

CORROSIÓN

1.- Concepto

Corrosión es la transformación indeseable de un material como consecuencia del medio que lo rodea.

2.- Agentes Agresivos

Se llaman agentes agresivos a aquellos que producen la corrosión, estos pueden ser: la atmósfera, el agua de mar, el aire húmedo, los vapores ácidos, etc.

3.- Alcance

El fenómeno de corrosión se extiende a todos los materiales; pero solamente se tendrá en cuenta la corrosión metálica. Todos los metales pueden ser usados siempre que su velocidad de deterioro sea aceptablemente baja. De este modo en corrosión se estudia la velocidad con que se deteriora los metales y las formas en que dicha velocidad puede ser controlada.

4.- Formas de Corrosión y factores que fundamentan su clasificación

La corrosión ocurre en muchas y muy variadas formas, pero su clasificación generalmente se basa en uno de los tres siguientes factores:

- I.- *Naturaleza de la substancia corrosiva.* La corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca, para la primera se requiere un líquido o humedad mientras que para la segunda, las reacciones se desarrollan con gases a alta temperatura.
- II.- *Mecanismo de corrosión.* Este comprende las reacciones electroquímicas o bien, las reacciones químicas.
- III.- *Apariencia del metal corroído.* La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas.

5.- Clasificación de los Procesos de Corrosión en Metales

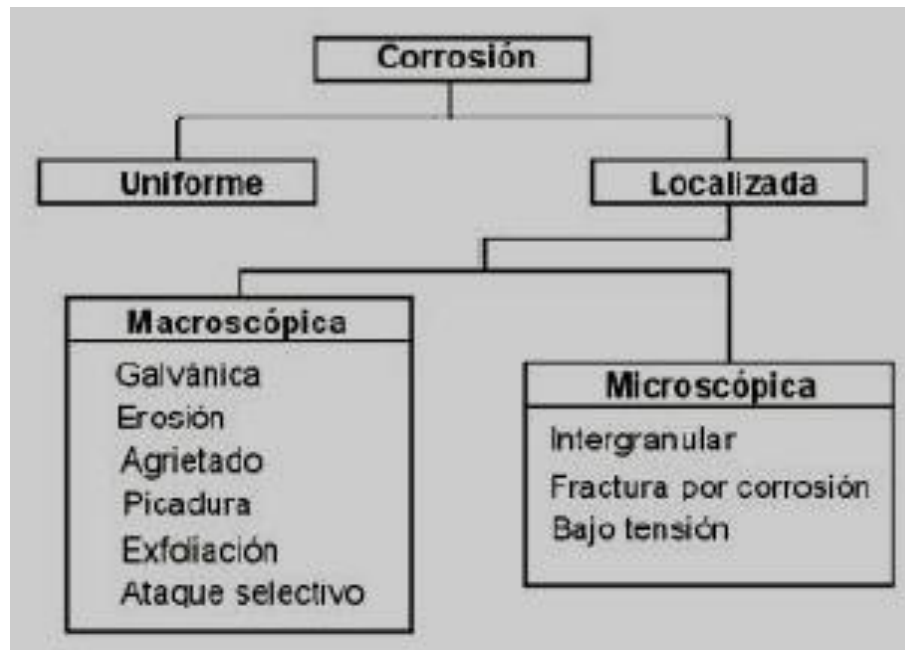
Existen varios criterios para clasificar los procesos de corrosión. Los más importantes, son los basados en la morfología y en el mecanismo según el cual se produce, es decir:

- Según la forma o apariencia (Esquema 1)
- Según el medio o mecanismo por el cual se produce (Esquema 2).

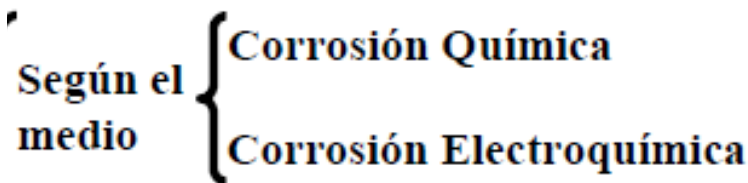
La clasificación según su apariencia puede ser: uniforme o localizada, es muy útil para una discusión preliminar que en caso de requerirse en forma más completa, necesita del establecimiento de las diferencias entre la corrosión localizada de tipo macroscópico y el ataque microscópico local.

En el ataque microscópico, la cantidad de metal disuelto es mínimo y puede conducir a daños muy considerables antes de que el problema sea visible.

Los diferentes tipos de corrosión se presentan en la **Esquema 1** y se representan en la **Figura 1**, a continuación se enuncia cada una de estas formas.



Esquema 1.- Diferentes formas de Corrosión según su apariencia



Esquema 2.- Corrosión según el medio o mecanismo por el cual se produce

5.1- Clasificación según su apariencia

5.1.1- Corrosión Uniforme.

El ataque es parejo en toda la superficie del elemento, de modo que se puede evaluar su avance por medio de la detección de la reducción en el espesor y por la pérdida de peso. Por lo tanto, en algunos casos es posible prever su evolución, de modo que puede ser aceptable dentro de lo que es un modo normal de funcionamiento.

El ataque uniforme sobre grandes áreas de una superficie metálica (**Figura 1 b**) es la forma más común de la corrosión y puede ser húmeda o seca, electroquímica o química, siendo necesario seleccionar los materiales de construcción y los métodos de protección como pintura, para controlarla.

Por otra parte, la corrosión uniforme es la forma más fácil de medir, por lo que las fallas inesperadas pueden ser evitadas simplemente por inspección regular.

5.1.2- Tipos de corrosión localizada

5.1.2.1- Corrosión Galvánica y Uniforme

La corrosión galvánica se presenta, cuando dos metales diferentes en contacto o conectados por medio de un conductor eléctrico, son expuestos a una solución conductora. En este caso, existe una diferencia en potencial eléctrico entre los metales diferentes y sirve como fuerza directriz para el paso de la corriente eléctrica a través del agente corrosivo, de tal forma que el flujo de corriente corroe uno de los metales del par formado.

Mientras más grande es la diferencia de potencial entre los metales, mayor es la probabilidad de que se presente la corrosión galvánica debiéndose notar que este tipo de corrosión sólo causa deterioro en uno de los metales, mientras que el otro metal del par casi no sufre daño.

El metal que se corroe recibe el nombre de metal activo, mientras que el que no sufre daño se le denomina metal más noble.

La relación de áreas entre los dos metales es muy importante, ya que un área muy grande de metal noble comparada con el metal activo, acelerará la corrosión, y por el contrario, una mayor área del metal activo comparada con el metal noble disminuye el ataque del primero.

La corrosión galvánica a menudo puede ser reconocida por el incremento del ataque junto a la unión de los metales, como se indica en la **Figura 1 c** y este tipo puede ser controlado por el uso de aislamientos o restringiendo el uso de uniones de metales cuando ellos forman diferencias de potencial muy grande en el medio ambiente en el que se encuentran. La diferencia de potencial puede ser medida, utilizando como referencia la serie galvánica de los metales y aleaciones que se presentan más adelante, en la serie de los potenciales tipo (standard) de óxido de reducción.

Otro método para reducir la corrosión galvánica, es evitar la presencia de grandes áreas de metal noble con respecto a las de metal activo.

5.1.2.2- Corrosión por Erosión

Cuando el movimiento del medio corrosivo sobre la superficie metálica incrementa la velocidad de ataque debido a desgaste mecánico, este recibe el nombre de corrosión por erosión. La importancia relativa del desgaste mecánico y la corrosión, es a menudo difícil de establecer y varía grandemente de una situación a otra, y el mecanismo de la erosión generalmente se atribuye a la remoción de películas superficiales protectoras, como por ejemplo, películas de óxido formadas por el aire, o bien, productos adherentes de la corrosión.

La corrosión por erosión, generalmente tiene la apariencia de picaduras poco profundas de fondo terso, como se ve en la figura No. 1d, y el ataque puede presentar también una distribución direccional debido al camino seguido por el agente agresivo cuando se mueve sobre la superficie del metal, tal y como se muestra en la **Figura 1 d**.

La corrosión por erosión prospera en condiciones de alta velocidad, turbulencia, choque, etc., y frecuentemente se observa en impulsores de bombas, agitadores y en codos y cambios de dirección de tuberías. Los líquidos con suspensión conteniendo partículas sólidas duras pueden igualmente causar este tipo de problema.

La corrosión por erosión puede ser evitada por cambios de diseño o por selección de materiales más resistentes.

La corrosión por cavitación y desgaste (fretting) son formas especiales de la corrosión por erosión. La primera es causada por la formación y colapso de burbujas de vapor en la superficie del metal. Las altas presiones producidas por este colapso pueden disolver el metal, remover las partículas protectoras, etc. sobre la otra, causando daño mecánico a una o ambas piezas (**Figura 1 e**) y el deslizamiento es generalmente un resultado de la vibración.

La corrosión se cree que juega uno de los siguientes papeles: el calor de la fricción oxida el metal y a continuación el óxido se desgasta, o bien, la remoción mecánica de las partículas protectoras de óxido, o los productos de la corrosión resultantes, dan como resultado la exposición de superficies limpias del metal al medio agresivo, en tal forma que el fenómeno corrosivo se acelera.

La corrosión por deslizamiento se atenúa utilizando materiales de construcción más duros, empleando lubricación o bien incrementando la fricción hasta un punto tal en que el deslizamiento es imposible.

5.1.2.3.- Corrosión por Agrietamiento

Las condiciones ambientales en una grieta, pueden con el tiempo volverse muy diferentes de las existentes en una superficie limpia y abierta, por lo que un medio ambiente muy agresivo puede desarrollar y causar corrosión en las grietas (**Figura 1 f**).

Las grietas o hendiduras generalmente se encuentran en los empaques, traslapes, tornillos, remaches, etc, y también pueden formarse por depósitos de suciedad, productos de la corrosión y raspaduras en las películas de recubrimiento.

La corrosión por agrietamiento, generalmente se atribuye a los siguientes factores:

- a).- Cambios de acidez en la grieta o hendidura.
- b).- Escasez de oxígeno en la grieta.
- c).- Desarrollo de iones diferentes en la hendidura.
- d).- Agotamiento de Inhibidor en la grieta.

Al igual que todas las formas de corrosión localizada, la corrosión por agrietamiento no ocurre en todas las combinaciones metal-agente corrosivo, y algunos materiales son más susceptibles para producirla que otros, como por ejemplo aquéllos que dependen de las películas protectoras de óxido formadas por el aire para adquirir su resistencia a la corrosión, tal y como sucede con el acero inoxidable y el titanio. Estos materiales pueden ser aleados para mejorar su resistencia y el diseño deberá hacerse de tal manera, que se reduzcan las hendiduras, tratando de mantener las superficies limpias para combatir este tipo de corrosión.

5.1.2.4.- Corrosión por *Picadura*

La corrosión por picadura se presenta por la formación de orificios en una superficie relativamente inatacada y las picaduras pueden tener varias formas (**Figura 1 g**).

La forma de una picadura es a menudo responsable de su propio avance, por las mismas razones mencionadas en la corrosión por agrietamiento, es decir, una picadura puede ser considerada como una grieta o hendidura formada por sí misma.

Para reducir la corrosión por picadura se necesita una superficie limpia y homogénea, por ejemplo, un metal homogéneo y puro con una superficie muy pulida deberá ser generalmente, mucho más resistente que una superficie que tenga incrustaciones, defectos o rugosidad.

La corrosión por picadura es un proceso lento que puede llevarse meses y años antes de ser visible, pero que naturalmente, causará fallas inesperadas. El pequeño tamaño de la picadura y las minúsculas cantidades de metal que se disuelven al formarla, hacen que la detección de ésta sea muy difícil en las etapas iniciales.

La limpieza de la superficie y la selección de materiales conocidos, resistentes a la formación de picaduras en un medio ambiente determinado, es generalmente el camino más seguro para evitar este tipo de corrosión.

5.1.2.5.- Corrosión por *Exfoliación y Disolución Selectiva*

La corrosión por exfoliación es una corrosión sub-superficial que comienza sobre una superficie limpia, pero se esparce debajo de ella y difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar.

Capas completas de material son corroídas (**Figura 1 h**) y el ataque es generalmente reconocido por el aspecto escamoso y en ocasiones ampollado de la superficie.

Al final del ataque, una muestra tiene la apariencia de un mazo de barajas en el cual algunas de las cartas han sido extraídas. Este mecanismo es bien conocido en las aleaciones de aluminio y se combate utilizando aleaciones y tratamientos térmicos.

La corrosión por disolución selectiva se produce al efectuarse la remoción de uno de los elementos de una aleación siendo el ejemplo más común la eliminación del zinc en aleaciones de cobre-zinc, conocido con el nombre de dezincificación. Este fenómeno corrosivo produce un metal poroso (**Figura 1 i**) que tiene propiedades mecánicas muy pobres y obviamente el remedio a este caso es el empleo de aleaciones que no sean susceptibles a este proceso.

Para entender este tipo de ataque es necesario considerar que cuando un metal fundido se cuela en un molde, su solidificación comenzó con la formación de núcleos al azar, cada uno de los cuales crece en un arreglo atómico regular para formar lo que se conoce con el nombre de granos o cristales.

El arreglo atómico y los espaciamientos entre las capas de los granos, son los mismos en todos los cristales de un metal dado; sin embargo, debido a la nucleación al azar, los planos de los átomos en las cercanías de los granos no

encajan perfectamente bien y el espacio entre ellos recibe el nombre de límite de grano. Si se dibuja una línea de 2.5 cm de longitud sobre la superficie de una aleación, esta deberá cruzar aproximadamente 1 000 límites de grano.

Los límites de grano son a veces atacados preferencialmente por un agente corrosivo y el ataque se relaciona con la segregación de elementos específicos o por la formación de un compuesto en el límite. La corrosión generalmente ocurre, porque el agente corrosivo ataca preferencialmente el límite de grano o una zona adyacente a él, que ha perdido un elemento necesario para tener una resistencia a la corrosión adecuada.

En un caso severo de corrosión inter cristalina, granos enteros se desprenden debido a la deterioración completa de sus límites (**Figura 1 j**), en cuyo caso, la superficie aparecerá rugosa al ojo desnudo y se sentirá rasposa debido a la pérdida de los granos.

El fenómeno de límite de grano que causa la corrosión inter cristalina, es sensible al calor por lo que la corrosión de este tipo, es un subproducto de un tratamiento térmico como la soldadura o el relevado de esfuerzos y puede ser corregido por otro tipo de tratamiento térmico o por el uso de una aleación modificada.

5.1.2.6.- Corrosión de Fractura por Tensión

La acción conjunta de un esfuerzo de tensión y un medio ambiente corrosivo, dará como resultado en algunos casos, la fractura de una aleación metálica. La mayoría de las aleaciones son susceptibles a este ataque, pero afortunadamente el número de combinaciones aleación – corrosivo que causan este problema, son relativamente pocas. Sin embargo, hasta la fecha, este es uno de los problemas metalúrgicos más serios.

Los esfuerzos que causan las fracturas provienen de trabajos en frío, soldadura, tratamiento térmicos, o bien, pueden ser aplicados en forma externa durante la operación del equipo.

Las fracturas pueden seguir caminos inter cristalinos o transcristalinos (**Figura 1 k**) que a menudo presentan una tendencia a la ramificación.

Algunas de las características de la corrosión de fractura por tensión, son las siguientes:

- a) Para que esta corrosión exista, se requiere un esfuerzo de tensión.
- b) Las fracturas se presentan quebradizas en forma macroscópica, mientras que las fallas mecánicas de la misma aleación, en ausencia de un agente corrosivo específico, generalmente presentan ductibilidad.
- c) La corrosión por esfuerzos depende de las condiciones metalúrgicas de la aleación.
- d) Algunos medios ambientes específicos, generalmente causan fractura en una aleación dada. El mismo medio ambiente no causa fracturas en otras aleaciones.
- e) La corrosión por esfuerzo puede ocurrir en medios ambientes considerados no agresivos para una aleación dada, por ejemplo la velocidad de corrosión uniforme es baja hasta que se presenta una fractura.

f) Largos periodos de tiempo, a menudo años, pueden pasar antes de que las fracturas sean visibles, pero entonces al presentarse, se propagan rápidamente con el resultado de una falla inesperada.

g) La corrosión por esfuerzo, no está completamente entendida en la mayoría de los casos; sin embargo, en la actualidad se dispone de muchos datos para ayudar al ingeniero a evitar este problema.

Para combatir la corrosión de fracturas por tensión, es necesario realizar el relevado de esfuerzo o seleccionar un material más resistente.

El término de fragilización por hidrógeno se confunde frecuentemente con la corrosión de fractura por tensión, debido a que el hidrógeno desempeña una función en algunos casos de ésta y para distinguir la fragilización por hidrógeno de la corrosión de fractura por tensión, es conveniente juzgar los siguientes conceptos:

a) La fractura debido al hidrógeno introducido en el metal sin corrosión de éste, por ejemplo, en la protección catódica, no es definitivamente corrosión de fractura por tensión.

b) La fractura debido al hidrógeno producida por una alta velocidad de corrosión uniforme como en el decapado, tampoco es corrosión de fractura por tensión porque no se necesita tener un esfuerzo mientras el hidrógeno se produce y la fractura se presenta posteriormente cuando la tensión es aplicada después de la reacción corrosiva con liberación de hidrógeno.

c) Cuando el hidrógeno se produce por corrosión local en una fractura o picadura sobre un metal sometido a esfuerzo de tensión y resulta una propagación en la fractura, entonces sí se considera que la corrosión pertenece al tipo de corrosión de fractura por tensión.

La corrosión por fatiga, es una forma especial del tipo de corrosión de fractura por tensión y se presenta en ausencia de medios corrosivos, debido a esfuerzos cíclicos repetidos. Estas fallas son muy comunes en estructuras sometidas a vibración continua.

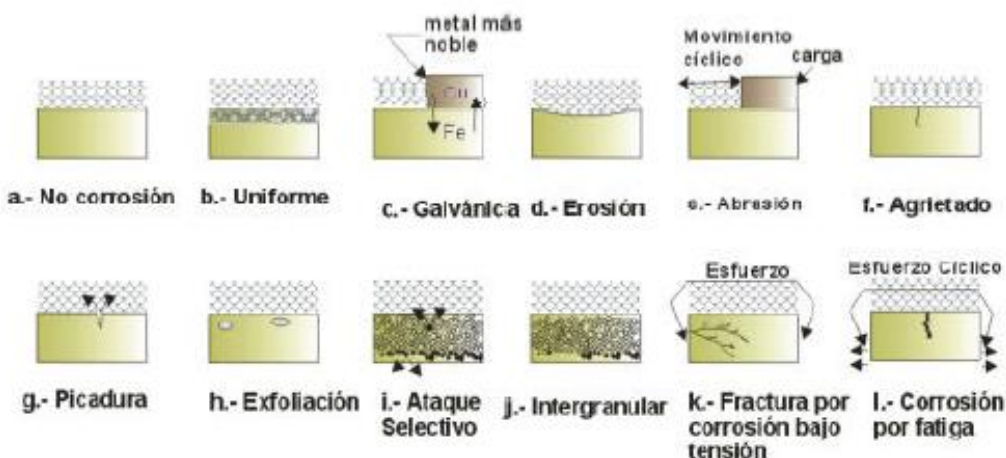


Figura 1.- Corrosión de metales y aleaciones

Los métodos para evitar la corrosión por fatiga, necesitan prevenir la fractura producida por ésta desde el principio, ya que es muy difícil detener la propagación de las fracturas, una vez que se inician.

De lo indicado anteriormente, se ve la necesidad de reconocer en primer lugar, las diferentes formas en las que se presenta la corrosión para así tomar medidas pertinentes que permitan establecer los métodos correctivos para atenuarla, los cuales son mejor comprendidos si se conoce la teoría de la corrosión.

5.2.- Clasificación según el medio o mecanismo por el cual se produce

La corrosión causa el deterioro de todo tipo de material. En ella, podemos distinguir dos procesos:

- *Oxidación directa o Corrosión química*: es la que resulta de la combinación de los átomos metálicos con los de la sustancia agresiva. Un material se disuelve en un medio líquido corrosivo. El material seguirá disolviéndose, hasta que se haya consumido todo o se sature el líquido. Ejemplo sal disuelta en agua.
- *Corrosión electroquímica*: se origina por la presencia de pilas electroquímicas en las que el metal actúa como ánodo (cede electrones y los átomos del metal pasan a ser iones positivos o cationes) y por tanto se disuelve. Este tipo de corrosión exige la presencia de ambientes acuosos y, en general, con medios de conductividad electrolítica). Es decir, ocurre cuando los átomos de metal pierden electrones y se convierten en iones. Conforme se consume gradualmente el metal, se forma un subproducto de este proceso.

Ocurre con mayor frecuencia en ambiente acuoso, o en aire húmedo. En este proceso se crea un circuito eléctrico y el sistema se conoce como celda química. Ejemplo corrosión en tuberías de acero con agujeros con herrumbre como subproducto. Aunque en ocasiones estas celdas pueden ser de utilidad cuando intencionadamente se crea un circuito eléctrico para efectuar electrodeposición

En el caso de la oxidación directa, toda la superficie metálica es afectada prácticamente por igual. En cambio, en las piezas que sufren corrosión electroquímica, solamente son afectadas las áreas anódicas, pero no las catódicas.

Por tanto, podemos definir la **corrosión** como el deterioro lento de un material por acción de un agente exterior que combina oxígeno del aire y la humedad y la **corrosión química producida por la acción de los ácidos y álcalis**.

A efectos de corrosión, son tan importantes las propiedades del medio como las del metal, y la favorecen todos los factores que influyen positivamente sobre la velocidad de la reacción de oxidación, que son:

- Temperatura elevada
- Presencia de ácidos y álcalis (en definitiva del medio donde se encuentra, si es ácido, básico, salino, con impurezas, en agitación o reposo, temperatura, iluminación...).
- Carácter electroquímico
- Características del material: composición (las heterogeneidades químicas y estructurales, así como las tensiones internas, aceleran la oxidación), forma de la pieza (los surcos de mecanizado, grietas y orificios no permiten un buen pulido quedando partes oxidadas, y los esfuerzos de tracción también lo favorecen) y estado superficial.

6.- Medios de protección frente la corrosión.

La problemática de la corrosión es importante, pero no imposible de solucionar. Se utilizan diversas técnicas para controlar y evitar la corrosión que en definitiva buscan:

1. Impedir la formación de pilas galvánicas, utilizando aislantes eléctricos.
2. Tratar siempre de que el área del ánodo sea siempre mucho mayor que la del cátodo. De esta forma, las reacciones catódicas pueden minimizarse.
3. Diseñar recipientes para la contención de líquidos cerrados y procurar que no se acumule líquido estancado. Los depósitos parcialmente llenos experimentan la corrosión de línea de nivel.
Los depósitos abiertos disuelven continuamente gases, proporcionando iones que intervienen en la reacción catódica y aumentan las celdas por concentración. (Celda electrolítica: Contacto eléctrico a través de un electrolito de dos metales muy diferentes)
4. Evitar hendiduras o grietas entre los materiales armados o unidos.

Las diversas técnicas para controlar y evitar la corrosión se utilizan se agrupan en la siguiente **Tabla1**:

PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN					
PROTECCIÓN POR RECUBRIMIENTOS METÁLICOS	PROTECCIÓN POR RECUBRIMIENTOS NO METÁLICOS	PROTECCIÓN EMPLEANDO INHIBIDORES	PROTECCIÓN EMPLEANDO PASIVADORES	PROTECCIÓN CATÓDICA	PROTECCIÓN EMPLEANDO METALES AUTOPROTECTOR
Tratamiento preliminar • Pulido • Desengrasado • Decapado Metalización de piezas. • Electrólisis ➢ Cobreado ➢ Cincado ➢ Estañado ➢ Níquelado	• Pinturas y barnices • Esmaltado • Oxidación superficial • Fosfatación	• Anódicos • Catódicos	• Minio • Cromato de cinc • Pasivadores anódicos	• Con corriente exterior • Con ánodos de sacrificio	Empleando materiales como: • Metales puros: Ni, Cr, Ti, Al, Pb • Aleaciones: ➢ Aceros al Cr ➢ Aceros al Ni ➢ Aceros al Cr-Ni ➢ Bronces, latones
➢ Cadmiado ➢ Cromado duro Por inmersión en baño • Estañado (Sn) • Galvanizado (Zn) • Emplomado (Pb) Otros. • Metalización a pistola. • Cementación • Chapeado.					

Tabla1.- Diversas Técnicas para Controlar y Evitar la Corrosión

7.- Control de la Corrosión.

a) Control de diseño

1.- Selección del material

Si se elige un material resistente a la corrosión en las condiciones en la que va ser utilizado. Por esto se usan aceros inoxidable o materiales cerámicos.

2.- Diseño

Para reducir los problemas:

- Para evitar la corrosión por grieta, mejor uniones soldadas y no remachadas.
- Usar materiales galvánicos similares o evitar el contacto eléctrico con arandelas de material no conductor.
- Evitar ángulos pronunciados o puntos calientes en las tuberías para que los fluidos a elevada velocidad no corroan.
- Los elementos sometidos a condiciones extremas o depósitos y tanques deben ser inspeccionados periódicamente y de fácil limpieza.

3.- Alteración del entorno

Como la corrosión consiste en un ataque químico al material por parte de su entorno, cualquier modificación del mismo repercute sobre el material.

- Generalmente disminuyendo la temperatura se reduce la velocidad de corrosión, menos en el agua de mar, porque aumenta la solubilidad en ella del oxígeno.
- Si disminuye la velocidad de un fluido en una tubería, disminuye la corrosión, aunque se debe evitar líquidos estancados.
- Si disminuye el contenido de oxígeno en las disoluciones acuosas o la concentración de iones corrosivos, se disminuye la corrosión.

b) Recubrimientos metálicos

Consiste en aplicar en finas capas sobre piezas metálicas para aislarlas de ambientes corrosivos, en ocasiones sirven de ánodos de sacrificio y se corroen en vez de el metal al que protegen, ejemplo Zn y acero. (Acero galvanizado). La hojalata que es estaño y hierro, el Sn actúa de cátodo frente el Fe en atmosferas ricas de oxígeno por esto se corroe rápidamente pero sin oxígeno como sucede en el interior de las latas actúa como ánodo frente el Fe.

Cualquiera que sea el recubrimiento a emplear existe un tratamiento preliminar que sigue las siguientes fases: pulido (con abrasivos de distinta finura), desengrasado (limpiado de piezas con disolventes) y decapado mecánico o químico eliminando las capas superficiales.

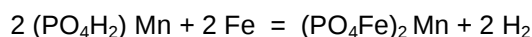
c) Recubrimientos no metálicos

Recubrimientos orgánicos: Por pintura designaremos a todo producto líquido pastoso que extendido por un medio cualquiera sobre un objeto, da al secarse, cualquiera que sea el procedimiento empleado, una película adherente, decorativa o protectora. Esta película puede ser transparente (barniz) u opaca (pintura, esmalte o laca), brillante o mate.

Recubrimientos inorgánicos:

i) *Recubrimiento esmaltado.* Son cristales de vidrios (borosilicatos de Ca, K, y Pb), que al volverse opacos por óxido estánico forman una capa protectora que una vez seca y fundida en el horno adquiere características vidriadas. Después de decapar el metal, se depositan los esmaltes, se secan y se funden a 800 - 1000°C. El inconveniente principal es que no soportan deformaciones, por lo que saltan con facilidad al menor golpe.

ii) *Recubrimientos por fosfatación.* Las piezas a tratar se sumergen en baños de una solución acuosa de fosfato metálico ácido (fosfato ácido de Mn, fosfato, diácido de cinc o de sodio) a temperatura de 100°C. El acero es atacado y se forma una capa superficial de fosfatos de 0,01 mm, siguiendo la reacción:



La protección gana en eficacia si se le da una capa de pintura o barniz que se adhiere muy bien.

iii) *Recubrimiento por oxidación superficial o pasivadores anódicos:* La oxidación puede realizarse:

- Por ataque de un ácido (oxidación química): Consiste en sumergir el metal en una solución acuosa de un cuerpo capaz de reaccionar sobre el metal, generando una fina capa en la superficie de un óxido o una sal.
- Por electrólisis (oxidación anódica): Se emplea en proteger piezas de aluminio, en el cátodo se coloca la placa de Al, el baño es ácido sulfúrico, la oxidación la provoca el oxígeno, que se desprende del ánodo formando una placa protectora en objetos decorativos. Se basa en la formación de películas pasivas protectoras, de igual modo que en la oxidación se forman capas protectoras de óxido. La capa pasiva en el elemento a proteger que será el ánodo se consigue con una densidad de corriente elevada que resurta costosa de protección.

d) Protección empleando inhibidores

Los inhibidores son sustancias que, añadidas en proporciones muy pequeñas a un medio corrosivo, permiten reducir o detener la velocidad de corrosión del metal con el que entran en contacto formando un compuesto protector sobre la superficie de dicho metal.

Los tipos de inhibidores pueden ser:

- *Anódicos:* Reaccionan sobre las partes anódicas del metal. Son de este tipo el carbonato, fosfato, silicato y cromato sódico.
- *Catódicos:* Que forman compuestos protectores sobre el cátodo, empleando para este fin sulfato de magnesio, de níquel y de cinc.

e) Protección empleando pasivadores o protección anódica

La pasividad puede ser natural y es aquí una capa protectora que surge en la superficie del metal y detiene la corrosión apenas iniciada. Pero también podemos conseguir la pasividad tratando previamente el metal puesto que los cercanos al extremo anódico de la serie galvánica son activos y sirven de ánodo, pero si se hacen más catódicos se corroen más lentamente. La pasivación se consigue evitando la reacción normal anódica. Decimos que la pasividad

es provocada por un pasivador como: el minio (óxido de plomo) o el cromato de cinc. La pasivación del aluminio se conoce como *anodizado* y se produce un grueso recubrimiento de óxido.

f) Protección Catódica

La protección catódica es un método electroquímico muy utilizado, que aprovecha el principio electroquímico de la corrosión, transportando un cátodo a la estructura metálica a proteger, bien sea que se encuentre enterrada (tuberías), sumergida, a medias o totalmente.

g) Protección empleando metales autoprotectores

Mediante tratamientos térmicos de los aceros y metales no ferrosos. También mediante recubrimientos especiales (por ej: de BALINIT; de TIN y de TiCN) que hacen más duraderas las piezas y a su vez generan capas antioxidantes. Se usan generalmente en herramientas y brocas.