

UNIDAD 7

Las aleaciones férreas se utilizan con el objetivo de contrarrestar los puntos débiles del acero, como: Su densidad relativa elevada, susceptibilidad a la corrosión y baja conductividad electrica. Entre las aleaciones no ferrosas se suele distinguir entre **aleaciones Hechuradas** (Se pueden trabajar en frio, como forja) o aleaciones, en cambio, las aleaciones muy fragiles se definen como **aleaciones moldeadas** También se distinguen por su componente principal de aleación: \*Cabe destacar que cuando se hablar de tratamientos térmicos en esta sección casi siempre nos referimos a endurecimiento por precipitación debido a la gran capacidad que tienen de formar soluciones sólidas, no se suele hablar tanto de temple ya que en muchas de estas aleaciones no se puede lograr la distorsión de la red.

ALEACIONES DE COBRE

El cobre destaca principalmente por su buena conductividad electrica y por su resistencia a la corrosión, pero es un material muy blando difícil de trabajar. Por esta razón se suele mejorar la resistencia mecánica mediante aleantes, aunque la mayoría de aleaciones no endurecen por tratamientos térmicos. Se suelen endurecer por trabajado en frio. Una de las aleaciones más comunes es el **LATON (Cu – Zinc)**: Se utilizan mucho en el área naval, en municiones, radiadores y monedas. Tambien destaca el **BRONCE (Cu – Estaño)**, similares al laton pero incluso suelen tener mayor resistencia mecánica. Destaca principalmente por su resistencia a la corrosión con buena resistencia mecánica al desgaste, por esta razón es muy utilizado en roscas para tuberías de agua. El **Cu – Berilio** destacan por su increíble resistencia a la tracción. (Llegando a superar al acero por mas de 10 veces) Puede recibir tratamientos térmicos. Ademan, no desprenden chispas.

ALEACIONES DE ALUMINIO

El aluminio destaca principalmente por su baja densidad (2,7g/cm3) y por su excelente resistencia a la corrosión. Sus principales problemas son que son muy blandas y con un punto de fusión muy bajo. Destacan algunas como las 7075 (Zn y Cu) o la 2024(Cu), las cuales tienen buena resistencia mecánica específica y se utilizan mucho en bicicletas, aeronaves, etc Las aleaciones se suelen indicar con F, H y O representan la condición conformado, con acritud y recocido, respectivamente. Algo positivo de estas aleaciones es que se les puede aplicar endurecimiento por precipitación.

Recordamos que **el endurecimiento por precipitación o tratamiento de envejecimiento es aplicable a aleaciones binarias (O mayormente binarias) y se trata de aplicar tratamientos térmicos para crear una dispersión homogénea de partículas con el objetivo de obstaculizar las dislocaciones sin que se forme una fase aparte.**

Es un tratamiento que consiste en 3 pasos con la idea de que (En este caso) el cobre se disperse lo más posible para trabar el movimiento de las dislocaciones sin que se forme una fase aparte.

Primero se aplica un tratamiento térmico, generalmente es de solubilizacion.

Luego se temple para mantener la fase.

Por último se deja enfriar: Este enfriamiento se denomina **Envejecimiento:**

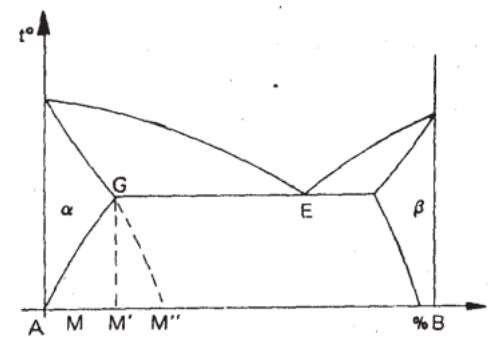
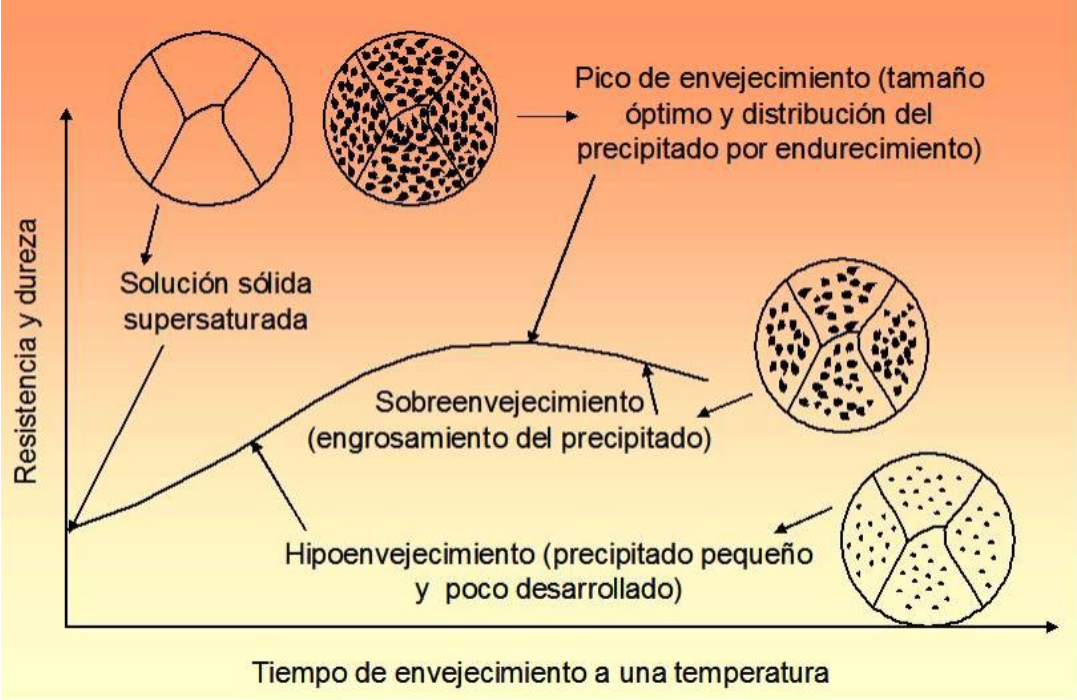
Puede ser envejecimiento natural: Se deja a temperatura ambiente

O envejecimiento artificial: Se enfriar a una temperatura de aproximadamente 20% de la diferencia entre la temperatura del tratamiento térmico y la temperatura ambiente, es decir, por lo general será mayor a la temperatura ambiente.

De acuerdo al tiempo que se deje la pieza puedo obtener distintas precipitaciones.

Se aprovecha la propiedad de velocidad de enfriamiento de una solución solida sobresaturada.

Recordamos que:



La línea GM se ve afectada por la velocidad de enfriamiento, tal que, si realizamos un enfriamiento lo suficientemente rápido podemos obtener una estructura mucho más homogénea. Si la solubilidad se adopta a la forma GM entonces podemos adoptar un tratamiento térmico muy útil llamado **envejecimiento artificial o endurecimiento por precipitación.**

Sus aplicaciones actuales están en los aviones, botellas, partes de autos, etc. Destacan por su buena resistencia específica, esto provoca un ahorro de energía y combustible.

ALEACIONES DE MAGNESIO

Destaca principalmente por su baja densidad (1,75g/cm3) pero tiene una temperatura de fusión muy baja. Luego, cuando esta solo tiene muchas dificultades, principalmente se encuentra su facilidad para prenderse fuego. También posee una baja ductilidad, mucha fragilidad y muy poca resistencia a la fatiga. Todo esto provoca que sea un material muy difícil de trabajar, además, su resistencia a la corrosión atmosférica es buena pero en un ambiente marino es muy baja. Pero, mediante aleaciones como por ejemplo aluminio, se puede lograr un aumento de la resistencia mecánica mediante endurecimiento por precipitación y trabajado en frio, pero se debe tener mucho cuidado, con el Mn podemos aumentar la resistencia a la corrosión. Las aleaciones de baja densidad y de buena resistencia mecánica nos otorgan una excelente resistencia específica, lo cual hace que estas aleaciones sean aptas para, por ejemplo, llantas de autos.

ALEACIONES DE TITANIO

El titanio por si solo es resistente Es más pesado que un aluminio pero significativamente más liviano que un acero, por lo que tiene una **buena resistencia especifico** Su punto de fusión es de 1600°C y tiene una excelente resistencia a la corrosión pero solo a bajas temperaturas, ya que a elevadas temperaturas se vuelve muy reactivo. Su límite elástico puede incrementar increíblemente (Hasta más de 5 veces) cuando se forman aleaciones, como por ejemplo con el cromo y aluminio. Sus desventajas son su elevado costo y la dificultad de trabajarlo debido a su reactividad a altas temperaturas, ya que tienen a formar carburos de titanio con extremada facilidad.

Es altamente utilizado en la industria aeroespacial. Uno de los avances significativo fue el submarino que hicieron los rusos.

METALES REFRACTARIO

**En este grupo se incluyen el niobio (Nb), el molibdeno (Mo), el tungsteno (W) y el tántalo (Ta).**

Destacan por excelente dureza y resistencia mecánica, especialmente a la abrasión. Su temperatura de fusión se encuentra entre 2400 y 3400°C Esto se debe en gran parte de lo fuerte que son sus enlaces interatómicos.

Además, poseen un gran modulo elástico.

Se utilizan en aceros inoxidables para aumentar su resistencia mecánica y a la corrosión, especialmente para evitar la formación de carburos de cromo.

El Mb se utiliza en filamentos de luces.

El W se utiliza como electrodo de soldaduras

También se utilizan en forma de carburos con materiales compuestos, como cobre, para herramientas de corte.

SUPERALEACIONES

Se clasifican de acuerdo al componente principal, generalmente son de Fe, Co, o Ni  
Generalmente se alean con Metales refractarios.  
Amplia aplicación pero son muy caros.

METALES NOBLES

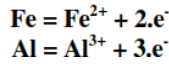
Este grupo está formado por 8 elementos: Plata, oro, platino, paladio, rodio, ridenio, iridio y osmio  
Destacan principalmente por su resistencia a la corrosión, al calor y por ser blandos. Generalmente se los alea con un poco de cobre con el objetivo de darles mayores resistencias. Además, suelen ser muy caros y se los utiliza para joyería.

OTRAS ALEACIONES

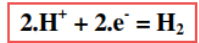
Entre ellas se encuentran las aleaciones del níquel, la cual estuvo tomando mucha importancia gracias al nitinol, un material inteligente. El níquel otorga una excelente resistencia a l corrosión, pero una de sus desventajas es que se sospecha que sea cancerígeno, lo cual está en estudio. Ademas, ofrece gran resistencia mecánica.  
Además, es de gran utilidad en aceros inoxidables.  
Las aleaciones de zinc tuvieron gran importancia gracias a que se recrystaliza a temperatura ambiente, por lo que “Elimina automaticamente” las tensiones por deformación Aunque es muy reactivo, tiende a oxidarse con excesiva facilidad, por esta razón se lo utiliza para proteger elementos que queremos mantener en el tiempo sin que se oxiden. Por ejemplo, en el acero galvanizado.

CORROSION

Definiremos a la **corrosión** cómo la **degradación química o electroquímica de un elemento con el ambiente**. Siendo solo característica de los metales.  
En la corrosión, como en la mayoría de las reacciones químicas, la electronegatividad de cada elemento cumple un papel muy importante.  
Los elementos más electronegativos tienden a ganar electrones reduciéndose y los de menor electronegatividad entregan electrones oxidándose y corroyéndose.  
Generalmente los metales poseen una muy baja electronegatividad, por lo que son los que tienden a oxidarse con mayor facilidad.  
Así, al combinarse químicamente los elementos (Metal – Metal y Metal – No Metal) mediante la reacción de sus electrones de valencia se forman compuestos (enlaces Metálicos + iónicos + covalentes) que serán más nobles que sus predecesores. Estos elementos son más estables en la naturaleza pues no tienden a reaccionar químicamente.  
Recordamos que un metal se oxida cuando pierde electrones.



Y un elemento, sea metal o no, se reduce cuando se estabilza gracias a recibir electrones. Generalmente son los mas electronegativos



La corrosión se puede modelar de diversas formas según su naturaleza:  
**Si tenemos una zona de oxidación se denomina ANODO**  
**La zona de reducción se denomina CATODO**

Naturaleza METAL – LIQUIDO o CORROSION GALVANICA

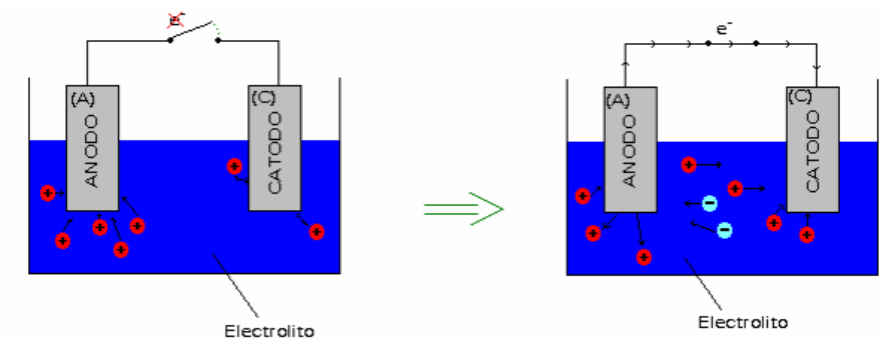
Suponemos que tenemos dos elementos con electronegatividades diferentes (generalmente un metal y un electrodo de hidrogeno) inmersos en una solución denominada electrolito (Generalmente HCL).  
La diferencia de electronegatividad de los elementos se denomina FEM.

Por ejemplo, la tabla de la derecha nos otorga resultados obtenidos del caos general.

Si bien esto nos permite obtener pilas o baterías, el efecto destructivo que provoca en elementos con otras funciones es muyyy grande. Al menos 5% de los gastos de una empresa son enfocados en prevenir la corrosión.

Analicemos el caso de **celdas galvánicas**:

Una combinación de dos tipos diferentes de conductores eléctricos (metales) sumergidos en un mismo electrolito se conoce como celda galvánica.



A los conductores eléctricos se los conoce como electrodos. **El de menor FEM será el ánodo y el de mayor FEM el cátodo.**

La oxidación del ánodo solo ocurrirá si se cierra el circuito, y el ánodo tiende a corroerse.

En el día a día el ambiente tiene mucha humeada, una simple capa de agua puede actuar como electrolito.

Por ejemplo, veamos el ejemplo del aluminio y cromo en un modelo real

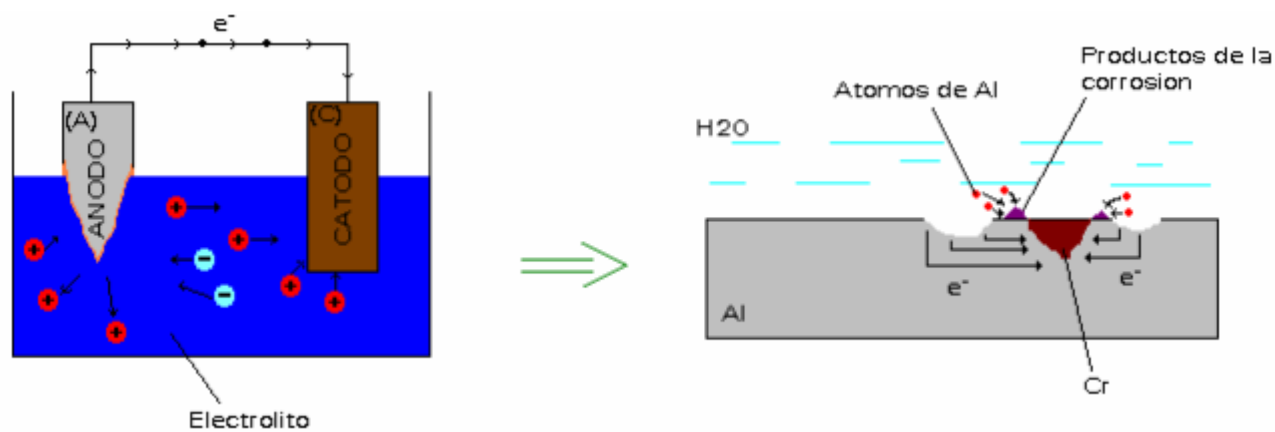
Tabla 18.2 La serie galvánica	
Inactividad creciente (catódicos)	Platino
	Oro
	Grafito
	Titanio
	Plata
	Acero inoxidable 316 (pasivo)
	Acero inoxidable 304 (pasivo)
	Inconel (80Ni-13Cr-7Fe) (pasivo)
	Níquel (pasivo)
	Monel (70Ni-30Cu)
Actividad creciente (anódicos)	Aleaciones cobre-níquel
	Bronce (Cu-Sn)
	Cobre
	Latón (Cu-Zn)
	Inconel (activo)
	Níquel (activo)
	Estaño
	Plomo
	Acero inoxidable 316 (activo)
	Acero inoxidable 304 (activo)
	Fundición
	Hierro y acero
	Aleaciones de aluminio
	Cadmio
	Aluminio comercialmente puro
	Zinc
	Magnesio y aleaciones de magnesio

Fuente: M. G. Fontana, *Corrosion Engineering*, 3ª ed. Copyright 1986 por McGraw-Hill Book Company. Reproducida con autorización.

TABLE 4.2. ELECTROMOTIVE FORCE SERIES

Element, <i>m</i>	Electrode reaction	Standard electrode potential, <i>E<sub>m</sub></i> <sup>o</sup> volts, 25° C
Gold	Au = Au <sup>+</sup> + e	1.68
Platinum	Pt = Pt <sup>++</sup> + 2e	1.2
Palladium	Pd = Pd <sup>++</sup> + 2e	0.83
Silver	Ag = Ag <sup>+</sup> + e	0.800
Copper	Cu = Cu <sup>+</sup> + e	0.522
Copper	Cu = Cu <sup>++</sup> + 2e	0.345
Hydrogen	H <sub>2</sub> = 2H <sup>+</sup> + 2e	0.000
Lead	Pb = Pb <sup>++</sup> + 2e	-0.126
Tin	Sn = Sn <sup>++</sup> + 2e	-0.136
Nickel	Ni = Ni <sup>++</sup> + 2e	-0.250
Cadmium	Cd = Cd <sup>++</sup> + 2e	-0.402
Iron	Fe = Fe <sup>++</sup> + 2e	-0.440
Chromium	Cr = Cr <sup>+++</sup> + 3e	-0.71
Zinc	Zn = Zn <sup>++</sup> + 2e	-0.762
Aluminum	Al = Al <sup>+++</sup> + 3e	-0.67
Magnesium	Mg = Mg <sup>++</sup> + 2e	-2.34
Sodium	Na = Na <sup>+</sup> + e	-2.712
Potassium	K = K <sup>+</sup> + e	-2.922

Tabla 1 (FEM)



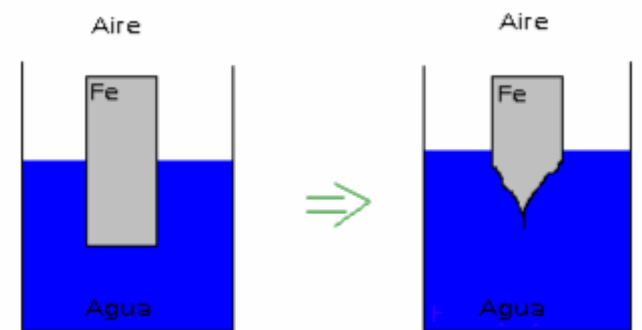
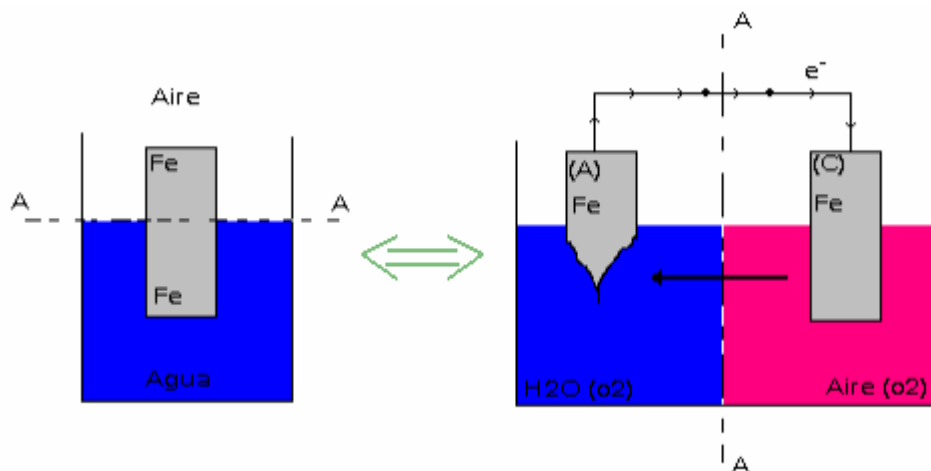
El aluminio y el cromo están en contacto, por lo que el circuito está cerrado. Una fina capa de agua actúa como electrolito y provoca la pérdida de material de aluminio y el engrosamiento del cátodo.

Básicamente la segregación de cromo provoca un picado en el aluminio.

Ahora, analicemos otro caso

Suponemos un electrodo de hierro sumergido parcialmente en agua, técnicamente no está conectado a otro material de diferente electronegatividad y por lo tanto no debería corroerse, pero pasa algo interesante.

En este caso, tenemos la presencia de dos electrolitos, agua y aire, Esto se puede modelar como:



Donde una parte presenta una electronegatividad y la otra presenta otra, esta diferencia de concentración en las celdas genera **corrosión por celdas de concentración**

La diferencia de electronegatividad de los electrolitos provoca la circulación de electrones dentro del mismo metal. El oxígeno  $O_2$  posee alta electronegatividad, por lo que los electrones irán hacia el  $O_2$ , provocando oxidación y picaduras en la parte sumergida en el agua.

Por lo tanto, **una forma de prevenir esto es utilizar una pieza con electrolitos de similar electronegatividad o dos elementos que se encuentren cerca en la tabla de electronegatividades.**

Además, solo se produce si los elementos están en contacto, por lo tanto **AISLARLOS** también es una forma de prevenir.

También se puede colocar un tercer material aun más anódico para convertir en cátodo los metales que deseamos proteger y evitar las picaduras en los mismos. Se denomina **protección CATÓDICA**

### CORROSION POR AIREACION DIFERENCIAL

La corrosión electroquímica también tiene lugar cuando la concentración de iones o de gases disueltos en la disolución electrolítica es diferente de la concentración que se da entre dos regiones de la misma pieza metálica. Como dijimos previamente esta diferencia de electronegatividad de las celdas electrolíticas se denomina **corrosión por celdas de concentración**. De tal forma que también se forma una pila de concentración y ocurre corrosión.

Este tipo de corrosión tiene lugar especialmente en zonas de contaminación donde el oxígeno no es abundante. Por ejemplo, observemos el siguiente caso:

En la siguiente rendija tenemos una zona con abundante  $O_2$  y otra zona donde se produce un déficit de  $O_2$ , eso provoca que la rendija tenga una concentración de gas ionizado de menor electronegatividad. Por lo tanto tenemos un mismo metal pero tenemos dos tipos de celdas electrolíticas que producen una diferencia de potencial.

Como bien sabemos, el  $O_2$  tiene una alta electronegatividad y provoca que los electrones circulen desde la zona de gas ionizado, provocando una oxidación y picaduras. Mientras que la zona de  $O_2$  se reduce.

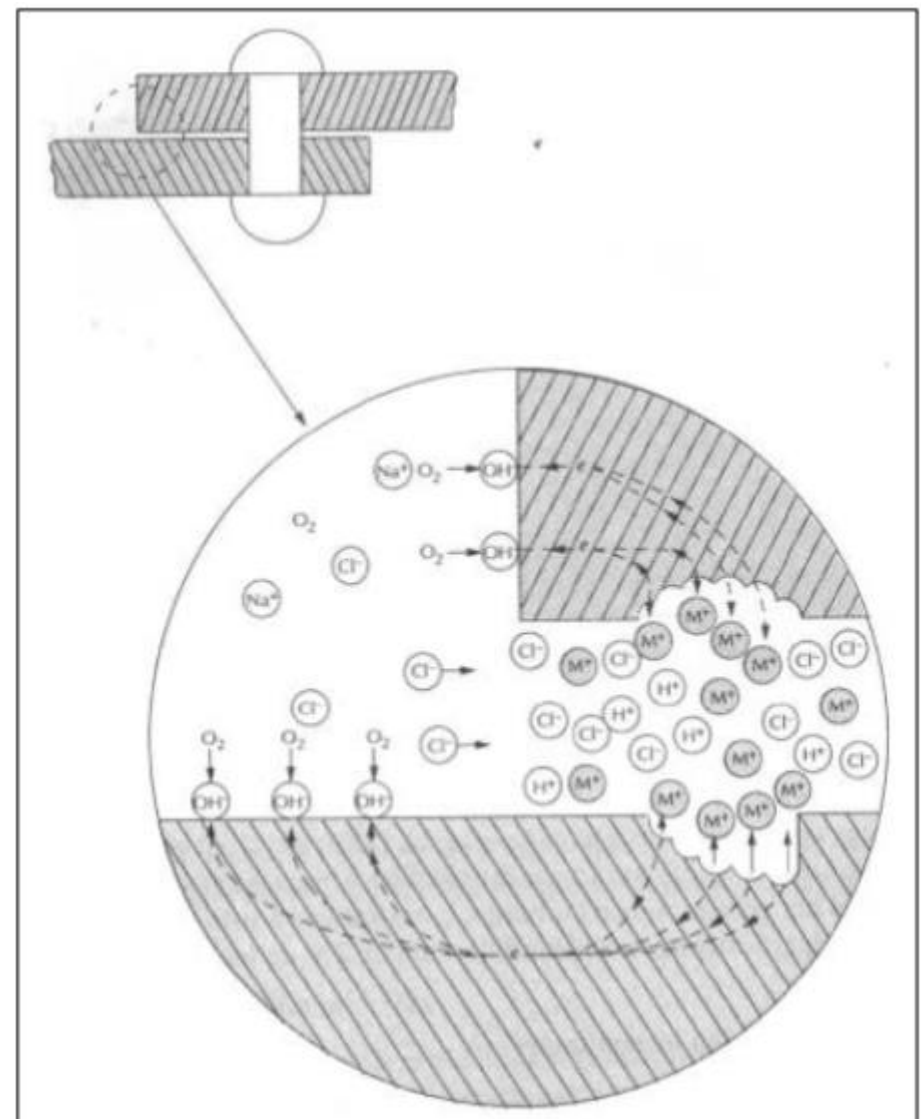


Fig.4



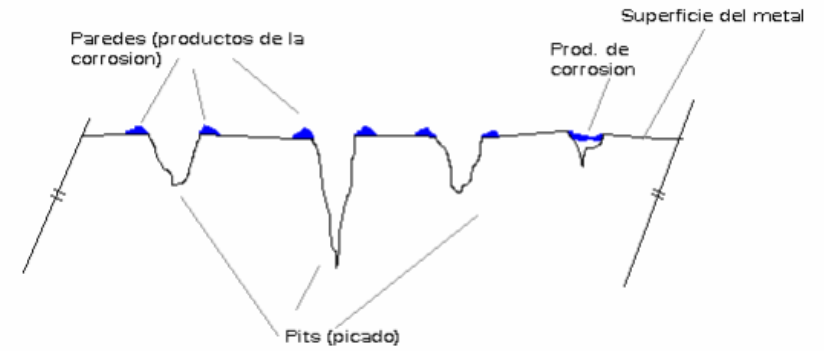
Otra forma muy común de corrosión es

**CORROSION POR PICADURAS**

Al igual que antes, se produce de forma similar a la corrosión por aireación.

La corrosión por picadura se puede producir por galvanica o por aireación diferencial y es sumamente peligrosa ya que disminuye significativamente la resistencia a la fatiga.

La velocidad de corrosión también se ve afectada por el tamaño del anodo y catodo, debido a que al haber una picadura, el O2 que esta en la superficie actua como catodo por ser mas electronegativo y en la picadura se poduce una baja concentracion de O2, por lo general queda metal ionizado.



Es proporcional al área del catodo/área del anodo, por lo que una picadura provoca una gran velocidad de corrosión

**CORROSION INTERGRANULAR**

La corrosión intergranular ocurre a lo largo de los bordes de grano. Predomina principalmente en los aceros inoxidables, a los cuales si se calientan por encima de 500 grados a durante un tiempo prolongado se sensibilizan por “Ataque intergranular”, el cual básicamente es la formación de carburos de cromo que otorgan mucha fragilidad.

Ademas, estos carburos de cromo tienen demasiado cromo ( $Cr_{23}C_2$ ), por lo que dejan al acero puro el cual es muy corrosivo. Por lo tanto, obtenemos un acero inoxidable que pierde sus propiedades de resistencia a la corrosión y encima se fragiliza.

Por esta razón se debe tener cuidado al intentar realizar soldaduras en aceros inoxidables.

Una forma de evitar esto es disminuir el contenido de carbono y evitar la exposición a altas temperaturas durante tiempos prolongados. Además, también se puede evitar al alear con otros elementos que tengan una mayor facilidad para formar carburos

**ELIMINACION SELECTIVA**

Un ejemplo de esto es el deszincado del laton (Cu-Zinc), donde se busca oxidar completamente el zinc para recuperar el cobre puro. Otro ejemplo es cuando se aplica picral o nital en las muestras critalograficas con el objetivo de corroer el borde de grano.

**CORROSION POR EROSION**

Al combinar la acción del ataque químico y la abrasión mecánica o desgaste, como consecuencia del movimiento de un fluido, se origina la corrosión por erosión. Potencialmente, todas las aleaciones metálicas son susceptibles de experimentar corrosión por erosión en mayor o menor medida.

La naturaleza del fluido influye decisivamente en el comportamiento corrosivo.

**Un aumento en la velocidad del fluido se traduce en un aumento de la velocidad de corrosión**

**Si el líquido contiene partículas o burbujas aumenta el poder erosivo.**

**Si el líquido pasa de laminar a turbulento, o si hay cambios de dirección, también se ve afectado.**

Esto se puede prevenir eliminando la turbulencia y filtrando el fluido.

**CORROSION BAJO TENSION**

**La acción combinada de un esfuerzo de tracción aplicado y de un ambiente corrosivo produce corrosión bajo tensiones; ambos factores son necesarios.**

Es de particular interés porque se forman pequeñas grietas que luego se propagan en dirección perpendicular al esfuerzo y, como consecuencia puede aparecer un fallo. La apariencia del fallo es el característico de los materiales frágiles, aunque la aleación metálica que experimenta esta corrosión sea intrínsecamente dúctil.

El esfuerzo que genera la corrosión bajo tensiones no necesita ser aplicado externamente, sino que también puede ser una tensión residual por tratamientos térmicos, como en el caso de los temple.

La diferencia entre corrosión bajo tensión y corrosión por fatiga es que en la corrosión bajo tensión tengo un una carga actuando de forma estatica, la forma de fractura es tipo levemente ramificada. Pero en la corrosión por fatiga tengo una carga aplicada de forma cíclica y la forma de fractura de similar a una fractura frágil, recta y de grano fino con color mate.

**CORROSION AMBIENTAL**

Entre los ambientes corrosivos se encuentran la atmósfera, las disoluciones acuosas, la tierra, los ácidos, las bases, los disolventes inorgánicos, las sales fundidas, los metales líquidos y, en último lugar pero no menos corrosivo, el cuerpo humano. En cuanto a tonelaje, la corrosión atmosférica origina las mayores pérdidas. La humedad que contiene oxígeno disuelto es el principal agente corrosivo, pero otras sustancias, tales como compuestos de azufre y cloruro sódico, también contribuyen. Las atmósferas marinas son altamente corrosivas por la presencia de cloruro sódico.

**PREVENCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN**

Se presentan algunas técnicas más generales: selección de material, disminución de la agresividad corrosiva del ambiente, diseño, recubrimientos y protección catódica.

Los inhibidores son sustancias que, adicionadas al medio en bajas concentraciones, disminuyen la agresividad. El inhibidor específico depende de la aleación y del medio corrosivo. La efectividad de los inhibidores se explica mediante varios mecanismos. Algunos reaccionan con las especies químicamente activas de la disolución (tales como oxígeno) y las eliminan. Otras moléculas de inhibidores atacan la superficie que se está corroyendo e interfieren en la reacción de oxidación o la reacción de reducción

**-PROTECCIÓN CATÓDICA**

La protección catódica implica convertir en cátodo el metal a proteger, mediante el suministro de electrones por una fuente exterior. Es decir que podemos utilizar otro material con mayor carácter anódico, denominado **ANODO DE SACRIFICIO**

Los más utilizados son el magnesio y el zinc.

**El proceso de galvanización** consiste en depositar una capa de zinc en la superficie del acero por inmersión en caliente. En la atmósfera y en la mayoría de los ambientes húmedos, el zinc es anódico y protege catódicamente al acero de la corrosión.

Otra técnica de protección catódica consiste en aplicar una corriente de electrones mediante una fuente exterior de corriente continua, para evitar que el material anódico tenga que entregar electrones.

## CORROSION DE CERAMICAS

La corrosión de los materiales cerámicas generalmente transcurre como una simple disolución química

Frecuentemente se utilizan materiales cerámicas debido a su resistencia a la corrosión. Por este motivo los líquidos se almacenan en recipientes de vidrio. Las cerámicas refractarias no sólo deben ser estables a altas temperaturas y aislantes térmicos sino que a menudo deben resistir el ataque a elevadas temperaturas de metales, sales, escorias y vidrios fundidos.

## DEGRADACIÓN DE POLÍMEROS

En polímeros se utiliza el término **degradación** en vez de corrosión ya que los procesos son distintos.

Analizaremos los tres métodos de degradación.

### HINCHAMIENTO Y DISOLUCIÓN:

Cuando un polímero se expone en un medio líquido se suelen degradar por hinchamiento y por disolución.

Esto se debe a que el polímero absorbe las partículas de soluto y estas ocupan posiciones entre las cadenas de polímero.

Eso provoca que los enlaces de van der Waals disminuyan y por lo tanto se rompe la estructura cristalina dejando como resultado un material blando.

La primera etapa se define como **HINCHAMIENTO**

Luego, la **DISOLUCION** tiene lugar cuando el polímero es completamente soluble, puede considerarse como la continuación del hinchamiento.

La disolución se da cuando los hidrocarburos absorben a los hidrocarburos líquidos.

Las características del hinchamiento y de la disolución están influidas por la temperatura y por la estructura molecular.

En general, el aumento del peso molecular, el aumento de los grados de entrecruzamiento y de cristalinidad y la disminución de la temperatura reducen este proceso deteriorativo.

### ROTURA DEL ENLACE:

Los polímeros también se degradan por el proceso denominado **escisión**: la separación o rotura de los enlaces de las cadenas moleculares.

La rotura del enlace se origina por exposición a la radiación o al calor y por reacción química.

#### EFFECTOS DE LA RADIACIÓN

Algunos tipos de radiación como rayos x o radiación ultravioleta.

Una reacción a esta radiación es la **ionización**, consiste en que la radiación elimina un electrón de un orbital de un átomo específico y **convierte el átomo en ion**. La rotura de un enlace conduce a la escisión.

Se puede prevenir agregando estabilizantes.

#### EFFECTOS TÉRMICOS

La degradación térmica consiste en la escisión de cadenas moleculares a elevadas temperaturas. Una consecuencia de esto es que algunos polímeros experimentan reacciones químicas que producen especies gaseosas. Estas reacciones se evidencian por la pérdida de peso del material

## DEGRADACIÓN POR EXPOSICIÓN A LA INTEMPERIE

La mayoría de los materiales poliméricos en servicio están expuestos al exterior. El deterioro resultante se denomina degradación por exposición a la intemperie, que a menudo resulta ser una combinación de varios procesos distintos.

En este tipo de degradación se ve muy afectada la radiación ultravioleta y el hinchamiento y disolución, ya que algunos polímeros absorben agua y están constantemente bajo el sol.