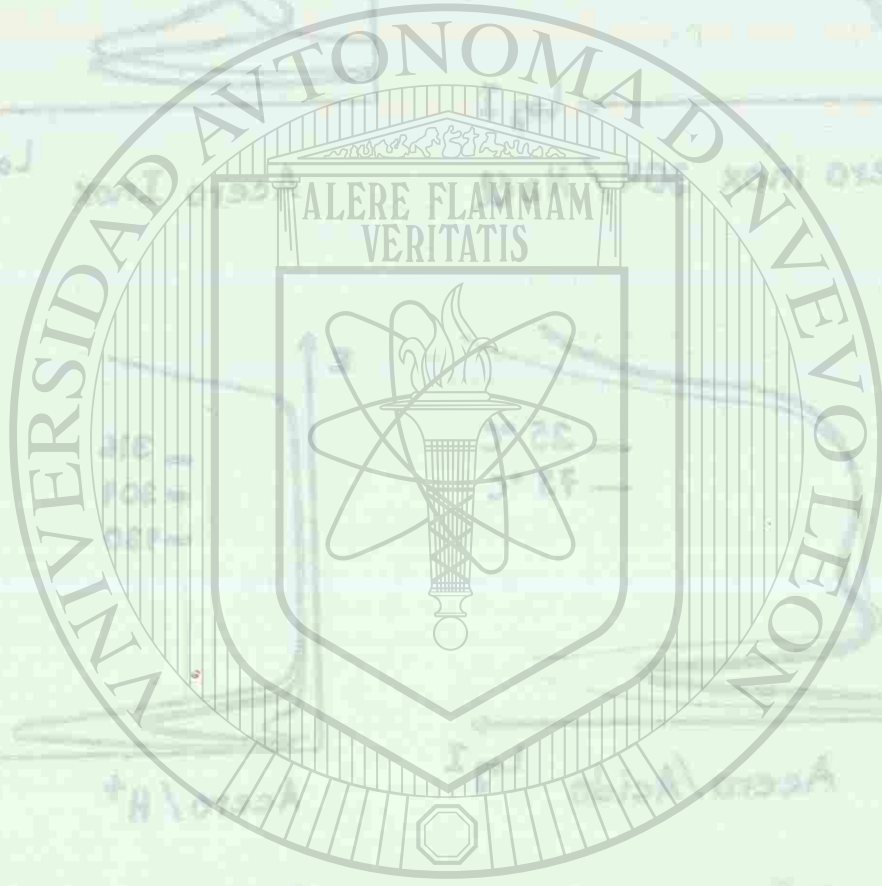


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



H_2SO_4 1M
 H_2SO_4 0.1M
 H_2SO_4 0.01M

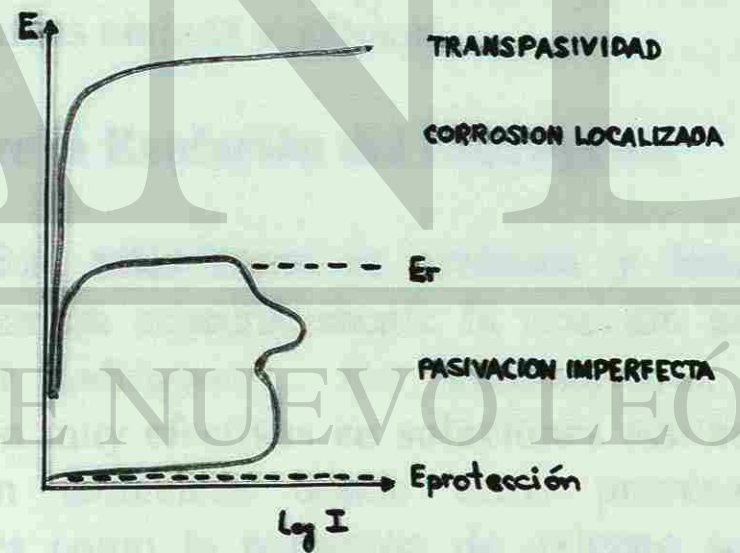
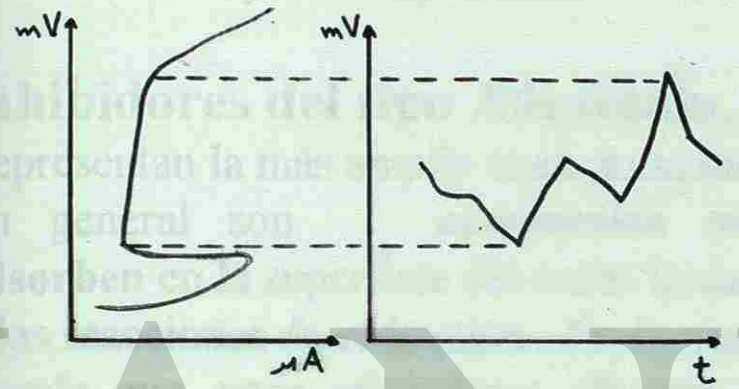


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

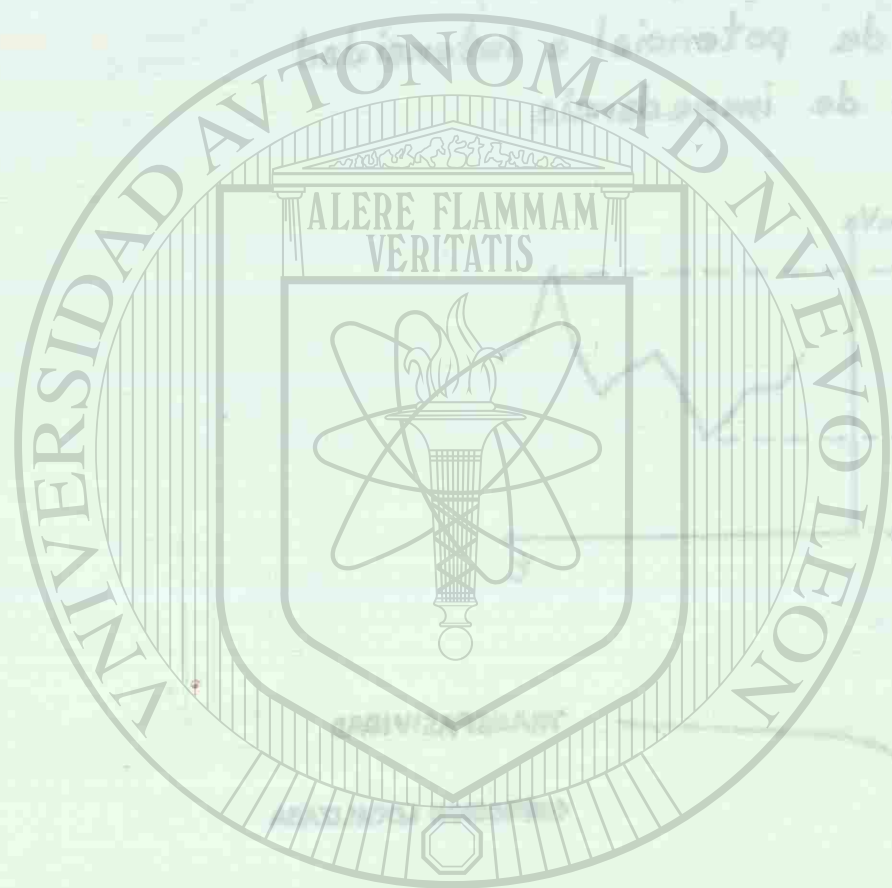
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

- Potencial de electrodo o E_{corr}
- $E (+)$ Sistema pasivo
- $E (-)$ Sistema activo

- Medida a partir de Curvas de polarización
- Resistencia de polarización
- Pulsos de potencial e intensidad
- Técnica de impedancia



®



Inhibidores

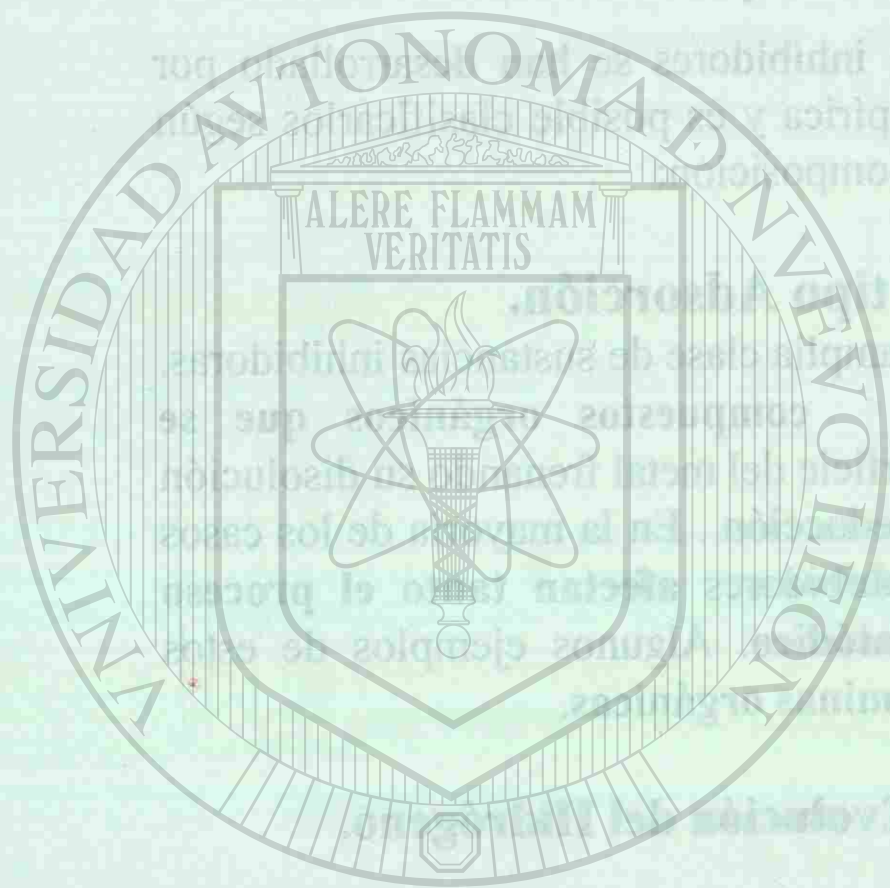
La mayoría de los inhibidores se han desarrollado por experimentación empírica y es posible clasificarlos según su mecanismo y su composición:

Inhibidores del tipo Adsorción.

Representan la más amplia clase de sustancias inhibidoras. En general son **compuestos orgánicos que se adsorben** en la superficie del metal frenando su disolución y las reacciones de reducción. En la mayoría de los casos sucede que estos **inhibidores afectan tanto el proceso anódico como el catódico**. Algunos ejemplos de estos inhibidores son las **aminas orgánicas**.

Tóxicos sobre la Evolución del Hidrógeno.

Estas sustancias, tales como el **arsénico y iones de antimonio** retardan específicamente la reacción para la evolución del hidrógeno. Por consecuencia, estas sustancias son muy **efectivas en soluciones ácidas** pero inefectivas en ambientes donde otros procesos de reducción tales como la reducción de oxígeno son las controladoras de las reacciones catódicas. ®



Introducción

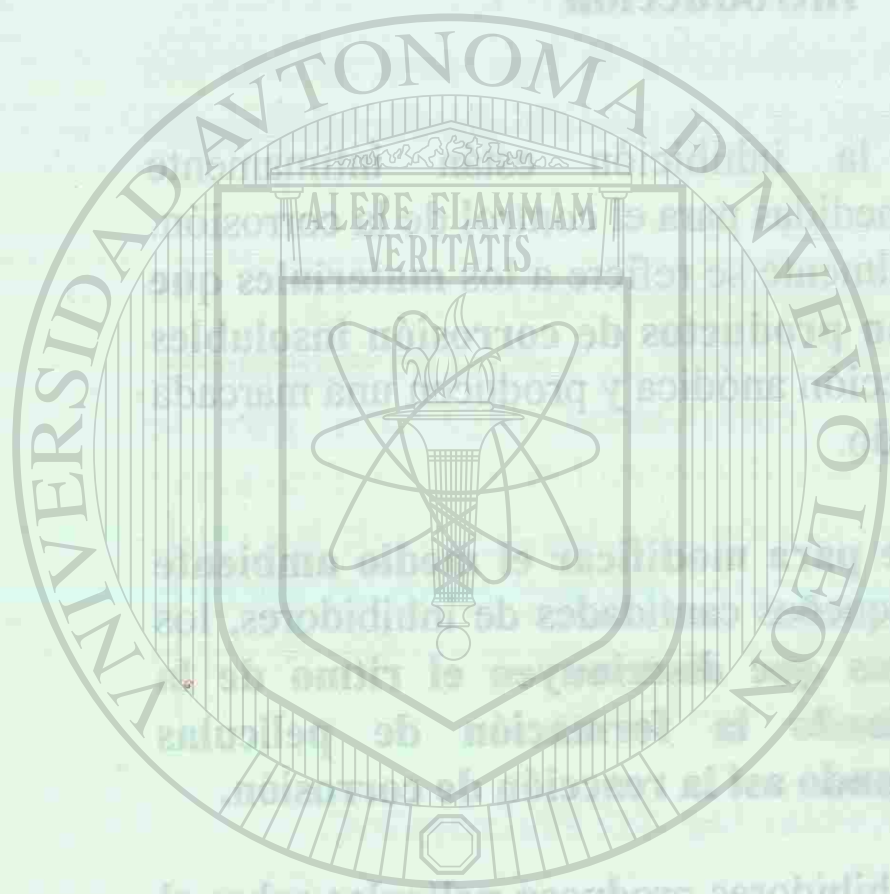
La pasividad y la inhibición están íntimamente relacionadas como medidas para el control de la corrosión. La **pasividad** normalmente se refiere a los **materiales que prontamente forman productos de corrosión insolubles** que dificultan la reacción anódica y producen una marcada polarización del ánodo.

La inhibición sirve para modificar el medio ambiente por la adición de pequeñas cantidades de inhibidores, los cuales son **sustancias que disminuyen el ritmo de la corrosión promoviendo la formación de películas insolubles y dificultando así la reacción de corrosión.**

La mayoría de los inhibidores producen películas sobre el ánodo. Ambas, **pasividad e inhibición son de interés para los ingenieros en corrosión cuando su acción es confiable y reducen la corriente de corrosión a un valor pequeño.**



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Inhibidores Anódicos

Cromatos. Son altamente efectivos al proteger aleaciones ferrosas y no ferrosas. La película protectora se forma sobre los metales ferrosos mediante la oxidación del hierro para formar un óxido mezclado ($\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$).

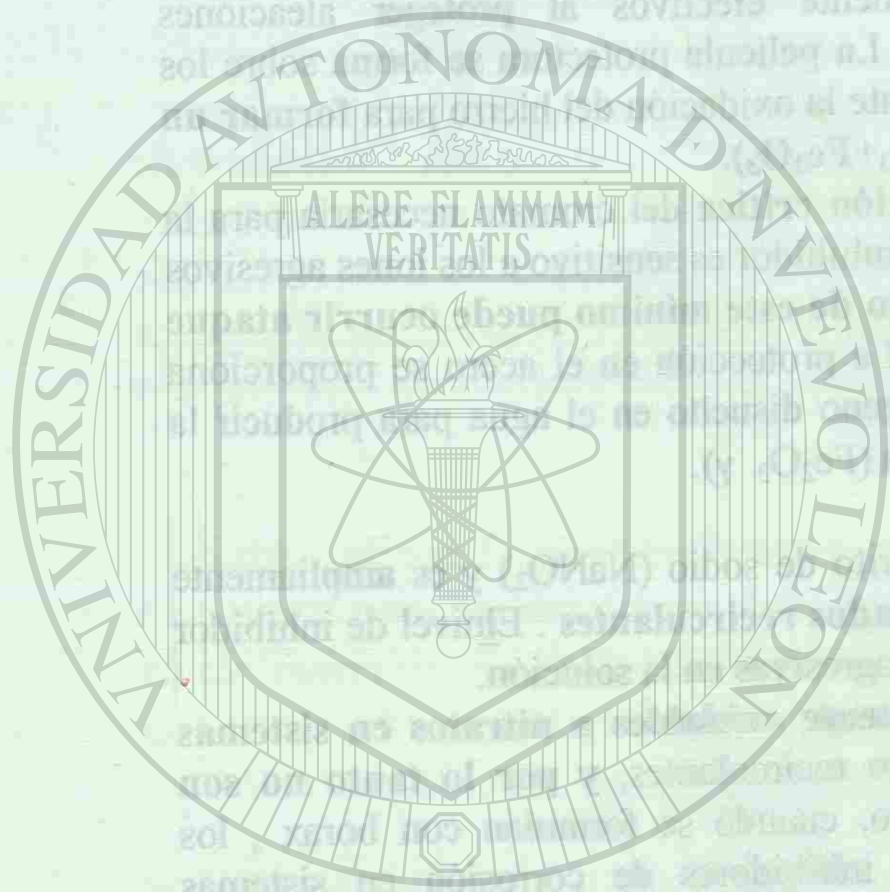
Existe una concentración crítica del cromato necesaria para la protección, ya que este inhibidor es sensible a los iones agresivos como los del Cl^- . Abajo de este mínimo puede ocurrir ataque severo por picadura. La protección en el acero se proporciona en conjunto con el oxígeno disuelto en el agua para producir la capa de óxido protectora ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \gamma$).

Nitritos. Puede ser nitrito de sodio (NaNO_2) y es ampliamente usado en sistemas cerrados recirculantes. El nivel de inhibidor depende de las especies agresivas en la solución.

Los nitritos son fácilmente oxidables a nitratos en sistemas abiertos de enfriamiento recirculantes, y por lo tanto no son adecuados; sin embargo, cuando se formulan con borax, los nitritos son excelentes inhibidores de corrosión en sistemas cerrados. El borax mantiene el agua en niveles de 8.5 en pH.

Fosfatos. Aquí tenemos al fosfato de sodio (Na_3PO_4) como inhibidor anódico efectivo en presencia de oxígeno. Sus propiedades protectoras hacia el acero son función del pH. Su aplicación se limita a ambientes alcalinos ($\text{pH} > 8$). ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Inhibidores Catódicos

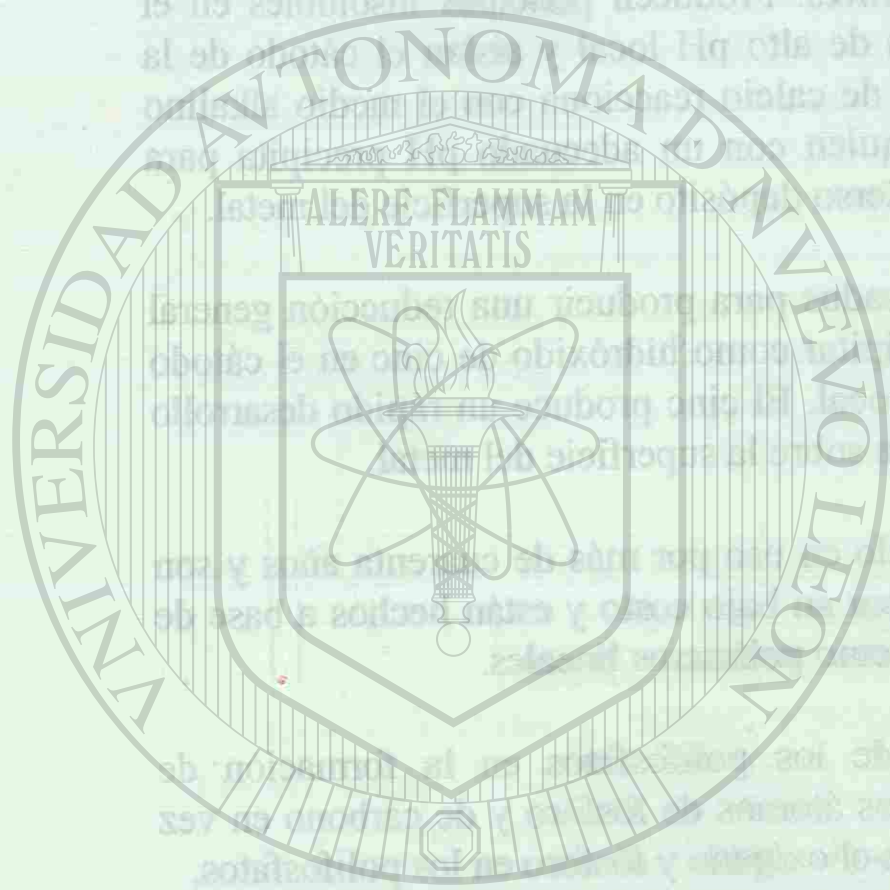
Inhibidores precipitantes. Producen películas insolubles en el cátodo en condiciones de alto pH local y aíslan el cátodo de la solución. Bicarbonato de calcio reacciona con el medio alcalino para formar CaCO_3 , quien con un adecuado pH precipita para formar un resistente y terso depósito en la superficie del metal.

Iones de Cinc. Son usados para producir una reducción general en la corrosión al precipitar como hidróxido de cinc en el cátodo debido al elevado pH local. El cinc produce un rápido desarrollo de la película protectora sobre la superficie del metal.

Polifosfatos. Han estado en uso por más de cuarenta años y son muy utilizados, quizá por su bajo costo y están hechos a base de sales sódicas. Existen como polímeros lineales.

Fosfonatos. Difieren de los polifosfatos en la formación de enlaces directos entre los átomos de fósforo y de carbono en vez de la unión directa entre el oxígeno y fósforo en los polifosfatos. La unión genera una mayor estabilidad hidrolítica, lo cual elimina las deposiciones.





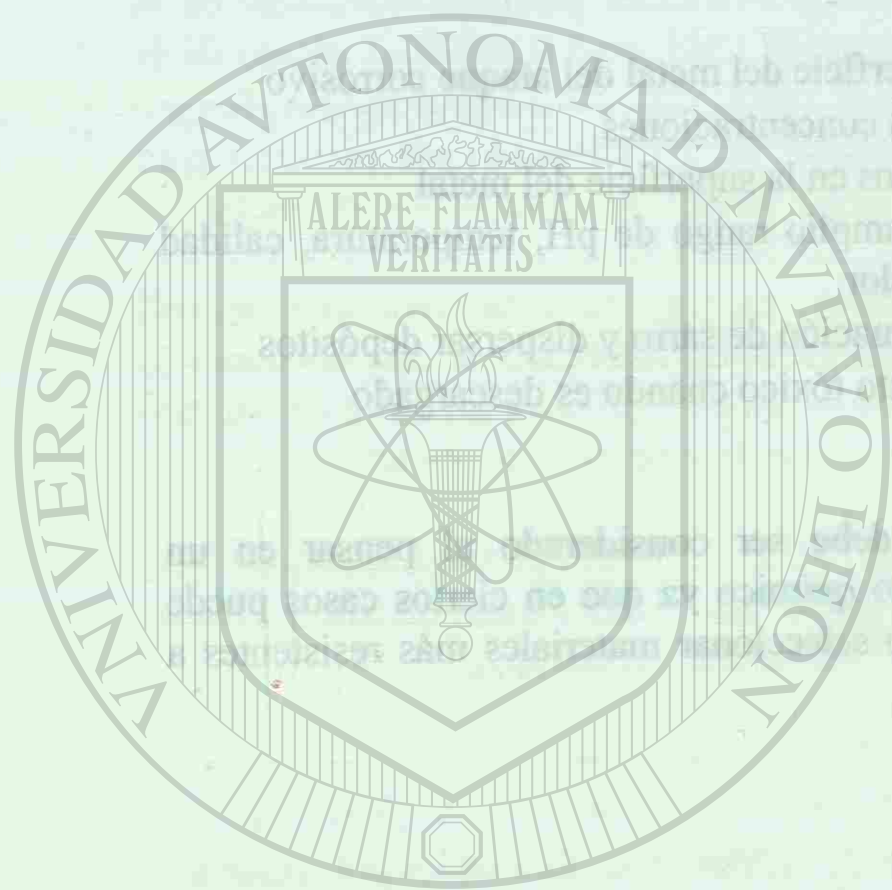
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Características de un Inhibidor Efectivo

- Proteger toda la superficie del metal del ataque corrosivo
- Ser efectivo en bajas concentraciones
- No provocar depósitos en la superficie del metal
- Ser efectivo en un amplio rango de pH, temperatura, calidad de agua y flujo de calor
- Debe prevenir la formación de sarro y dispersar depósitos
- Debe tener poco efecto tóxico cuando es descargado

El efecto económico debe ser considerado al pensar en un programa de tratamiento químico ya que en ciertos casos puede resultar más económico seleccionar materiales más resistentes a la corrosión.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INTRODUCCIÓN

Rastreadores (Scavengers).

Estas sustancias actúan al remover reactivos corrosivos de la solución. Como ejemplos tenemos al **sulfito de sodio** y la **hidrazina**, los cuales eliminan el oxígeno disuelto de la solución acuosa en la siguiente forma:



Es obvio que tales inhibidores trabajarán muy **efectivamente en reacciones donde la reducción de oxígeno es la controladora de la reacción catódica** y no serán efectivas en soluciones ácidas agresivas.

Oxidantes.

Tales sustancias como los **cromatos**, **nitratos** y **sales férricas** también actúan como inhibidores en muchos sistemas y son utilizados principalmente para inhibir la corrosión de **metales y aleaciones que muestran transiciones actividad-pasividad**, tales como el hierro y sus aleaciones, así como los aceros inoxidables.

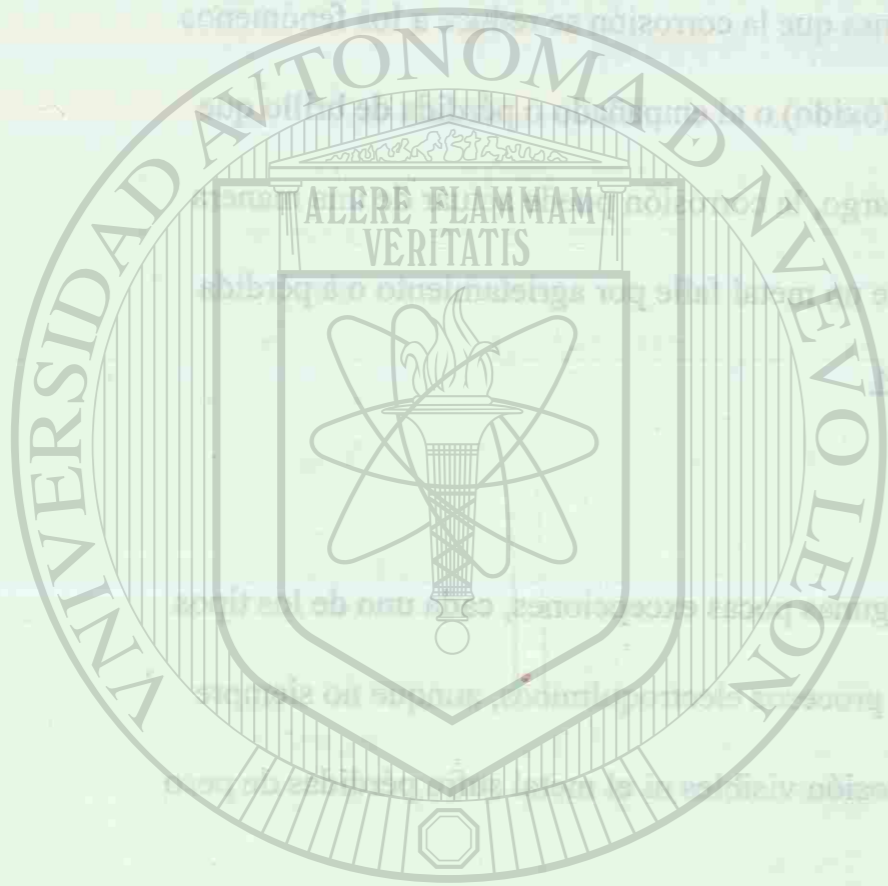
INTRODUCCION

Con frecuencia se piensa que la corrosión se reduce a los fenómenos de formación de herrumbre (óxido) o al empañado o pérdida de brillo que sufren los metales. Sin embargo, la corrosión puede actuar de una manera tal, que pueda conducir a que un metal falle por agrietamiento o a pérdida de su resistencia o ductilidad.

En general, y salvo algunas pocas excepciones, cada uno de los tipos de corrosión se produce por procesos electroquímicos, aunque no siempre se forman productos de corrosión visibles ni el metal sufre pérdidas de peso apreciables.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CORROSION UNIFORME

La corrosión tiene muchas formas, de las cuales la más simple es el **ATAQUE UNIFORME**. Esta es quizá la forma más comúnmente encontrada y se caracteriza por un **adelgazamiento progresivo y uniforme del componente metálico**.

TIPOS DE CORROSION UNIFORME

- a) CORROSION ATMOSFERICA
- b) CORROSION GALVANICA
- c) CORROSION POR CORRIENTE DESVIADA
(STRAY-CURRENT CORROSION)
- d) CORROSION BIOLOGICA
- e) CORROSION POR SALES FUNDIDAS
- f) CORROSION A ALTAS TEMPERATURAS
 - Oxidación
 - Sulfitación
 - Carburización
 - Otras

CORROSION ATMOSFERICA

Se define como la degradación de materiales expuestos al aire y a sus agentes contaminantes. Se considera como una de las formas de corrosión más antiguas y además la que provoca la mayoría de las fallas en términos de costo y tonelaje que otros tipos de corrosión en forma aislada

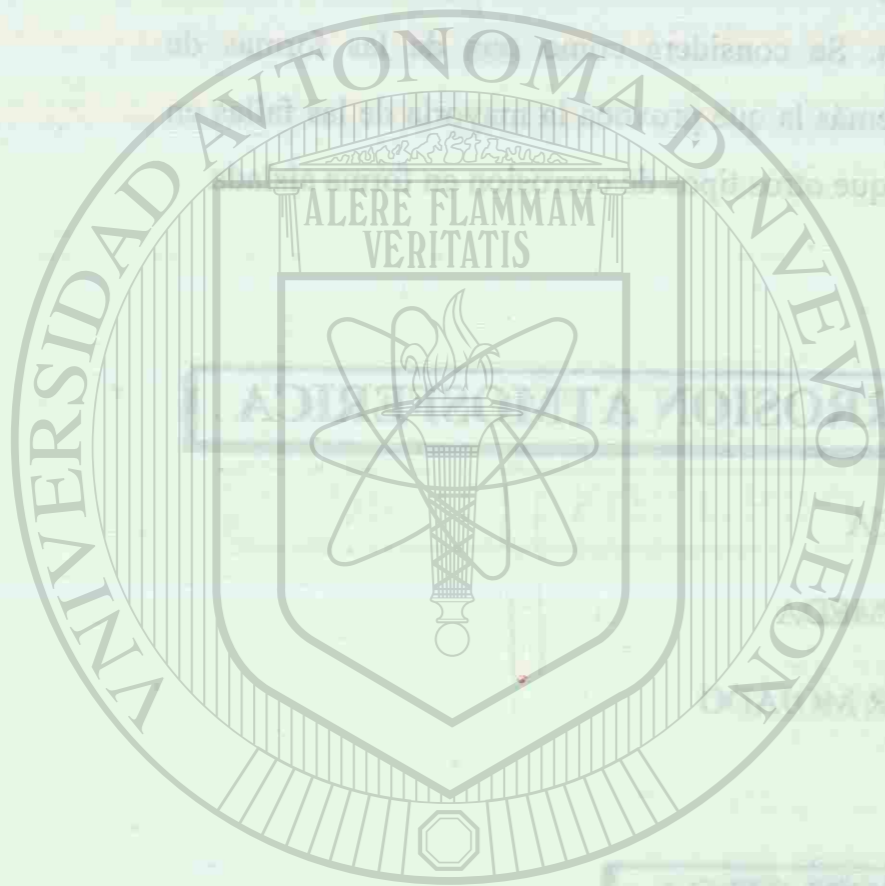
TIPOS DE CORROSION ATMOSFERICA

- i CORROSION SECA
- ii CORROSION HUMEDA
- iii CORROSION POR MOJADO

CORROSION SECA

En ausencia de humedad, en algunos metales la corrosión se presenta muy lentamente a temperatura ambiente, sin embargo bajo condiciones a altas temperaturas ésta se acelera.

A temperatura ambiente en metales que presentan energías libres negativas, forman rápidamente capas de óxido termodinámicamente estables en presencia de oxígeno



CORROSION POR PICADURA (pitting)

Dónde se presenta la corrosión por picaduras?

Ocurre entre los metales más usados y sus aleaciones

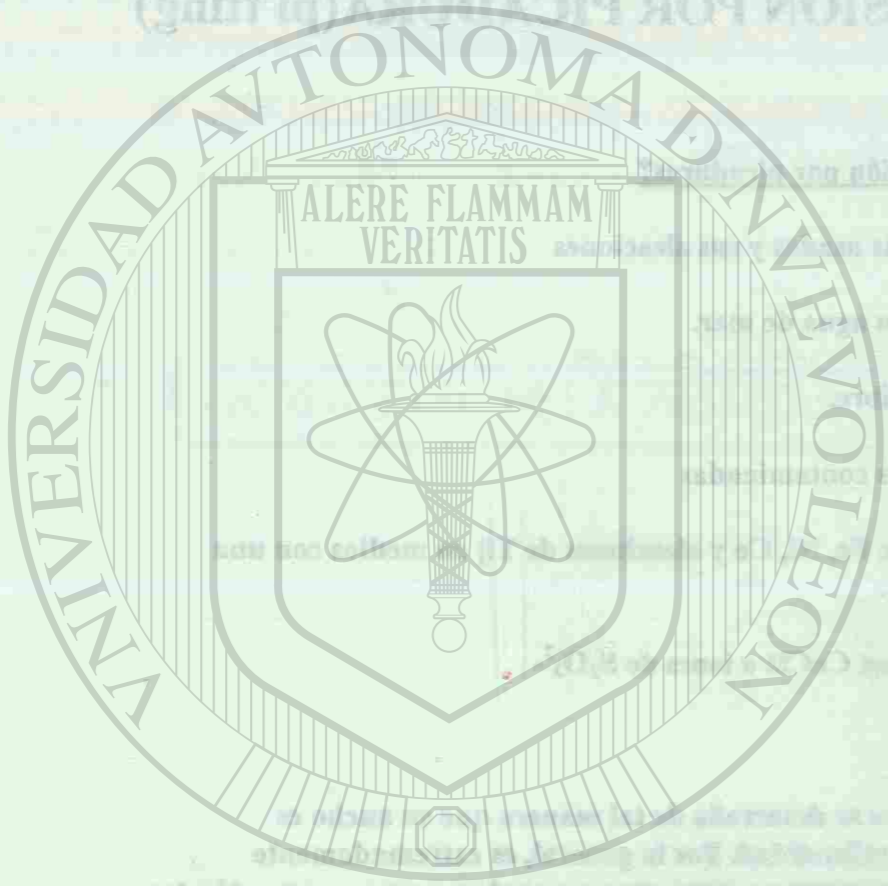
- Acero inoxidable inmerso en agua de mar.
- Aluminio en agua con Cl_2 libre.
- Aluminio con latón en aguas contaminadas
- Materiales inoxidables [base Fe, Ni, Co y aleaciones de Ti] en medios con una concentración de Cl^- ó Br^- .
- Acero inox. 316 a una sol. con CaCl_2 o iones de $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

Una picadura es un hoyo que se desarrolla de tal manera que su ancho es comparable o menor que su profundidad. Por lo general, es extremadamente localizada, esto es las picaduras se encuentran muy separadas, pero a veces están tan cercanas que se unen y se convierten en una superficie áspera.

Picadura es una de las más destructivas e insidiosas formas de corrosión; esto causa a equipos fallar por la perforación, con solo un pequeño porcentaje de pérdida de peso de la estructura entera, es difícil detectar picaduras por su pequeño tamaño y porque son cubiertas con productos de corrosión.

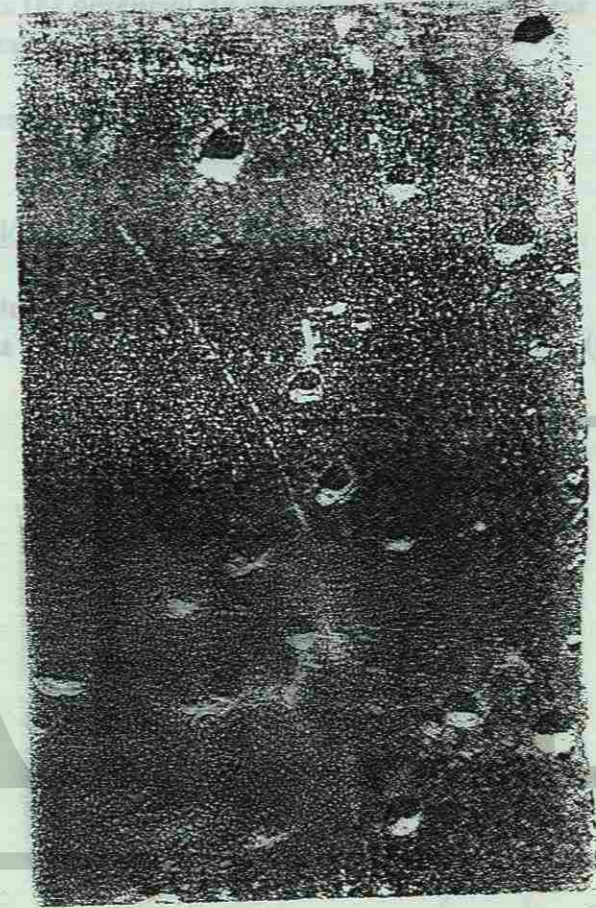
Además es difícil cuantificar y comparar hasta cierto punto las picaduras por la variación de profundidad y números de picaduras que pueden ocurrir bajo condiciones idénticas. ®

Picadura es también difícil de predecir por pruebas de laboratorio. Algunas veces las picaduras requieren un largo tiempo (varios meses o años), como el agua en las tuberías de cobre.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

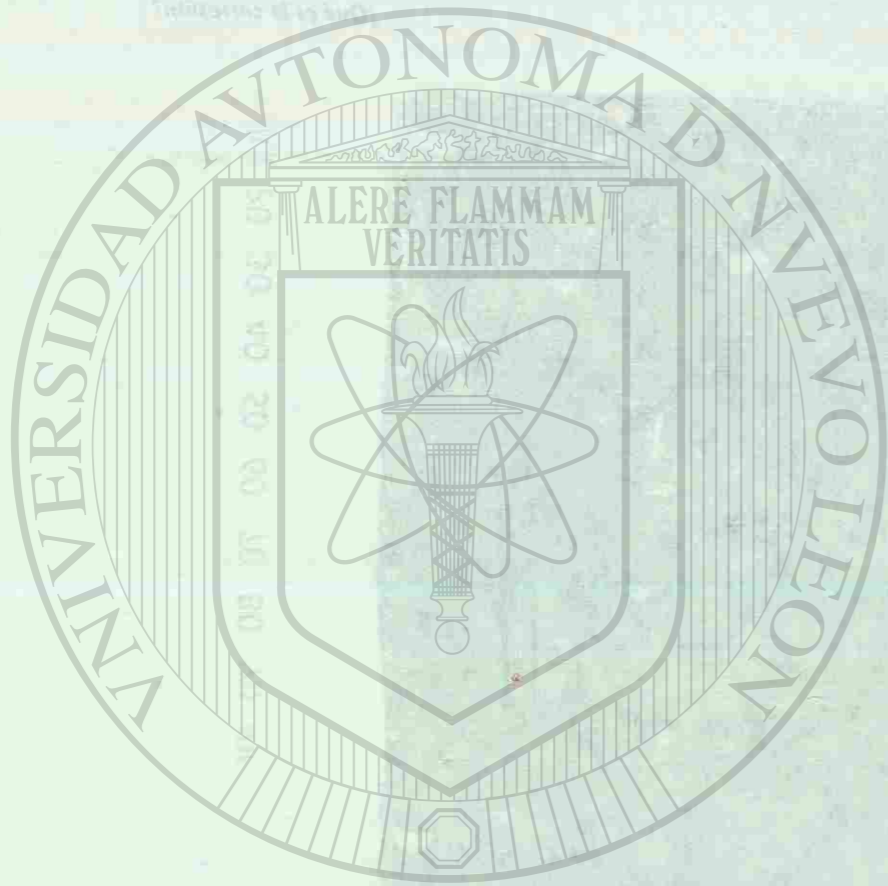
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

Figura 1.4 Corrosión por picado de una placa de acero. Picaduras de fondo plano de gran diámetro (aproximadamente 3 mm) se desarrollaron en una planta de esterilización de cerdos. El ambiente era básicamente agua hirviendo contaminada con cloruro y diferentes líquidos corporales, inclusive sangre.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PROTECCIÓN CÁTODICA

Inicio de la corrosión.

Consiste en conectar a través de una corriente impresa el metal a proteger al polo negativo de un fuente de corriente

Teorías Cinéticas: [caída de la pasividad en términos de competitividad entre Cl y el O₂]

Teorías Termodinámicas [El potencial de picadura; es en el cual los iones Cl⁻ están en equilibrio con la película de oxido].

La temperatura es un factor muy importante para la corrosión.

Mecanismo de la corrosión

- Caída de la pasividad del metal
- Formación de una celda electrolytica [anódo(metal activo); cátodo (metal pasivo)]

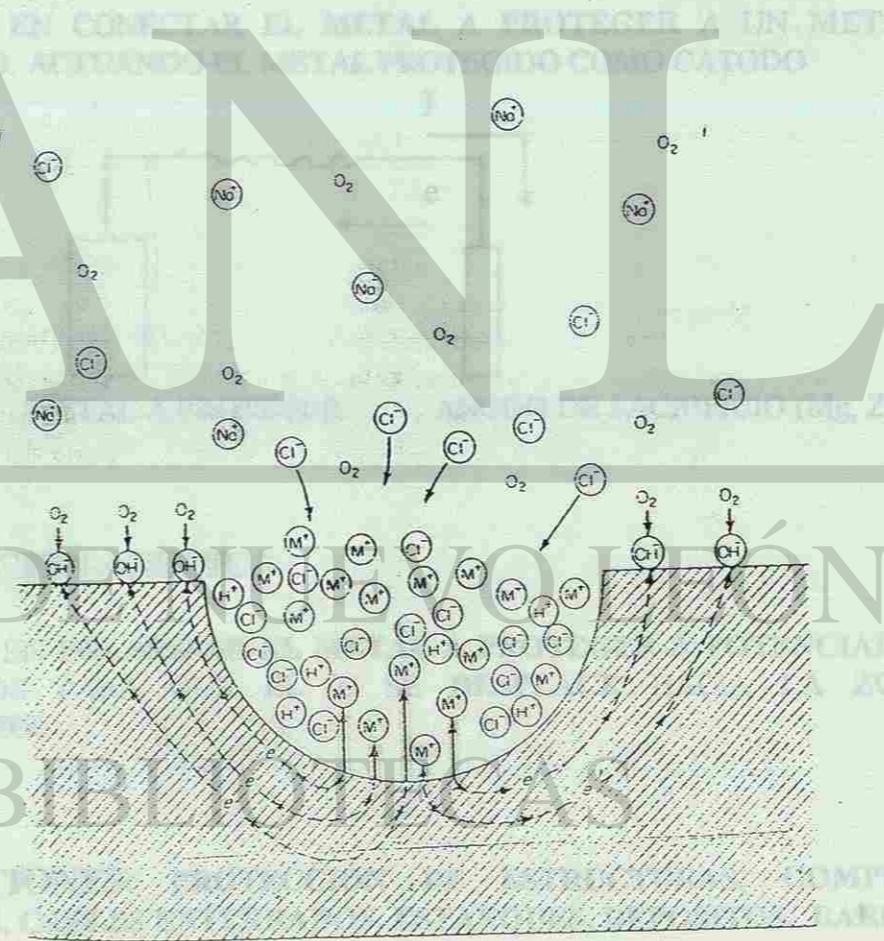
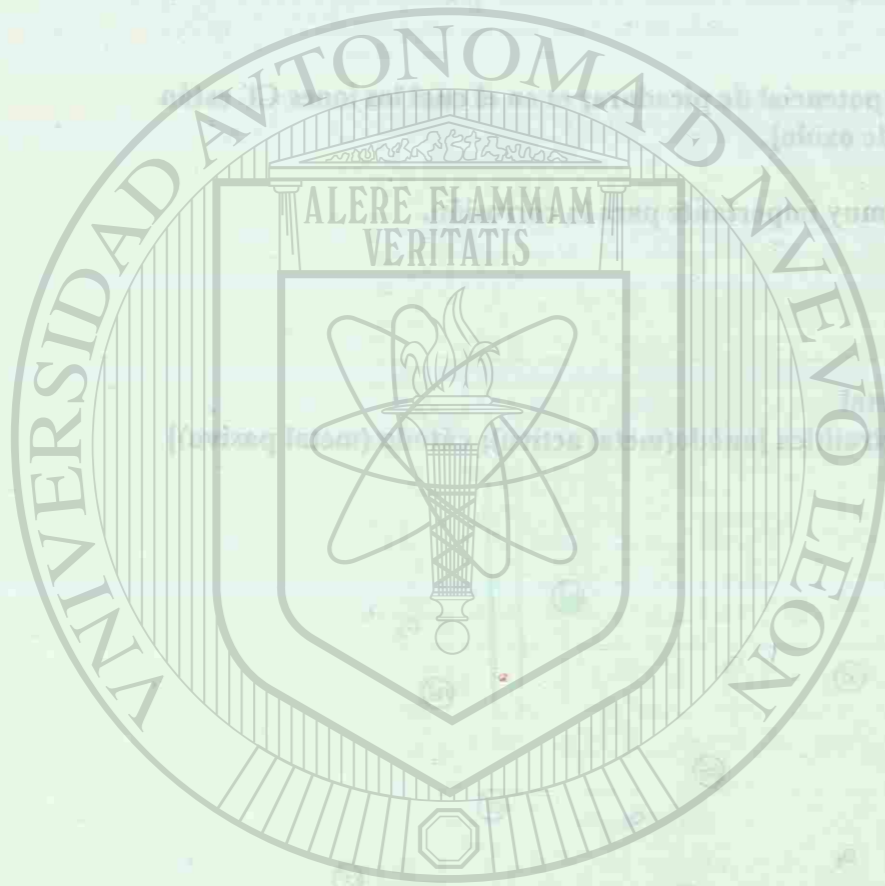


Figure 3-19 Autocatalytic processes occurring in a corrosion pit.

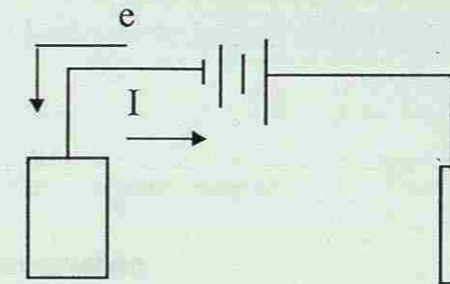


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PROTECCION CATODICA

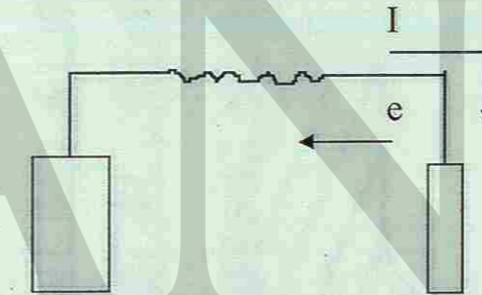
CONSISTE EN CONECTAR A TRAVES DE UNA CORRIENTE IMPRESA EL METAL A PROTEGER AL POLO NEGATIVO DE UN FUENTE DE CORRIENTE



METAL A PROTEGER

ANODO DE SACRIFICIO

CONSISTE EN CONECTAR EL METAL A PROTEGER A UN METAL MAS NEGATIVO, ACTUANDO EL METAL PROTEGIDO COMO CATODO



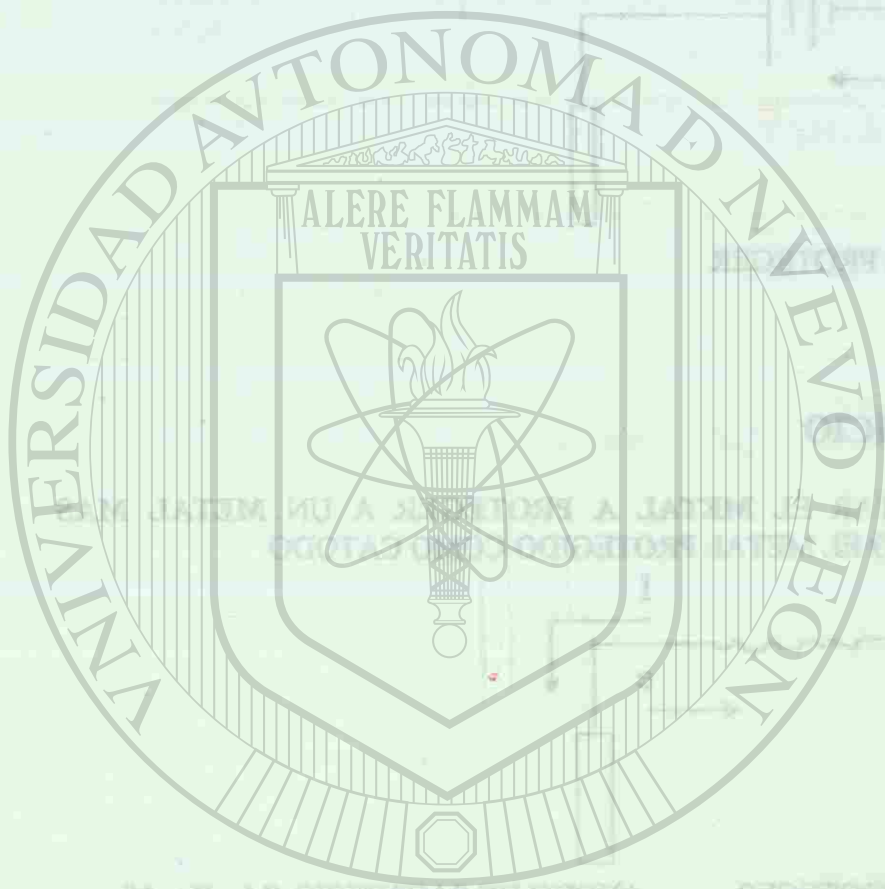
METAL A PROTEGER

ANODO DE SACRIFICIO (Mg, Zn, Al)

PROTECCION ANODICA

CONSISTE EN POLARIZAR EL METAL A PROTEGER A POTENCIALES MAS NEGATIVOS PARA QUE EL E SE DESPLACE HACIA LA ZONA DE PASIVACION.

APLICACIONES: PROTECCION DE ESTRUCTURAS, COMPUERTAS, TUBERIAS, CABLES ENTERRADOS, ESTANQUES, DEPOSITOS, BARCOS.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PROTECCIÓN CÁTODICA

CONSISTE EN CONECTAR A TRAVÉS DE UNA CORRIENTE IMPRESA EL METAL A PROTEGER AL PÓLO NEGATIVO DE UN FUENTE DE CORRIENTE



Termodinamicamente.

La protección catódica se basa en la existencia de un potencial y de una zona de inmunidad, en el correspondiente diagrama de estabilidad termodinámica o diagrama de potencial vs. pH (Diagrama de Pourbaix).

En el caso del hierro (acero), para poder mantenerlo dentro de la zona de inmunidad hay que bajar su potencial por debajo de 0.6V con respecto al electrodo de referencia de hidrógeno, lo cual es equivalente a bajarlo de -0.8V con respecto al electrodo de Ag/AgCl.

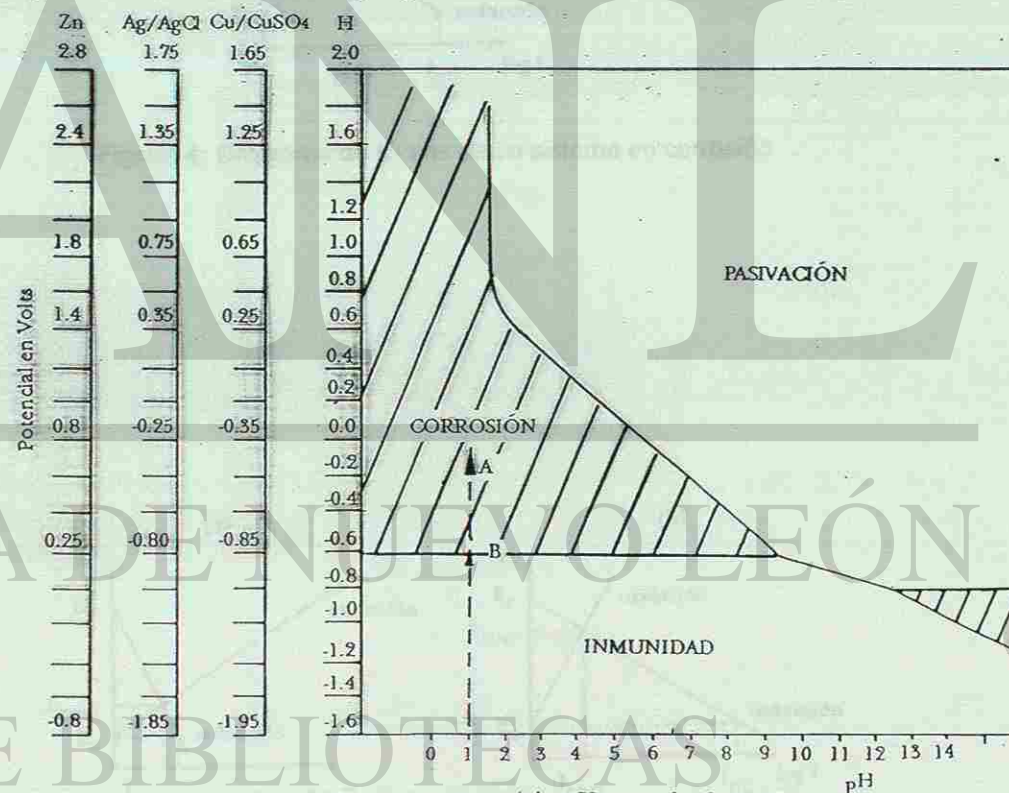
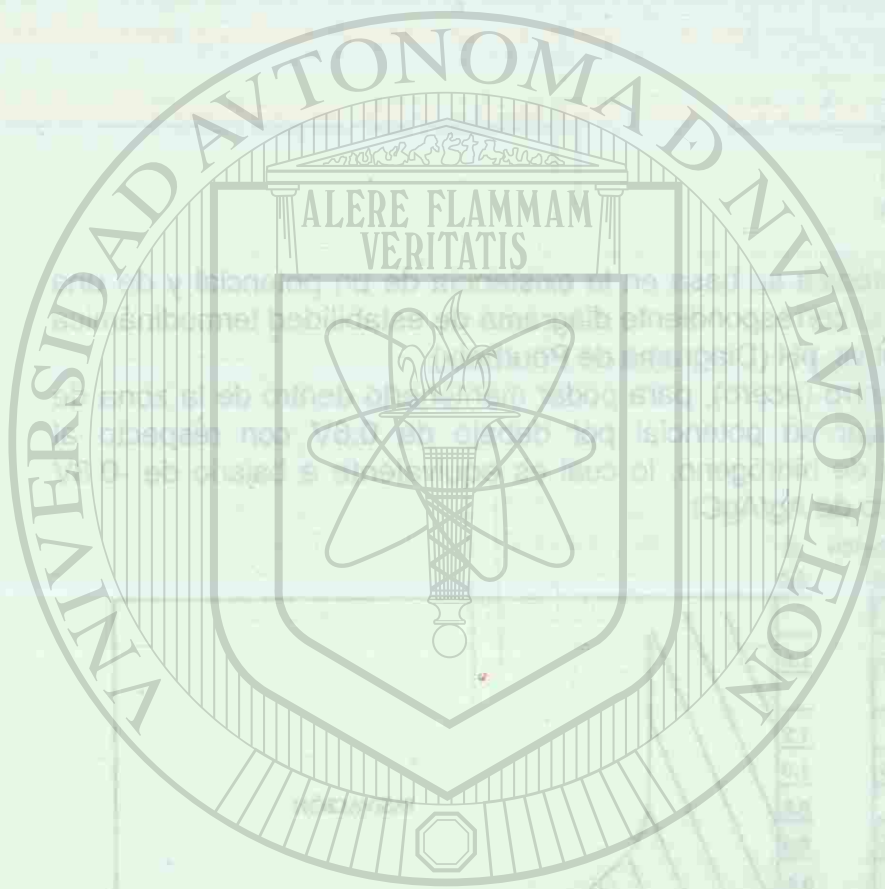


Diagrama potencial -pH para el Hierro (Fe).

Figura 2. Sistema de protección catódica.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cinéticamente.

Polarizando la superficie del metal que se corroe a un valor igual o inferior a E_a , se anula la reacción anódica en el metal, siendo I_{pc} la corriente catódica que tendrá que ser suministrada por el sistema de protección catódica.

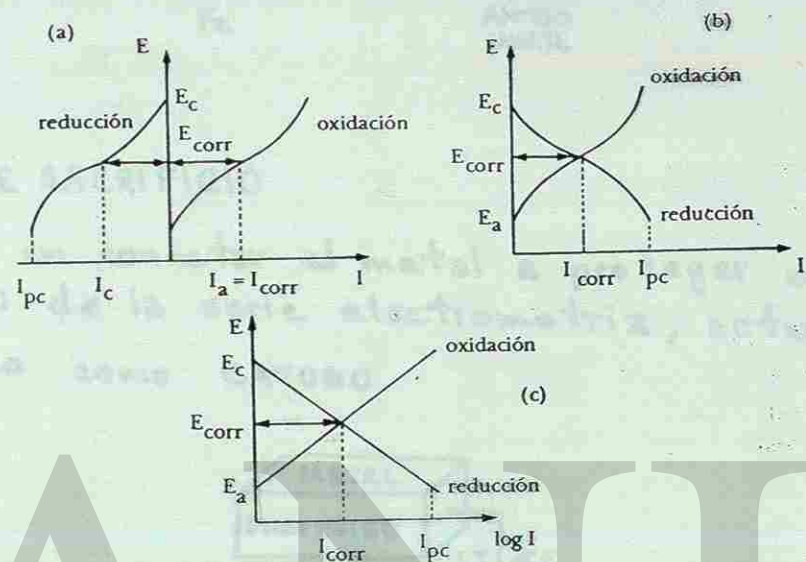


Figura 4: Diagrama de Evans de un sistema en corrosión.

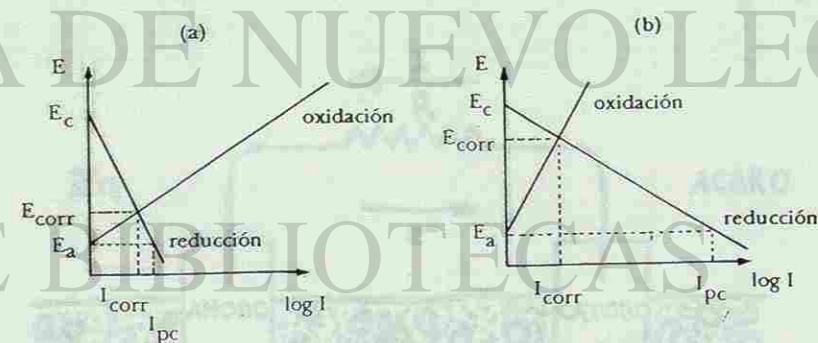
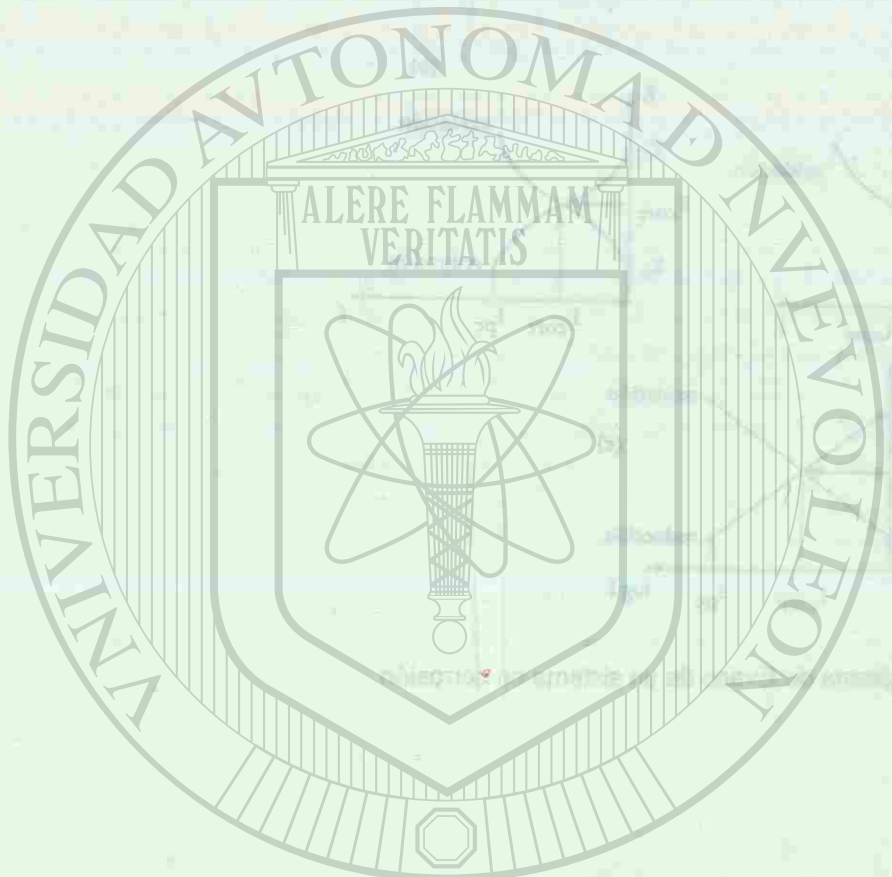


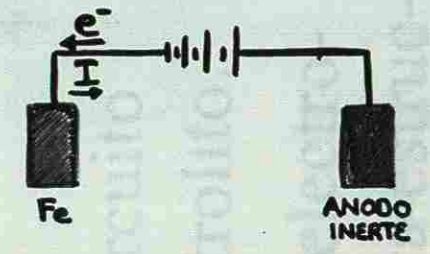
Figura 5: Sistema bajo control: (a) anódico, (b) catódico



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

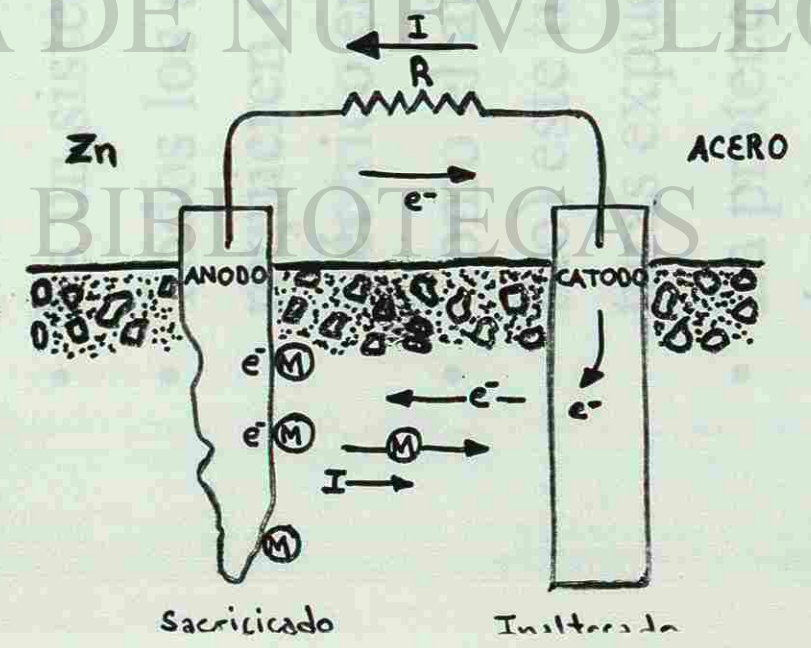
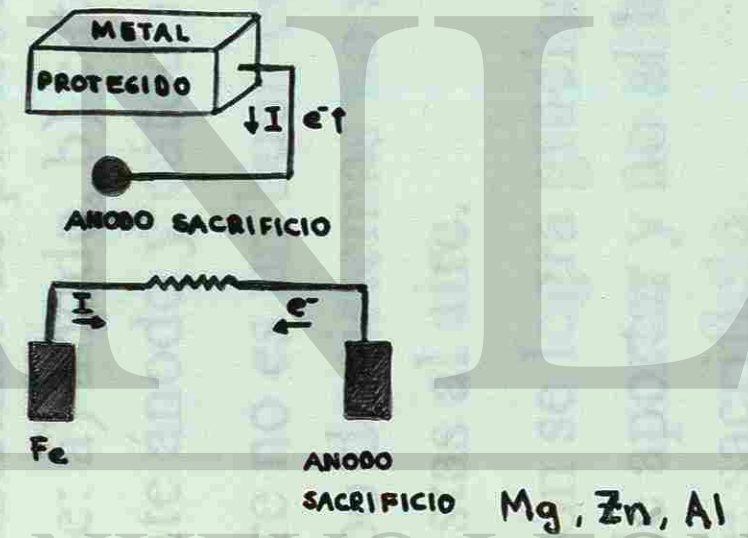
CORRIENTE IMPRESA

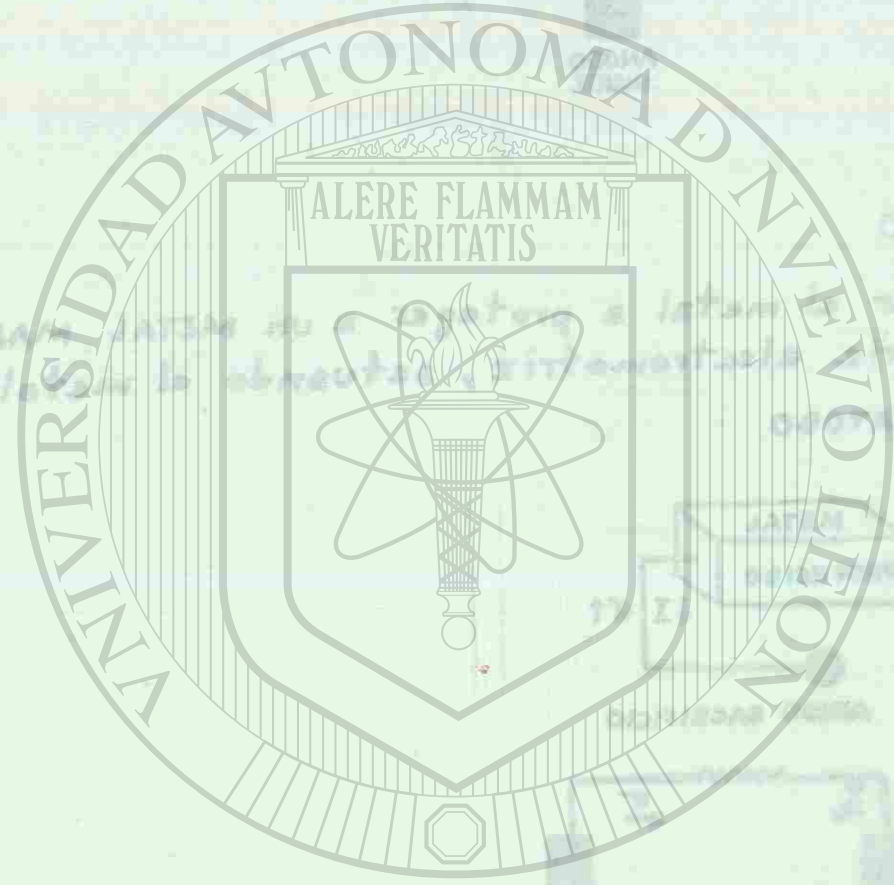
la PROTECCION CATODICA consiste en conectar el METAL a PROTEGER al polo NEGATIVO de una fuente de corriente



ANODO DE SACRIFICIO

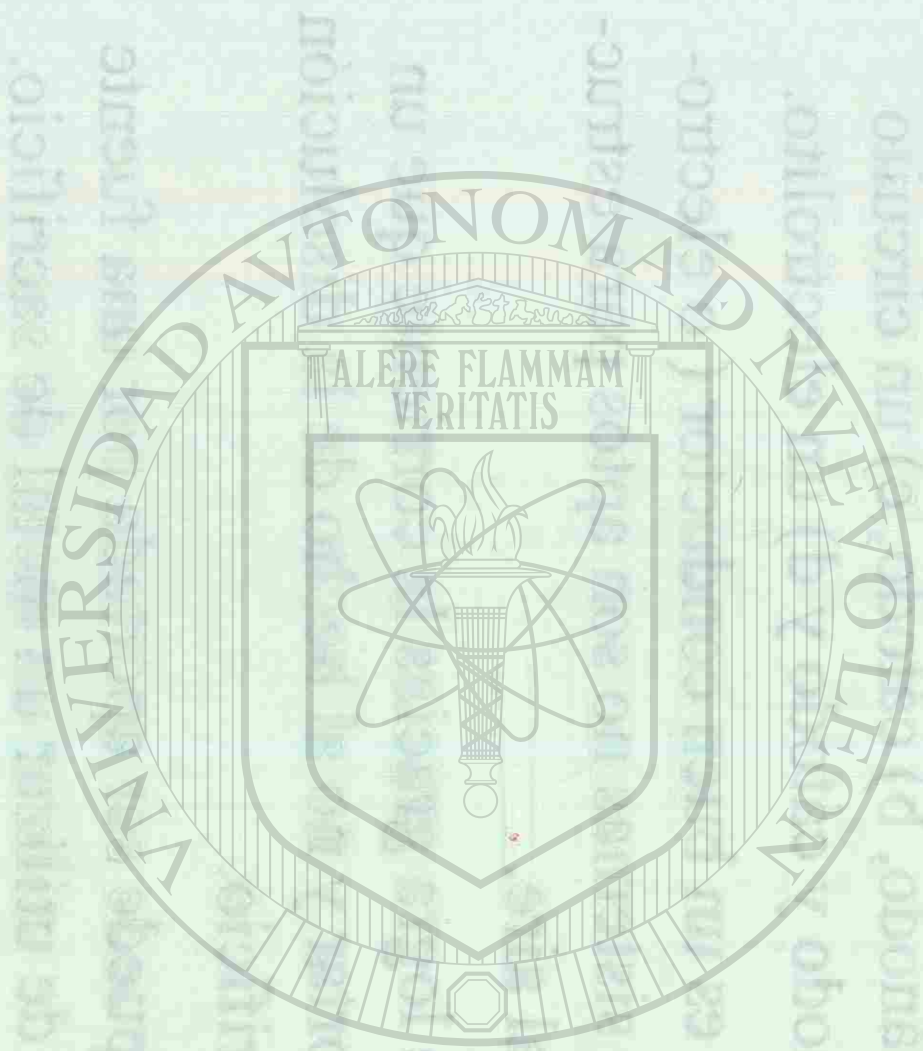
Consiste en conectar el metal a proteger a un METAL MAS NEGATIVO de la serie electromotriz, actuando el metal protegido como CATODO





PROTECCIÓN POR CORRIENTE IMPRESA

- Es un sistema de protección catódica.
- Todos los sistemas de protección catódica requieren de: a) ánodo, b) cátodo, c) un circuito eléctrico ente ánodo y cátodo y d) un electrolito.
- Como el aire no es un buen conductor (o electro-lito) este tipo de sistemas no son aptos para estructuras expuestas al aire.
- La protección se logra gracias la corriente que un ánodo puede aportar y no al hecho de la disolución del metal de sacrificio.
- Dicha corriente puede ser aportada por una fuente externa en lugar de utilizar un metal de sacrificio.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PROTECCION POR CORRIENTE IMPRESA PARA UNA LINEA DE TUBOS

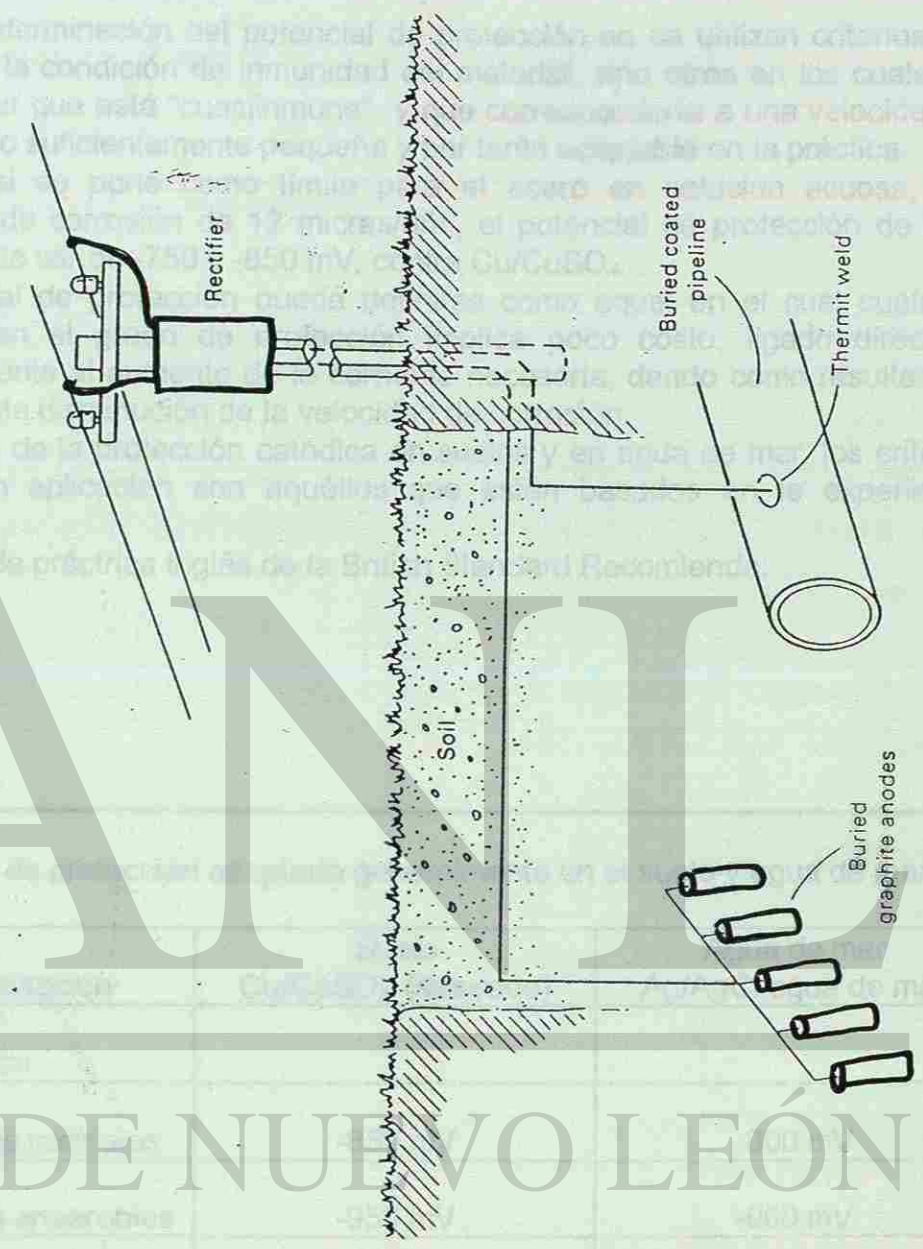
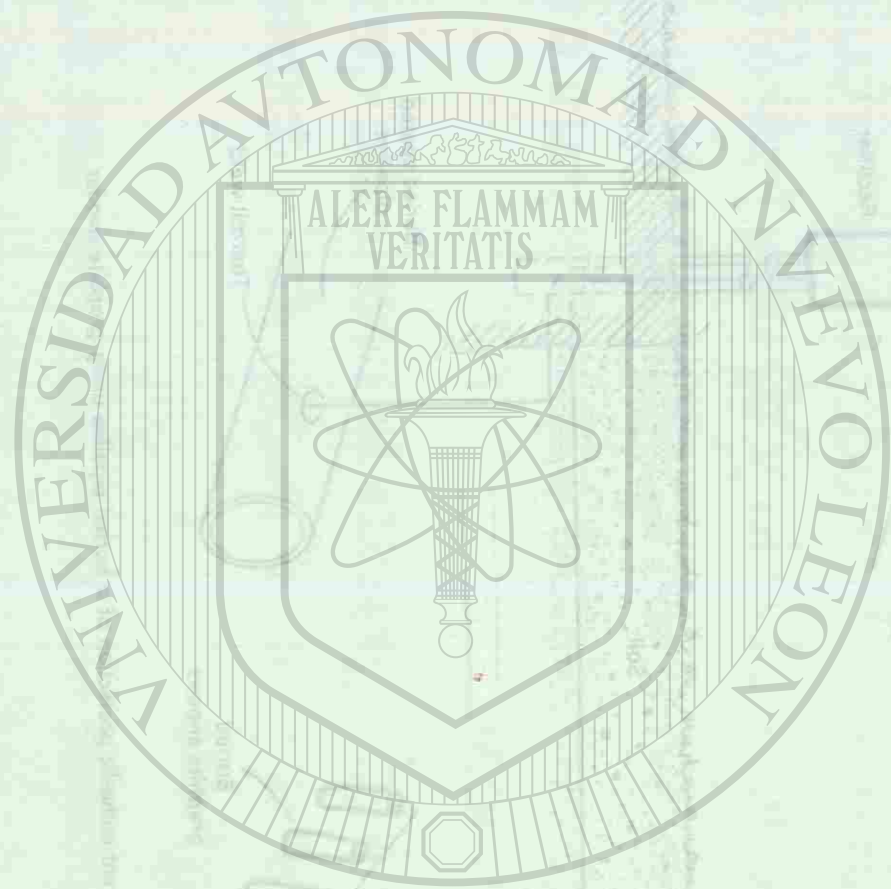


Fig. 3 Impressed-current cathodic protection of a buried pipeline using graphite anodes



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

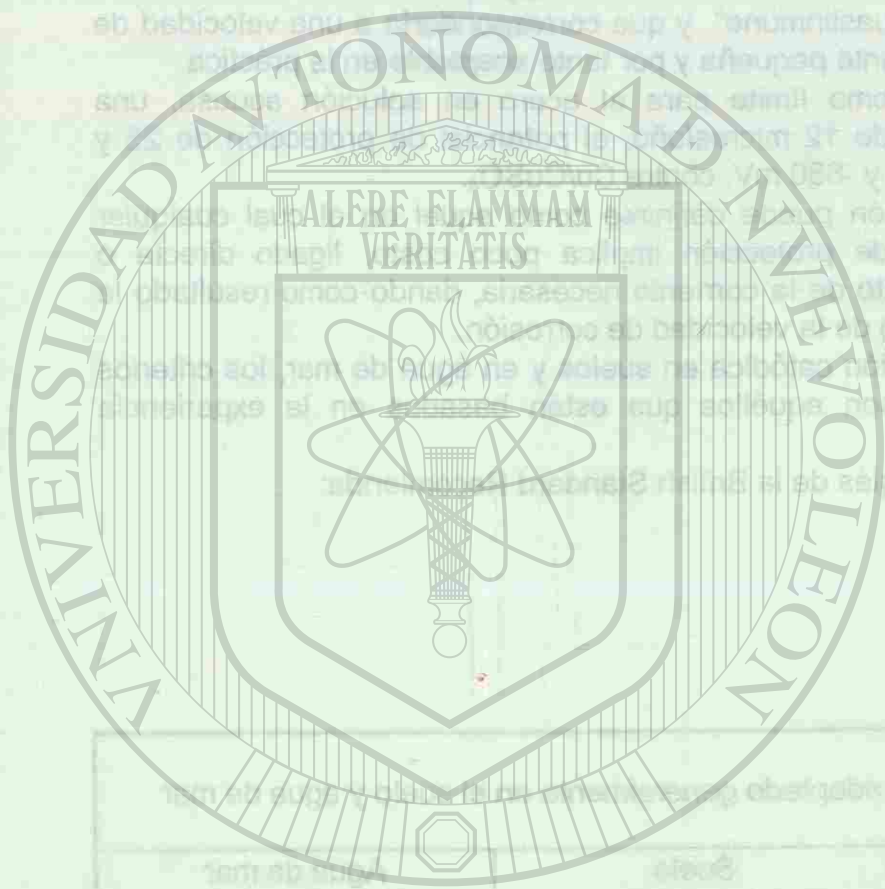
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Criterios para la elección del potencial.

Desde el punto de vista cinético:

- Para la determinación del potencial de protección no se utilizan criterios que supongan la condición de inmunidad del material, sino otros en los cuales se puede decir que está "cuasiinmune" y que correspondería a una velocidad de corrosión lo suficientemente pequeña y por tanto aceptable en la práctica.
- Ejemplo: si se pone como límite para el acero en solución acuosa, una velocidad de corrosión de 12 micras/año, el potencial de protección de 25 y 50°C resulta ser de -750 y -850 mV, contra Cu/CuSO₄.
- El potencial de protección puede definirse como aquel en el cual cualquier aumento en el grado de protección implica poco costo, ligado directa o indirectamente al aumento de la corriente necesaria, dando como resultado la consecuente disminución de la velocidad de corrosión.
- En el caso de la protección catódica en suelos y en agua de mar, los criterios que tienen aplicación son aquéllos que están basados en la experiencia práctica.
- El código de práctica inglés de la British Standard recomienda:

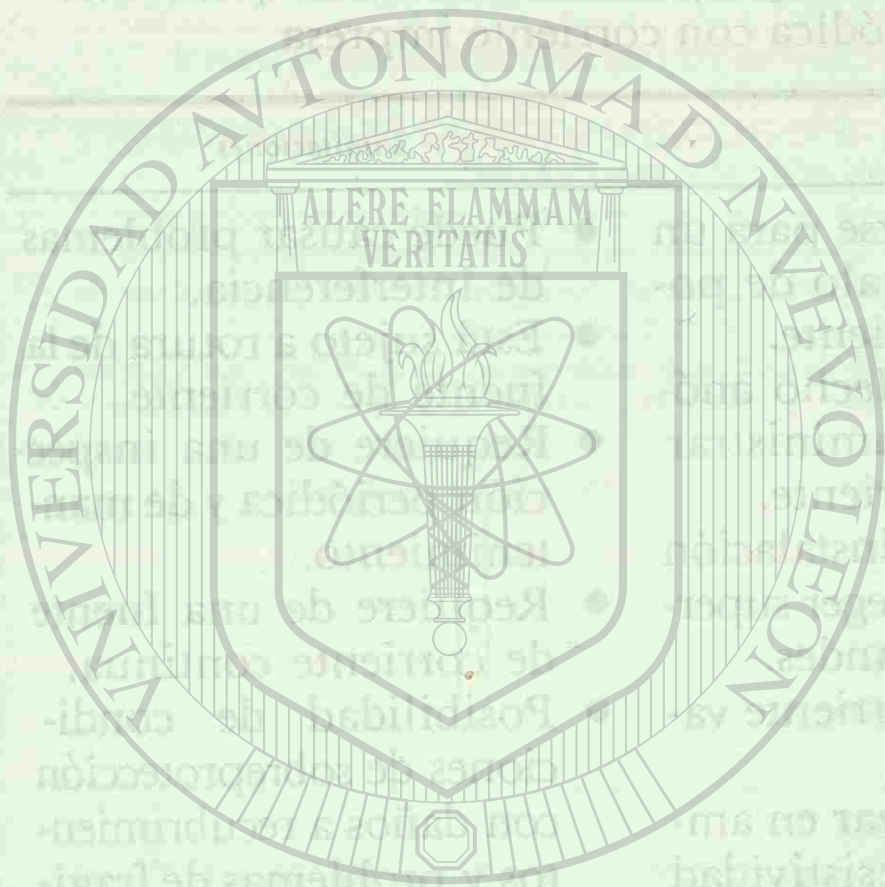
Potencial de protección adoptado generalmente en el suelo y agua de mar		
Metal o aleación	Suelo Cu/CuSO ₄ (saturado)	Agua de mar Ag/AgCl/agua de mar
Acero al carbón		
- condiciones normales	-850 mV	-800 mV
- condiciones anaerobias	-950 mV	-900 mV
Plomo	-600 mV	-550 mV
Cobre y sus aleaciones	-500 a -650 mV	-450 a -600 mV
Aluminio	-950 a -1200 mV	-900 a -1150 mV



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

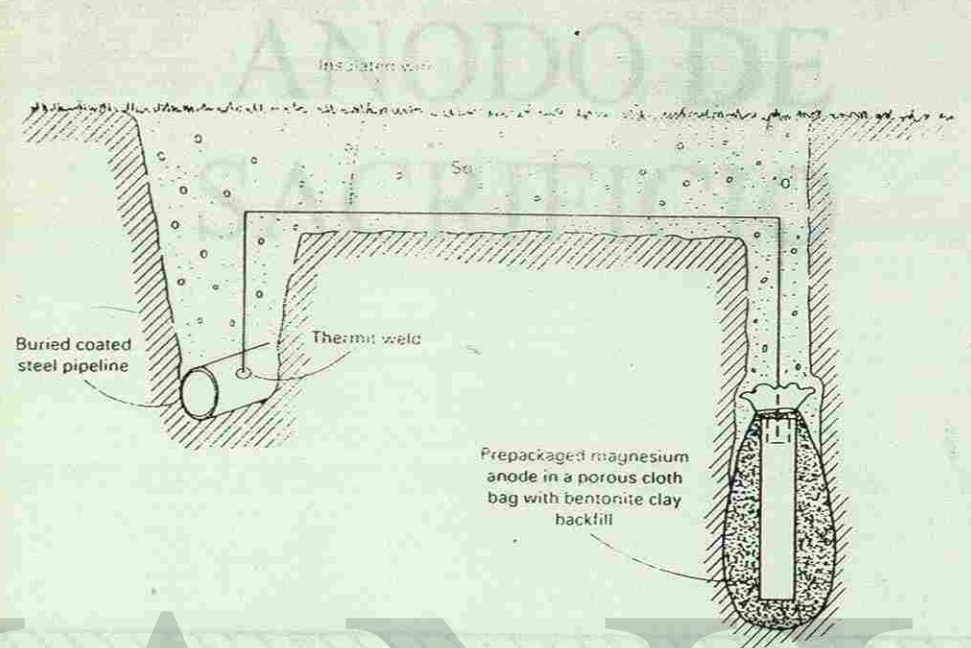
CUADRO 17. Ventajas y limitaciones de la protección catódica con corriente impresa

<i>Ventajas</i>	<i>Limitaciones</i>
<ul style="list-style-type: none"> ● Puede diseñarse para un amplio intervalo de potencial y corriente. ● Un ánodo o lecho anódico puede suministrar una gran corriente. ● Con una sola instalación se pueden proteger superficies muy grandes. ● Potencial y corriente variables. ● Se puede utilizar en ambientes de resistividad elevada. ● Eficaz para proteger estructuras no recubiertas o mal recubiertas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Puede causar problemas de interferencia. ● Está sujeto a rotura de la fuente de corriente. ● Requiere de una inspección periódica y de mantenimiento. ● Requiere de una fuente de corriente continua. ● Posibilidad de condiciones de sobreprotección con daños a recubrimientos y problemas de fragilización por la acción del hidrógeno. ● Conexiones y cables sujetos a roturas. ● Tiene un costo elevado.

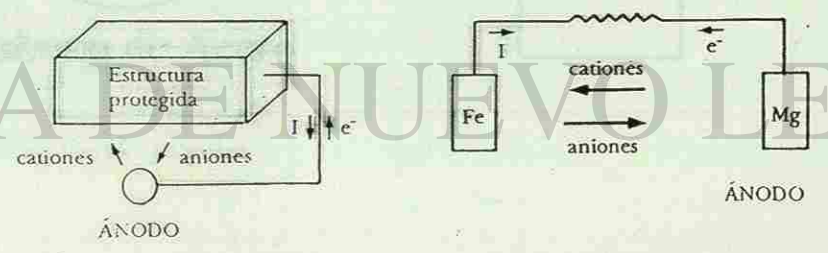


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Cathodic protection of buried pipeline using a buried magnesium anode

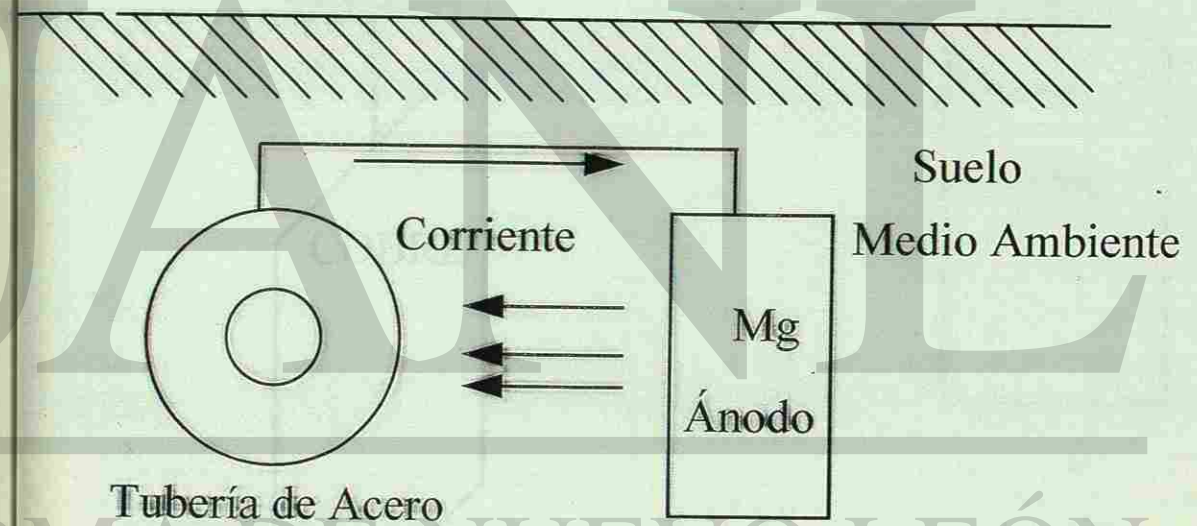


Protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio.





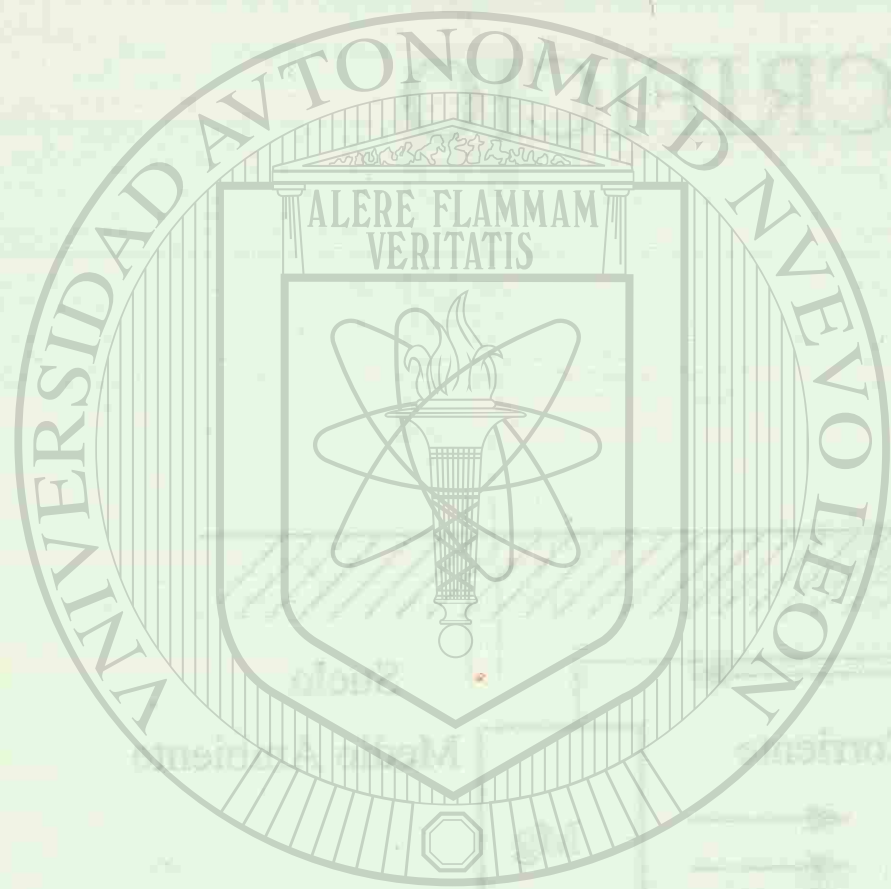
ANODO DE SACRIFICIO



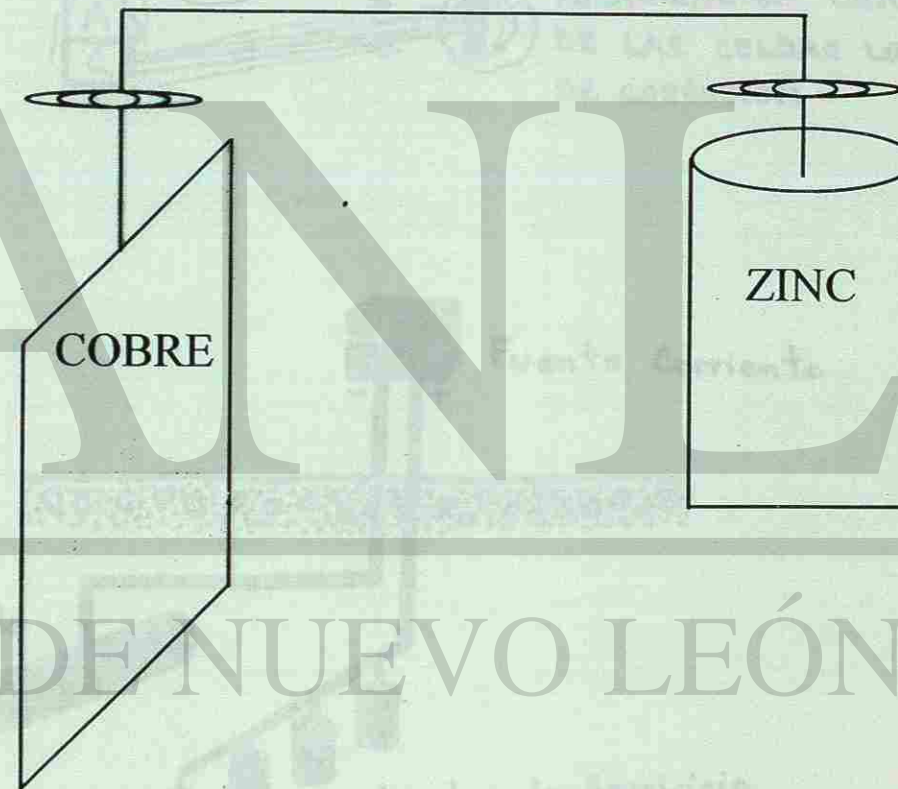
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





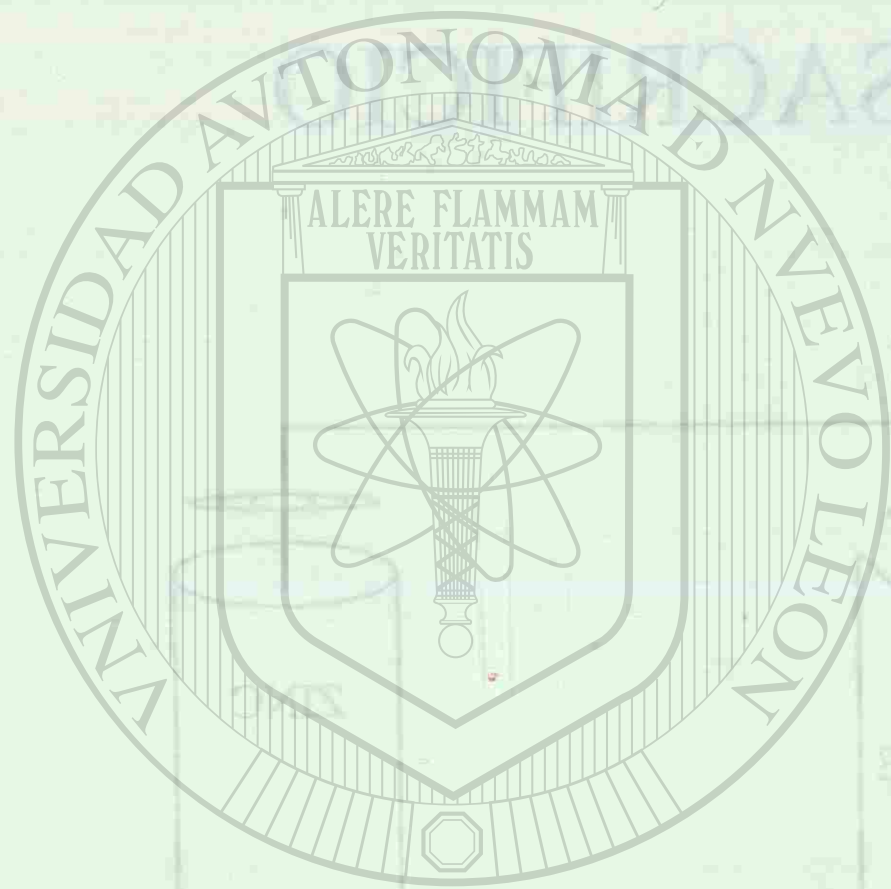
ANODO DE SACRIFICIO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

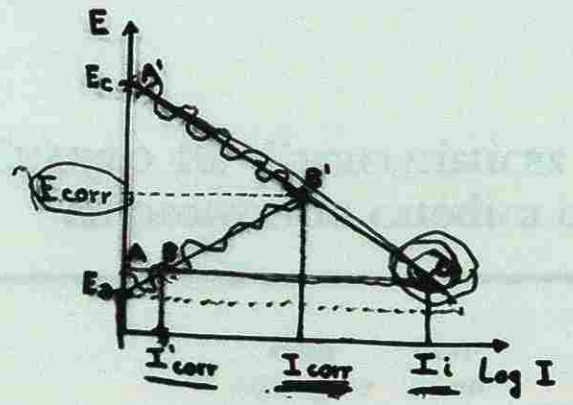
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PROTECCION ANODO DE SACRIFICIO

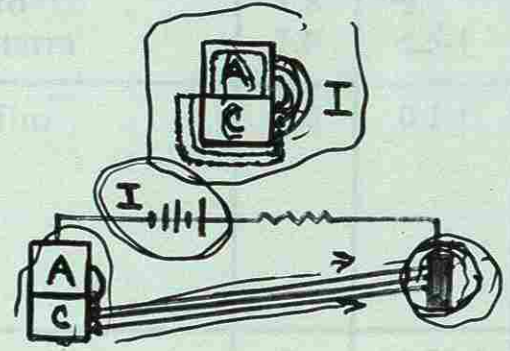


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



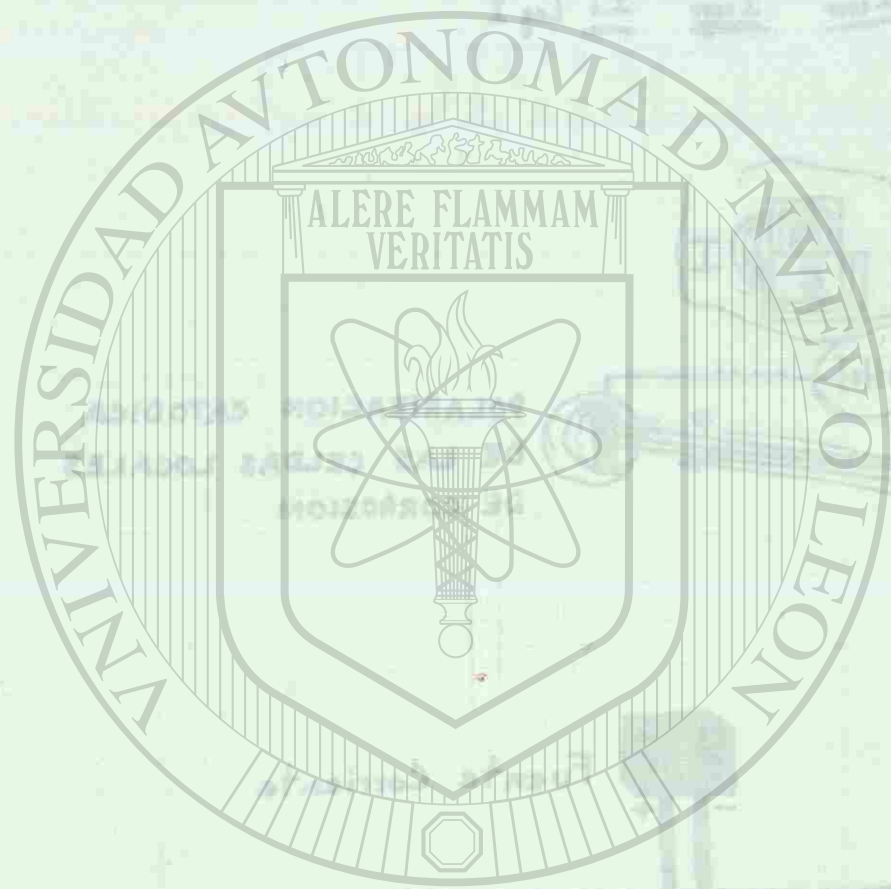
Pilas Locales



POLARIZACION CATODICA DE LAS CELDAS LOCALES DE CORROSION



Time (hrs)	4.5	5.103	1100	700-1100	...
Current (mA)					
...					

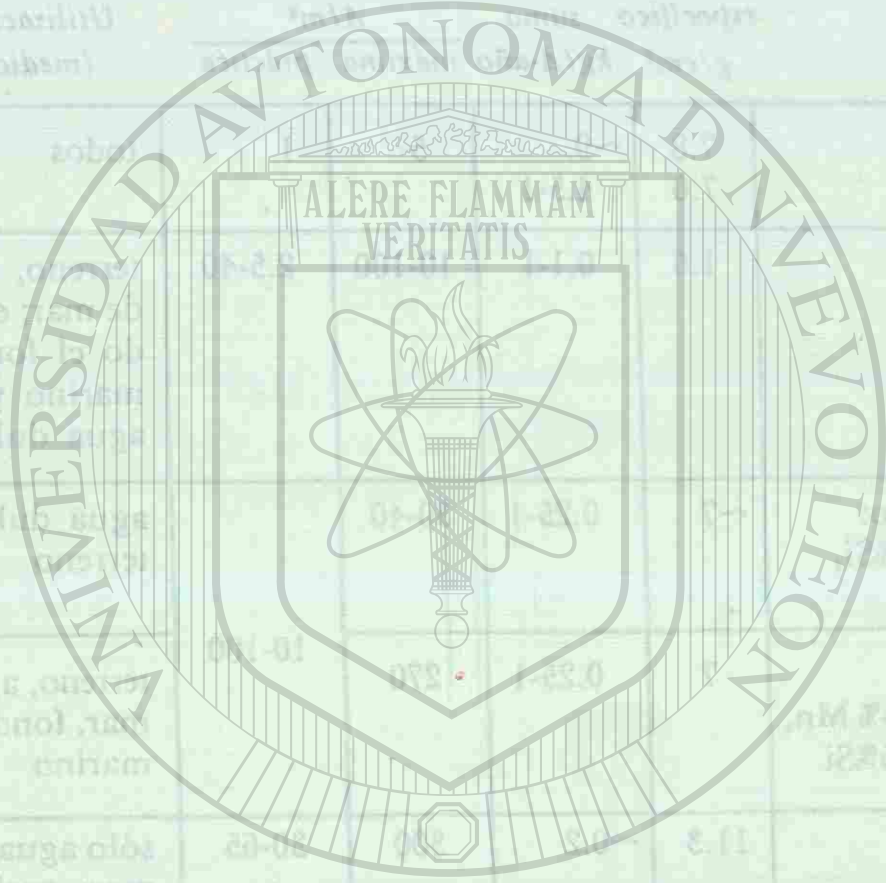


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

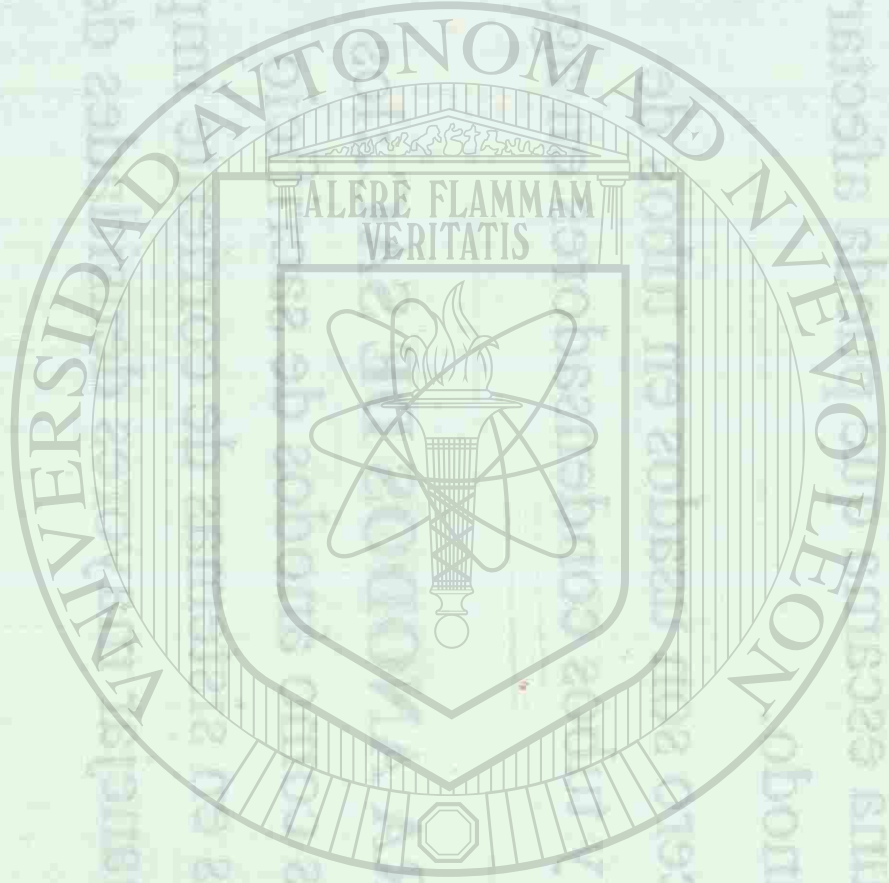
CUADRO 16. Características de los ánodos empleados en protección catódica con corriente impresa

Tipo	Peso específico g/cm ³	Consumo kg/A-año	Densidad de corriente A/m ²		Utilización (medio)
			máxima	práctica	
Acero Chatarra	7.8 7.0	~9. 4.5-1	5	1	todos
Grafito	1.6	0.1-1	10-100	2.5-40	terreno, agua de mar; excluido el fondo marino y el agua dulce
Ferro-silicio: 0.95%C 16%Si, 0.75% Mn	~7	0.25-1	30-40	10-100	agua dulce, terreno
Fe-Cr-Si: 0.95%C, 0.75% Mn, 4.5%Cr, 14.5%Si	7	0.25-1	270		terreno, agua de mar, fondo marino
Pb-Ag (2% Ag)	11.3	~0.2	300	30-65	sólo agua de mar; excluido el fondo marino
Pb-Ag-Sb (1%Ag, 6%Sb)	11	~0.5	300	50-200	
Titanio platinado	4.5	<u>8.10⁻⁶</u>	400	500-1000	terreno no salino con backfill, agua de mar; excluido el fondo marino y el agua dulce
Niobio platinado	8.4		por cada micra de platino de espesor	500-700	
Tántalo platinado	16.6		500-1100		
Titanio-óxido de rutenio (DSA)	4.5	<u>5.10⁻⁷</u>	<u>1100</u>	700-1100	todos



ANODOS CONSUMIBLES

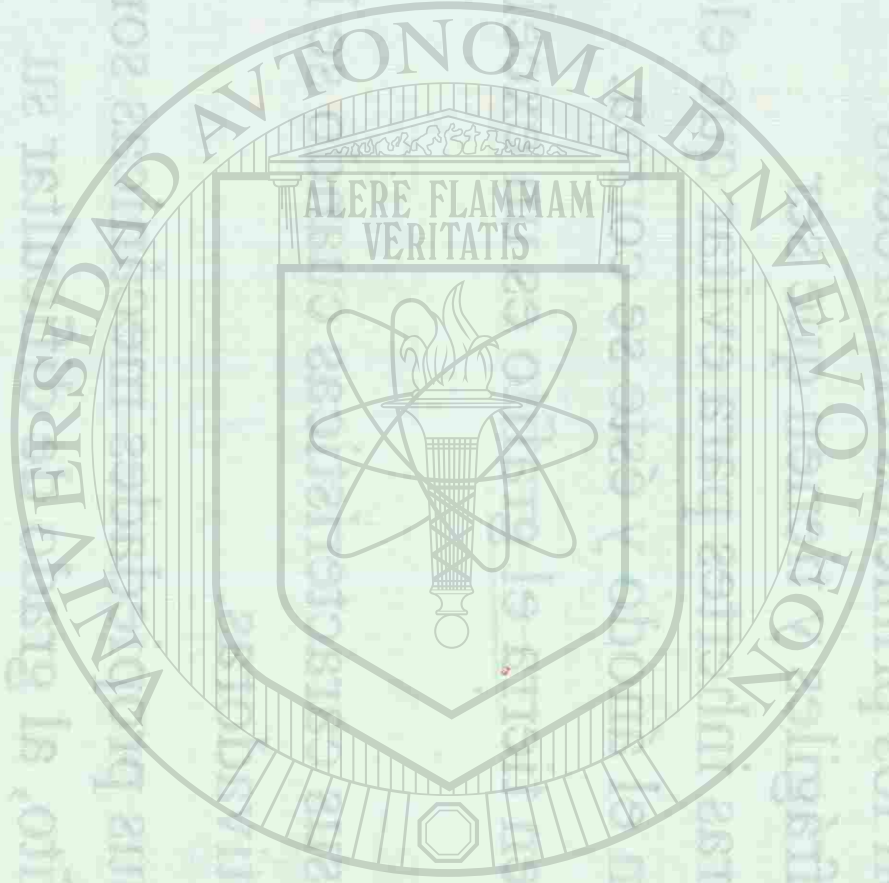
- **ACERO:** es un electrodo consumible muy barato su relación de consumo es 20 lb/A-año.
- Es necesario cubrirlos con un activador para evitar la formación de una escama que pueda afectar la resistividad del ánodo.
- Los ánodos de acero son usados en tubos de bronce-aluminio y tubos condensadores en agua de mar.
- **METALES PARA ANODOS DE SAC.:** los metales utilizados como ánodos de sacrificio pueden ser usados en sistemas de corriente impresa y permitirán manejar mayores densidades de



- corriente, pero las ventajas obtenidas son muy pocas.

ANODOS PERMANENTES

- **GRAFITO:** fueron los primeros electrodos permanentes, son frágiles y tienen que ser recubiertos con ceras inherentes para evitar que electrolitos penetren en el ánodo y éste se corroa.
- Cuando se utiliza en tierra el grafito es un excelente ánodo.
- Se pueden mejorar sus características cuando se le rodea con sales activadoras.
- **ACERO AL Si:** sus propiedades mecánicas son inferiores al grafito, al grado de dificultar su



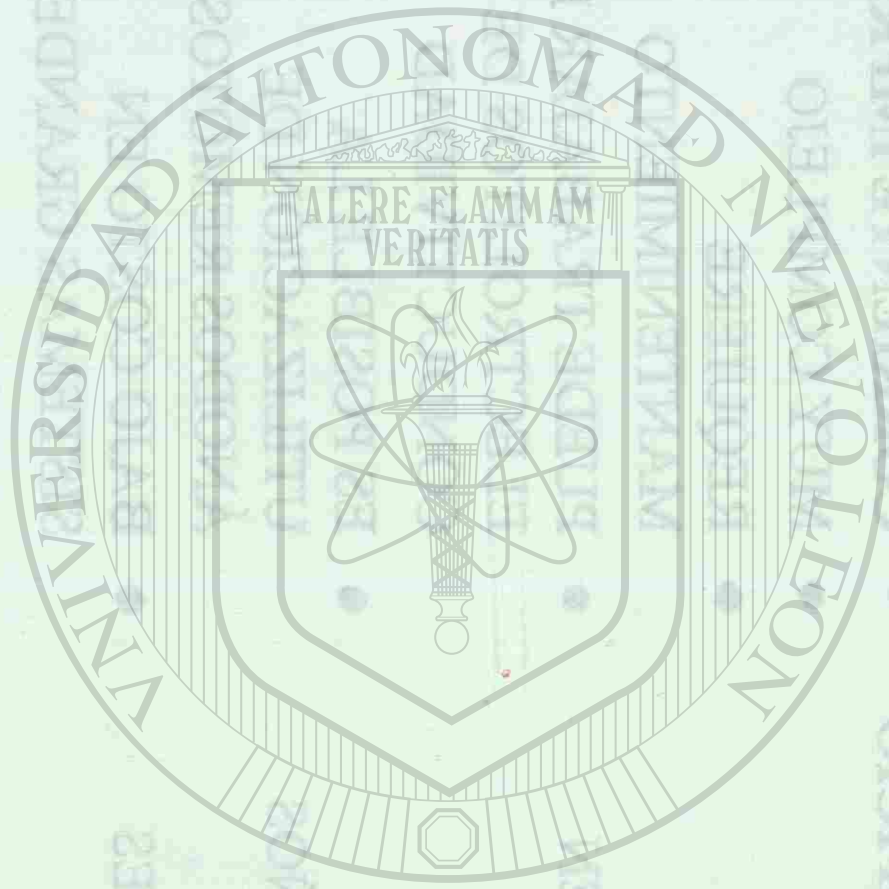
COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE ÁNODO DE SACRIFICIO Y CORRIENTE IMPRESA

- | | |
|---|--|
| • ANODO DE SACRIFICIO | • CORRIENTE IMPRESA |
| • SIMPLE | • MUY COMPLEJO |
| • NO REQUIERE MANTENIMIENTO | • REQUIERE MANTENIMIENTO |
| • TRABAJA MEJOR EN ELECTROLITOS CONDUCTORES | • PUEDE TRABAJAR EN ELECTROLITOS DE BAJA CONDUCTIVIDAD |
| • BAJO COSTO EN SISTEMAS PEQUEÑOS | • ES POSIBLE LA UTILIZACIÓN DE ÁNODOS REMOTOS |
| • ALTO COSTO EN SISTEMAS GRANDES | • BAJO COSTO EN SISTEMAS GRANDES |



COMPARACION ENTRE SISTEMAS DE ANODO DE SACRIFICIO Y CORRIENTE IMPRESA

- | | |
|---|--|
| • ANODO DE SACRIFICIO | • CORRIENTE IMPRESA |
| • SIMPLE | • MUY COMPLEJO |
| • NO REQUIERE MANTENIMIENTO | • REQUIERE MANTENIMIENTO |
| • TRABAJA MEJOR EN ELECTROLITOS CONDUCTORES | • PUEDE TRABAJAR EN ELECTROLITOS DE BAJA CONDUCTIVIDAD |
| • BAJO COSTO EN SISTEMAS PEQUEÑOS | • ES POSIBLE LA UTILIZACIÓN DE ÁNODOS REMOTOS |
| • ALTO COSTO EN SISTEMAS GRANDES | • BAJO COSTO EN SISTEMAS GRANDES |

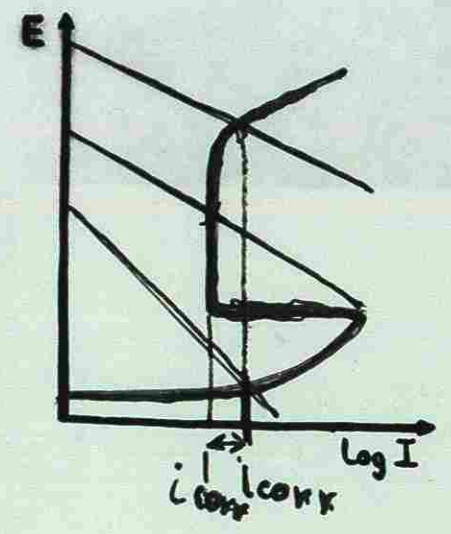


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PROTECCION ANODICA

Polarizar anódicamente y el potencial se desplaza hacia la zona pasiva



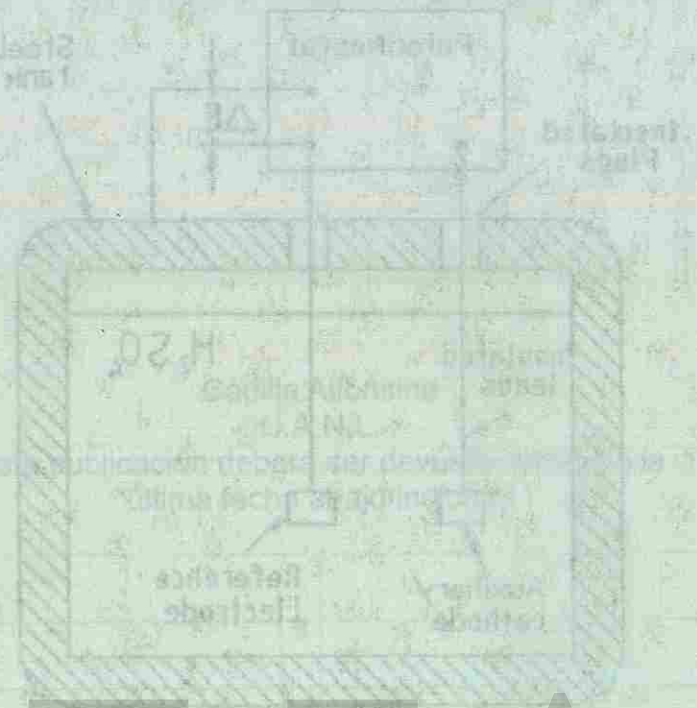
APLICACIONES

- Protección de estructuras, tuberías, cables enterrados.
- Protección de compuertas, estanques, depósitos

- Protege:
- Aceros
 - Cobre
 - Latón
 - Plomo

Aluminio en medios acuosos

SUPRIMIENDO LA CORROSION POR FATIGA Y POR TENSIONES, LA CORROSION INTERCRISTALINA



JUAN

SIDAD AUTÓNOMA DE NUEVA

ECIÓN GENERAL DE BIBLIOTEC