

# Boletín 95

## TODO SOBRE CORROSION

Boletín técnico N°95  
PARTE 1  
Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

# TODO SOBRE CORROSION.

## PARTE 1

Por:

**Ing. Gregor Rojas**  
GERENTE NACIONAL  
MERCADEO Y VENTAS  
División materiales eléctricos

### 1. General.

Sin ánimo de agotar el tema, lo cubriremos en profundidad debido a que es uno de los parámetros más importantes en materia de fabricación de cerramientos en todas sus formas para equipo eléctrico, de instrumentación, etc.

Para la fabricación de cerramientos la lámina o chapa de acero es todavía el material más comúnmente utilizado, gracias a su excelente maquinización y comparativamente bajo costo. Pero el mayor constituyente de una lámina de acero es el hierro y cuando éste es puesto en contacto con el agua pronto comienza a oxidarse.

La reacción se pararía aquí si no fuera por el hecho de que algunas de las burbujas de hidrógeno se escapan mientras que el resto se combina con el oxígeno en el agua para formar más agua, y por tanto favoreciendo que se disuelva más hierro. Este ciclo de corrosión puede ser acelerado cuando son añadidas al agua ciertas substancias entre las que se encuentra la sal.

Paralelamente no se debe olvidar que reacciones igualmente corrosivas tienen lugar si el agua está ligeramente acidificada, como resulta de la contaminación de una fábrica.

En este caso, bajo la acción del agua el metal desnudo se convierte en un ánodo cargado positivamente y el metal a su alrededor en un cátodo cargado negativamente; como una simple celda de la batería, una carga eléctrica circula entre

los dos causando que el ánodo en este caso el cerramiento se corra.

Sin menoscabar la importancia que tiene con relación a otros aspectos, la principal motivación para el estudio de la corrosión es, sin duda, de índole económica.

### 2. Definición de corrosión

Existen o se ha definido la corrosión de muchas maneras o formas. La corrosión puede definirse como la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante con el siguiente deterioro de sus propiedades.

También es posible definirla desde un punto de vista más químico como el tránsito de un metal de su forma elemental a su forma iónica o combinada con cesión de electrones a un no metal como el oxígeno o el azufre, por ejemplo. Es decir, el metal, a través de la corrosión, retorna a la forma combinada formando óxidos, sulfuros, hidróxidos, etc., que es como los metales se encuentran habitualmente en la naturaleza por tratarse de formas termodinámicamente más estables.

Desde el primer momento de su extracción, para lo cual es necesario cambiar las condiciones termodinámicas utilizando reductores, altas temperaturas, etc., el metal muestra una tendencia inherente a reaccionar con el medio ambiente (atmósfera, agua, suelo, etc.) retornando a la forma combinada.

El proceso de corrosión es natural y espontáneo, y cuando mayor es la energía gastada en la obtención del metal a partir del mineral, tanto más fácilmente el metal revierte al estado combinado, es decir, tanto más favorecida termodinámicamente está la reacción de corrosión.

Por corrosión también se entiende la pérdida de material de la superficie de un metal a consecuencia de la reacción electroquímica con otros del entorno que los rodean. A causa de la

misma, los átomos metálicos pasan del estado metálico al no metálico, se oxidan. Este proceso corresponde, contemplando termodinámicamente, al paso de un estado ordenado rico en energía a uno menos ordenado, pobre en energía, y por ello más estable.

### **Ataque corrosivo**

En todo ataque corrosivo tienen lugar en principio dos reacciones diferentes: en la parte anódica del proceso, en la cual el proceso de corrosión se reconoce inmediatamente, el metal, a causa de la diferencia de potencial que se origina, pasa al estado oxidado perdiendo un número equivalente de electrones según la ecuación.

Los iones metálicos formados pueden disolverse en los electrolitos o bien depositarse sobre el metal después de reaccionar con componentes del medio atacante.

Este proceso parcial anódico sólo prosigue mientras los electrones liberados son consumidos en un segundo proceso. Este proceso consiste en una reacción parcial catódica.

En medios neutros o alcalinos se reduce el oxígeno a iones oxhidrilo según: que, por su parte, pueden reaccionar, por citar un ejemplo, con los iones metálicos, mientras que en medios ácidos, los iones hidrógeno se reducen al formar hidrógeno libre, que se desprende en forma de gas.

Si dos metales diferentes cubiertos por un mismo medio, se ponen en contacto eléctrico, la parte catódica del proceso tendrá lugar en el metal más noble y la del proceso anódico en el menos noble. Se habla en ese caso de corrosión por contacto.

Ambas reacciones pueden tener lugar, no obstante, en un único metal; se habla entonces de "corrosión a la intemperie".

Los procesos parciales catódico y anódico pueden seguir uno tras otro, en la interfase metal/disolución

en intercambio continuo con una distribución estadística no ordenada de lugar e instante de los procesos.

Desde que el hombre empezó a utilizar instrumentos de metal se enfrentó a la corrosión y, aunque con el avance de los conocimientos ha podido defenderse mejor de ella, es un problema permanente.

Los países industrializados invierten enormes sumas en la investigación y aplicación de métodos para prevenir la corrosión.

### **Proceso de corrosión.**

Es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. Las características fundamentales de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas: una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas.

En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal.

Los enlaces metálicos tienden a convertirse en enlaces iónicos, lo favorece que el material pueda en cierto momento transferir y recibir electrones, creando zonas catódicas y zonas anódicas en su estructura.

La velocidad a que un material se corroe es lenta y continua todo dependiendo del ambiente donde se encuentre, a medida que pasa el tiempo se va creando una capa fina de material en la superficie, que van formándose inicialmente como manchas hasta que llegan a aparecer imperfecciones en la superficie del metal.

Este mecanismo que es analizado desde un punto de vista termodinámico electroquímico, indica que el metal tiende a retornar al estado primitivo o de mínima energía, siendo la corrosión por lo tanto la causante de grandes perjuicios económicos en instalaciones.

### **Corrosión en ambientes marinos.**

El progresivo deterioro de estructuras que se encuentran sumergidas y/o expuestas a la acción de la atmósfera marina constituye sin duda alguna un oneroso problema industrial.

En efecto, pilotes de muelles y otras estructuras portuarias como ser grúas de carga/descarga, edificios en la cercanía del mar, etc., requieren un constante mantenimiento para conservarles en buen estado.

A diferencia de los mecanismos de corrosión en agua dulce, desde un enfoque electroquímico debemos considerar la incidencia de las sales disueltas en el agua de mar y ambientes marinos.

En forma predominante encontramos en el agua de mar cloruros de sodio y de magnesio.

El cloruro de sodio se encuentra en agua de mar en una solución de 35.000 mg/lit (0.5 N) que lo sitúa en su máximo nivel corrosivo. La solución de NaCl mejora además las propiedades conductoras del electrolito posibilitando una reacción electroquímica más intensa.

Hoy en día, se debe considerar además el efecto de la contaminación del agua de mar, especialmente en puertos.

En efecto, en dichas aguas nos encontramos con importantes concentraciones de elementos oxidantes y orgánicos, producto de desechos industriales que son vertidos directamente en el mar o llegan a él a través de desembocaduras de ríos.

Aquellas estructuras expuestas al rocío marino sufren también los efectos corrosivos de la solución de cloruros, los cuales son arrastrados por los vientos y depositados en el acero. Ciclos alternados de humedad, los cloruros son además higroscópicos posibilitan la formación de celdas galvánicas.

La rigurosidad del ataque, producto del rociado marino depende de la cercanía de la estructura al mar. En atmósferas industriales severas con concentración alta de SO<sub>2</sub> se recomiendan recubrimientos en base Zn para la protección del hierro y el acero, Al/Zn en diversas proporciones y Al puro dependiendo de las particularidades de cada aplicación.

### **TIPOS DE CORROSIÓN**

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

- 1. Naturaleza de la sustancia 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.
- 2. Mecanismo de corrosión.** Este comprende las reacciones electroquímicas o bien, las reacciones químicas.
- 3. 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.

La clasificación por apariencia, uniforme o localizada, será desarrollada en detalle debido a que abarca la mayoría de los problemas que se presentan en los cerramientos fabricados de metales.

Para ello requerimos 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 son:

- Uniforme
- Localizada

La corrosión uniforme, es la más benigna porque se puede determinar experimentalmente su velocidad y permite hacer predicciones sobre la vida útil de una instalación. Usualmente la velocidad de corrosión uniforme se duplica cada 10°C de aumento en la temperatura.

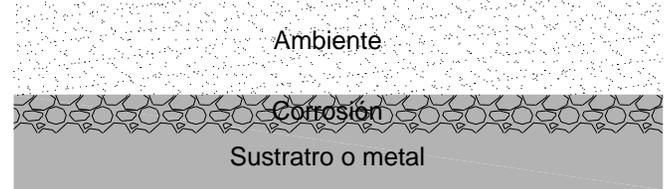
La corrosión localizada en cambio, no permite hacer predicciones, su velocidad es impredecible y mucho mayor a la corrosión uniforme y es la más dañina.

En la práctica, los distintos tipos de corrosión se dan juntos y se pueden presentar en sus diversas formas, en partes diferentes de una instalación.

A continuación detallaremos cada una de ellas y sus distintos tipos.

### **Corrosión uniforme**

El ataque uniforme sobre grandes áreas de una superficie metálica desprotegida contra los agentes ambientales 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. En la figura 7 se puede apreciar como el ataque corrosivo es en toda la superficie expuesta.



Corrosión localizada macroscópica

### **Corrosión uniforme**

**Figura 7**

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.

### **Corrosión localizada**

Se produce en algunos sectores del metal, es la más peligrosa. Se pueden distinguir los siguientes tipos de corrosión:

- Macroscópica
- Localizada

A continuación se describen los tipos de corrosión localizada macroscópica más comunes y posteriormente detallaremos la mayoría de ellos:

1. Corrosión galvánica
2. Corrosión por erosión
3. Corrosión por fricción
4. Corrosión por agrietamiento
5. Corrosión por picadura
6. corrosión por exfoliación
7. Corrosión por ataque selectivo
8. Corrosión intergranular
9. Corrosión por esfuerzo
10. Corrosión por alta temperatura
11. Corrosión debido a vibración
12. Corrosión bacteriana

### 13. Otras

#### **Corrosión galvánica**

La corrosión galvánica se presenta, cuando dos metales disímiles están en contacto o conectados por medio de un conductor eléctrico y se encuentran 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.

Cuando dos metales humedecidos se ponen en contacto, forman una pila electroquímica. En esta pila el metal químicamente más activo hace de polo negativo (ánodo) y el menos activo, de polo positivo (cátodo).

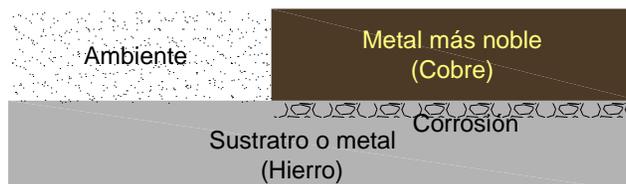
Como consecuencia, el metal más activo se corroe más rápidamente, protegiendo así al menos activo que no sufre ningún daño y se le denomina metal más noble.

Este tipo de protección se llama protección anódica y el metal que hace de ánodo se llama metal de sacrificio. Por ejemplo cuando el hierro se recubre de una capa de cinc, aunque este último se ralle y se deteriore, esta capa sirve de protección.

El cinc es un metal más activo que el hierro y se oxida más rápidamente, actúa de metal de sacrificio y protege al hierro de la corrosión. Lo mismo ocurre cuando tenemos en contacto magnesio con hierro.

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 corrosivo en las zonas donde existe la unión de los metales, en la figura 8 se puede observar el efecto de este tipo de corrosión.



Corrosión localizada macroscópica  
**Corrosión galvánica**  
**Figura 8**

En la tabla 7 se muestra la llamada serie galvánica para metales sumergidos en agua salada. Ésta serie es una escala de los metales de más a menos activos.

Como se puede apreciar en la figura N° 8 donde el hierro está en contacto con el cobre en presencia de agua de mar o salada se corroe, esto es debido a que como el hierro es más activo que el cobre, se oxidará primero antes que el cobre y mientras haya cobre en contacto con el hierro, éste no se verá afectado por la corrosión.

Lo anterior ocurre cuando un trozo de hierro o acero entra en contacto con magnesio en agua salada, como el magnesio es más activo que el hierro, se oxidará primero el magnesio antes que el hierro y mientras haya magnesio en contacto con el hierro, éste no se verá afectado por la corrosión.

Los metales más activos son los que se encuentran localizados en la parte más arriba en la tabla y son los que protegen a los metales menos activos o más nobles que se encuentran en las posiciones más abajo de la tabla 7.

El fenómeno de la corrosión está directamente vinculado a la exposición de los metales a los agentes ambientales, de forma que aquellos metales que carecen de protección quedan sometidos al proceso químico de oxidación y corrosión, perdiendo sus características físicas y sus propiedades resistentes.

Una manera de evitarla o controlarla es a través del 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 de óxido 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.

### Corrosión por erosión

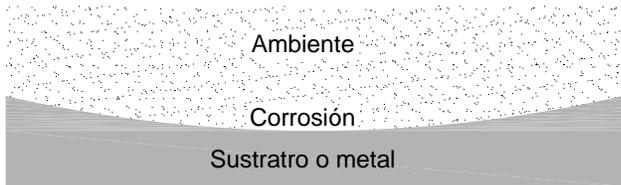
Es causada por un tipo de corrosión y abrasión es generalmente causada por líquidos y gases. Cuando el movimiento del medio corrosivo sobre la superficie metálica incrementa la velocidad de ataque debido a desgaste mecánico, este recibe el nombre de corrosión por erosión.

La importancia relativa del desgaste mecánico y la corrosión, es a menudo difícil de establecer y varia 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.

TABLA 7 Serie galvánica para metales en agua de mar	
<b>Activo Ánodo</b>	Magnesio Aleaciones de Magnesio Zinc Acero Galvanizado Aluminio 1100 Aluminio 2024 Acero Hierro Dulce Hierro Colado Acero Inoxidable 13% Cr, tipo 410 (Activo) Acero Inoxidable 18 – 8, tipo 304 (activo) Soldaduras Pb – Sn Plomo Estaño Metal Muntz Bronce al Manganeso Latón Naval Níquel (activo) Aleación 76 Ni – 16 Cr – 7 Fe (activo) Aleación 60 Ni – 30 Mo – 6 Fe (1Mn) Latón Amarillo Latón Admiralty Latón Rojo Cobre Bronce al Silicio Cuproníquel 70 – 30 Bronce G. Soldadura de Plata Níquel (pasivo) Aleación 76 Ni – 16 Cr 7 Fe (pasiva)
<b>Más noble Cátodo</b>	Acero Inoxidable 18 – 8. tipo 304 (pasivo) Plata Grafito Oro Platino

La corrosión por erosión, generalmente tiene la apariencia de picaduras poco profundas de fondo terso, 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 N° 9 a continuación.



Corrosión localizada macroscópica  
**Corrosión por erosión**  
**Figura 9**

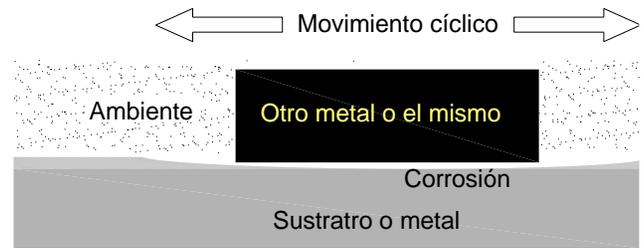
La corrosión por erosión prospera en condiciones de alta velocidad, turbulencia, choque, etc., y frecuentemente se observa en impulsores de bombas, agitadores y en codos y cambios de dirección de tuberías.

### **Corrosión por fricción.**

Se produce por el roce entre dos metales produciendo así un daño material de los metales.

El calor de la fricción elimina el óxido. La corrosión por desgaste (fretting) también llamada por abrasión ocurre cuando las piezas de metal se deslizan una sobre la otra, causando daño mecánico a una o ambas piezas en la figura 10 se puede apreciar claramente que el área de contacto de los dos metales se ha desgastado producto del roce existente, este movimiento cíclico o el deslizamiento de una pieza sobre la otra es generalmente producido por vibración.

Es este tipo de 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.



Corrosión localizada macroscópica  
**Corrosión por fricción**  
**Figura 10**

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.

Es decir dando el apriete necesario a los pernos o tornillos en una unión para evitar deslizamiento.