



Corrosión

1. INTRODUCCIÓN

Las características corrosivas de ciertos productos y medios constituyen un riesgo para los bienes materiales y las personas.

Desde la perspectiva industrial, la corrosión de los materiales es una causa de accidentes frecuentes y por tanto es de interés conocer los fenómenos y formas de prevención de éstos así como evitar reducciones en la vida de equipos y estructuras.

2. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES

En su más amplio sentido, **corrosión** es un ataque que experimentan los metales, por la acción del medio en que se utilizan (atmósfera, terrenos, agua, etc.), verificándose en el proceso reacciones químicas o electroquímicas.

Se considera **ácido** a aquella sustancia capaz de liberar un ion hidrógeno (H^+), también conocido como protón, y **base** es aquella sustancia que lo acepta en su estructura química.

Existe una escala que está limitada entre los valores de 0, como máximo de acidez, y 14, como mínimo de basicidad, denominada pH.

La corrosión tiene lugar porque hay una diferencia de potencial entre objetos que se conectan eléctricamente y la consecuente pérdida de iones del metal en el ánodo dan como resultado la corrosión.

En el proceso deben darse cuatro elementos esenciales. Todos deben estar presentes para que la corrosión tenga lugar. Estos elementos son:

1. Un electrolito que es un conductor no metálico en el que la corriente es transportada por el movimiento de iones.
2. Un ánodo.
3. Un cátodo.
4. Una conexión entre ánodo y cátodo.

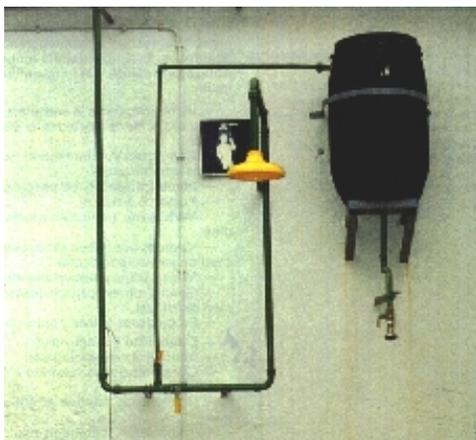
3. TIPOS DE PRODUCTOS CORROSIVOS

Según su composición y estado físico, los productos corrosivos se clasifican en:

- **Ácidos**

Son los de mayor importancia. Se agrupan en tres tipos dependiendo de su actividad corrosiva:

- Ácidos fuertes. Ionizan rápidamente.
- Ácidos débiles. No ionizan rápidamente.
- Ácidos oxidantes. Ioniza rápidamente y posee la cualidad de acelerar el proceso de corrosión participando en la reacción catódica.



- **Álcalis**

Su efecto corrosivo es menor que el de los ácidos. El factor más importante causante de la actividad corrosiva es el ion hidrógeno que se encuentra ausente o en baja concentración en los álcalis.

La reacción más frecuente en su proceso de corrosión es la formación de compuestos complejos, donde el metal corroído se convierte en parte del anión y pueden formarse sales dobles, básicas o hidróxidos dobles. Los ataques de corrosión en los álcalis están localizados.

- **Sales**

Según el tipo de sal reaccionarán de una u otra forma con los metales. Se clasifican, dependiendo de su reacción al disolverse con agua en:

- Neutras
- Neutras de oxidación
- Ácidas
- Ácidas de oxidación
- Básicas
- Básicas de oxidación

La corrosividad de las soluciones acuosas de las sales depende de la concentración de la sal, la presencia de agentes oxidantes, de la solubilidad de productos de corrosión y la temperatura.

Las más corrosivas son las sales ácidas, ácidas de oxidación y básicas.

- **Azufre y sus compuestos**

El azufre puede combinarse directamente con los metales y el hidrógeno. En su forma soluble, se encuentra como hidrógeno sulfurado, dióxido de azufre o trióxido de azufre.

El dióxido de azufre es el más activo, como producto corrosivo en la atmósfera.

- **Haluros**

Tienen una elevada afinidad electrónica de ahí que sean altamente reactivos. Su corrosividad aumenta con la presencia de humedad, a temperatura ambiente.

El más reactivo es el fluoruro.

- **Compuestos orgánicos**

Estos tipos de compuestos no suelen ser corrosivos activos. Su acción corrosiva va asociada con la de los contaminantes orgánicos.

Su baja actividad corrosiva se debe a que no se ionizan rápidamente en soluciones acuosas para producir ácidos o bases. No son oxidantes y son poco electrolíticos.

Los compuestos orgánicos de mayor actividad corrosiva son los ácidos orgánicos, los anhídridos y aldehídos, los compuestos halogenados y los compuestos con azufre.

- **Gases**

Si están secos, los gases no son corrosivos a temperatura ambiente. Sin embargo, a altas temperaturas son corrosivos, a excepción de los gases nobles.

- **Metales líquidos**

La acción de los metales líquidos no implica ninguna reacción química. La importancia del ataque depende de la solubilidad del metal sólido atacado en el metal líquido y del grado de la disolución.

- **Sales licuadas**

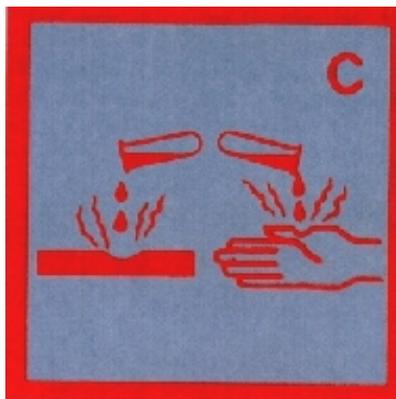
Su corrosividad aumenta con el tiempo pues se transforman en sales oxidadas con impurezas metálicas.

Estos óxidos reaccionan con las películas de óxido protectoras formando compuestos solubles en sal.

- **Otros productos corrosivos**

Los más importantes son las disoluciones del peróxido de hidrógeno. Se considera oxidante cuando su concentración sobrepasa el 60%.

Tensión galvánica	Metal o aleación
MENOS electronegativo	Extremo CORROÍDO (ánodo)
	Magnesio Cinc Aluminio Cadmio Acero al carbono Aceros de bajo contenido en Cr (12-16%): Activos Aceros de alto contenido en Cr (16-30%). Activos Ni-Resist. Aceros inoxidables X6 CrNi 18-10. Activo Aceros inoxidables X5 CrNiMo 17-12. Activo Hastelloy C Plomo Estaño Níquel. Activo Inconel. Activo Hastelloy A Hastelloy B Bronce Cobre Monel Níquel. Pasivado Inconel. Pasivado Aceros con bajo contenido en Cr (12-16%). Pasivados Aceros con alto contenido en Cr (16-18%). Pasivados Aceros inoxidables X6 CrNi 18-10. Pasivado Aceros inoxidables X5 CrNiMo 17-12. Pasivado Titanio Grafito
MÁS electronegativo	Extremo PROTEGIDO (cátodo)



4. MEDIOS CORROSIVOS

El deterioro de materiales por exposición a medios corrosivos puede ser debido a:

- Corrosión por el medio ambiente atmosférico.
- Corrosión por el terreno.
- Corrosión por el agua.

4.1 Corrosión por medio ambiente atmosférico

Más del 50% de las pérdidas totales por corrosión se deben a la corrosión por el medio ambiente

atmosférico.

Los factores que influyen en la velocidad de corrosión son:

- Humedad del aire.
- Presencia de gases.
- Presencia de polvo.



La corrosividad de la atmósfera depende de la combinación de los factores de contaminación y de las condiciones climáticas.

Los ambientes atmosféricos pueden ser industriales, marinos, urbanos y rurales dependiendo del grado de contaminación y naturaleza de los contaminantes.

4.2 Corrosión por el terreno

Un trozo de metal situado en un terreno se comporta como una pila galvánica.

La corrosión es debida a un proceso electroquímico donde el terreno se comporta como electrólito y las distintas áreas del metal son los ánodos y cátodos de las pilas electrolíticas.

Por las diferentes características del terreno, se producen en el metal dos zonas de diferente potencial eléctrico, generándose por ello una corriente eléctrica continua.

Las características del electrólito (el terreno) influyen sobre la corrosión en los siguientes aspectos:

- **Densidad:** con valor menor de $1'5 \text{ gr./cm}^3$ la agresividad es mínima.
- **Aireación:** con buena aireación la agresividad es mínima, pero si existe aireación diferencial con el terreno circundante la agresividad es de importancia considerable.
- **Composición química:** los sulfatos y cloruros son perjudiciales, mientras que los carbonatos son beneficiosos.
- **Microorganismos:** algunas bacterias transforman los sulfatos en sulfuros ferrosos, por lo que corroen el material.

- **Resistividad:** la corriente que circula por el terreno depende de la resistencia propia del mismo.

4.3 Corrosión por agua

La corrosividad del agua se debe a la presencia del oxígeno y cloro disuelto. Las variables más importantes que afectan a la corrosión por el agua de mar son:

- Velocidad del agua
- Temperatura
- Contenido en oxígeno

La corrosión aumenta con el contenido de oxígeno y con la temperatura.

La corrosión del acero y del hierro se caracteriza por los siguientes factores:

- **Temperatura:** la velocidad de corrosión se duplica cada 30°C de aumento de temperatura.
- **Concentración de cloro y oxígeno:** la velocidad de corrosión es proporcional al contenido de oxígeno y cloro.
- **Contenido de carbonato cálcico (CaCO₃):** la presencia de esta sustancia reduce la velocidad de corrosión ya que la alcalinidad cálcica en el agua produce una protección sobre las paredes.
- **pH del medio:** la velocidad de corrosión se reduce con un pH fuertemente alcalino, mientras que con un pH fuertemente ácido avanza a gran velocidad.

5. FORMAS DE MANIFESTACIÓN DE LA CORROSIÓN

- **Corrosión uniforme**

El metal es atacado química o electroquímicamente sufriendo una pérdida de superficie. El ataque se extiende casi por igual por toda la superficie. El ataque uniforme se pierde, con frecuencia, siendo en determinadas zonas el ataque más localizado con mayor pérdida de metal.



Aún siendo uniforme, si el medio es muy agresivo en poco tiempo la disminución del espesor en el objeto metálico en él es tal que se pierden sus características mecánicas, por lo tanto, en muy pocas ocasiones es recomendable utilizar un metal sin ninguna protección dejándolo a corrosión libre y, cuando se hace, no hay que olvidar sobredimensionar de forma adecuada.

- **Corrosión por picaduras**

Este tipo de corrosión denota la existencia de una pequeña zona anódica frente a una catódica grande. La corrosión se concentra en la zona anódica hasta llegar incluso a la perforación del metal.

La rotura local de los revestimientos pasivos que protegen superficies metálicas sumergidas o enterradas, son igualmente origen de picaduras.

- **Corrosión intergranular**

Se presenta cuando en los bordes de grano (éstos se forman en el proceso de cristalización de metales) hay un empobrecimiento de un componente de la aleación. El ataque se presenta cuando el borde del grano es anódico respecto al grano en sí (pequeña área anódica frente al área catódica grande). Se trata de una corrosión localizada muy grave.

- **Corrosión selectiva**

Se presenta en aleaciones en las que los elementos aleantes difieren bastante entre sí por sus potenciales electroquímicos. El elemento más electronegativo, que será el más activo y por tanto el ánodo, se disuelve quedando una estructura esponjosa de malas propiedades mecánicas.

6. **RIESGOS DE LA CORROSIÓN**



El equipo instrumental y/o eléctrico puede verse expuesto al efecto de la corrosión. Este efecto se pone de manifiesto rápidamente mediante una degradación progresiva de varios años, dependiendo del nivel de corrosividad, de las posibles combinaciones sinérgicas entre los gases contaminantes y las condiciones climatológicas existentes.

La corrosión es, además uno de los principales factores responsables de la destrucción del acero. Este material es uno de los empleados con más frecuencia en la industria, es importante pues conocer como actúa en él la corrosión para analizar los posibles tratamientos y evitar una degradación prematura.

La corrosión puede aparecer en tanques aéreos metálicos sin protección o con protección deficiente, pudiendo provocar la rotura de los mismos y llevar a la explosión.

En estructuras aéreas una protección insuficiente puede llevar a la pérdida de estabilidad mecánica. En estructuras, tanques o tuberías enterradas puede producirse una corrosión acelerada por corrientes erráticas provocando una pérdida de estabilidad mecánica.



En maquinaria a la intemperie, sin protección, especialmente en zonas cercanas al litoral provoca agarrotamiento de partes móviles, rotura o avería de la misma.

La corrosión en instalaciones eléctricas lleva a que se produzcan falsos contactos, puentes eléctricos, etc.

En cuanto a la valvulería, cabe señalar que el estar expuesta a la corrosión provoca un agarrotamiento, peligros de explosión por sobrepresión, maniobra deficiente y control de caudales (líquido o sólido) deficiente.



7. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Para evitar la corrosión es importante saber seleccionar adecuadamente los materiales, por ello deberá tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe conocer el proceso de actuación de los agentes corrosivos presentes que pueden dar lugar a la corrosión.
- Se tendrá en cuenta que para la protección contra la corrosión pueden utilizarse más de un material.
- Se realizarán las pruebas necesarias para comprobar que la selección escogida es la más idónea.
- El análisis económico será una etapa más del proceso de selección.

A continuación se muestra una tabla que ayuda en la selección del material más adecuado para evitar la corrosión.

Clasificación	Velocidad de corrosión		
	Metales* ligeros g/cm ² día	Metales** pesados g/cm ² día	mm/año
Inmune	< 0'007	< 0'022	< 0'001
Muy buena resistencia	< 0'07	< 0'21	< 0'01
Buena resistencia	< 0'7	< 2'1	< 0'1
Resistencia limitada	< 21	< 83	< 3
Resistencia baja (no se recomienda su uso)	< 70	< 210	< 10
Sin resistencia (no utilizable)	> 70	> 210	> 10

* Metal pesado: Densidad en el entorno de 7,5 gr./cm³

** Metal ligero: Densidad en el entorno de 2,5 gr./cm³

Los materiales más utilizados para proteger contra la corrosión son:

- Materiales plásticos
- Materiales compuestos o "composite"
- Materiales cerámicos
- Aleaciones

Materiales plásticos

Son fuertes, rígidos, más ligeros que el resto de los materiales y resistentes a la corrosión. Son baratos y más manejables.

Este tipo de materiales no se oxidan. Pueden clasificarse en:

- Termoplásticos

Son aquellos que se funden al recibir calor. Entre ellos se encuentran:

- *Hidrocarburos*

- Polietileno de baja densidad, o polietileno ramificado. Es buen aislante de la electricidad y resistente químicamente a la corrosión.
- Polietileno de alta densidad o polietileno lineal. Es menos permeable a los gases y vapores. Tiene una elevada cristalinidad.
- Polipropileno. Es el más ligero de todos. Es sensible a la luz ultravioleta, a la oxidación y se usa para tubos y guarniciones.

- *Polímeros de cadena carbonada*

- Poliestileno: es ligeramente frágil. Buena resistencia química a los álcalis, oxidantes y reductores.
- Polimetacrilato de metilo. Mejores propiedades mecánicas y resistencia a la intemperie que el poliestireno.
- Policloruro de vinilo (PVC). Buen plástico térmico, resistente a álcalis, ácidos y disolventes. Tiene un punto de reblandecimiento muy bajo.

- *Termoplásticos de heterocadena*

No hay átomos de carbono en la cadena principal.

- Poliésteres: Alta resistencia al impacto e insolubles en los disolventes comunes a temperatura ambiente. Muy resistente a la corrosión.
- Poliamidas: Gran resistencia mecánica, tenacidad, elasticidad y resistencia al ataque químico.
- Policarbonato: Es un polímero amorfo. Es muy quebradizo por su baja resistencia al ataque de disolventes orgánicos.
- Poliésteres termoplásticos: no son útiles como plásticos estructurales.

- **Termoestables**

Las fuerzas de unión entre sus moléculas son muy internas.

Son más estables dimensionadamente que los termoplásticos. Tiene mejores propiedades químicas, térmicas y eléctricas.

Un ejemplo de polímeros termoestables son las resinas fenólicas, que son productos de la reacción entre el fenol y el formaldehído.

Materiales compuestos

Equivalen a una resina reforzada con fibra. Las resinas más utilizadas son las de poliéster insaturado formadas a partir de un dialcohol. También suele utilizarse la epoxi por su gran resistencia química. Suele mezclarse con estas resinas fibras y cargas:

- **Fibras.** La más utilizada es la de vidrio por aumentar la resistencia al fuego.
- **Cargas.** Se utilizan para reducir costos y modificar las propiedades de las resinas durante su procesamiento. Generalmente, son productos de bajo coste, procedentes de depósitos naturales, como, por ejemplo, la tiza o el talco.

Materiales cerámicos

Poseen una gran estabilidad química frente a distintas sustancias corrosivas, son de alta resistencia mecánica y dureza.

Se clasifican en cinco grupos:

- **Óxidos.** Tienen una elevada resistencia a la oxidación. Los óxidos cerámicos más importantes y utilizados son la alúmina (Al_2O_3), la zircona (ZrO_2), la berilia (BeO), la magnesia (MgO), además de las mezclas de los óxidos.
- **Carburos.** En ambientes húmedos tienen poca resistencia a la oxidación. Los más importantes son el carburo de silicio (SiC), el carburo de boro (B_4C), el carburo de titanio (TiC), carburo de tungsteno (WC) y el carburo de uranio (UC).
- **Nitruros.** El más importante es el nitruro de silicio por su elevada resistencia a la oxidación. Es de gran resistencia y dureza.
- **Siliciuros.** Suelen utilizarse como abrasivos, refractarios y semiconductores.
- **Boruros.** Tienen una gran resistencia a la oxidación y una alta dureza.

Metales y aleaciones

En ocasiones se utilizan aleaciones metálicas ya que combinando distintos metales se pueden conseguir mejores propiedades.

Debido al elevado coste de algunos metales utilizados para evitar la corrosión, se han desarrollado algunos métodos para mantener la resistencia a la corrosión más económicamente.

El *acero al carbono* suele utilizarse para proteger estructuras, tuberías o recipientes. Para mejorar su resistencia se le añade cromo.

El *Incoloy 825* es muy resistente a la corrosión por la presencia del ion cloruro. Es una aleación con base de níquel.

Los *aceros inoxidables* son aleaciones con base de acero y con un alto contenido en cromo. También suele añadirse otros elementos como níquel para aumentar más su resistencia a la corrosión.

8. MÉTODOS DE PROTECCIÓN

Existen diversos métodos para la protección contra la corrosión:

- Métodos modificando el medio
- Métodos modificando el diseño
- Métodos por recubrimientos protectores
- Métodos modificando el metal
- Métodos por planificación electroquímica

8.1 Métodos modificando el medio

Son clásicos, dentro de estos métodos, los siguientes:

- la deshumidificación del aire
- la desaireación del agua
- la adición de inhibidores de corrosión

En un buen número de procesos de corrosión electroquímica se establece la intervención del agua (electrolito) y del oxígeno (reactivo catódico). La eliminación de uno u otro de estos elementos, necesarios para la corrosión, conlleva la supresión del proceso corrosivo.

Los inhibidores se utilizan principalmente en sistemas que utilizan un volumen constante de disolución del metal.

Se clasifican según su composición química en:

- Orgánicos
- Inorgánicos

Según su actuación:

- Anódicos
- Catódicos
- De adsorción

Según circunstancias de su aplicación:

- De decapado
- Para soluciones neutras
- En fase vapor

8.2 Métodos modificando el diseño

Hay factores que se pueden evitar con un diseño adecuado del equipo o estructura metálica.

Como normas básicas se debe evitar el contacto directo entre metales de muy distintas características electroquímicas.

8.3 Métodos por recubrimientos protectores

Hacen de barrera entre el metal y el agente corrosivo.

Se clasifican en:

- Orgánicos
- Inorgánicos
- Metálicos
- Por películas pasivas

Recubrimientos orgánicos

Pintura

Son los recubrimientos más utilizados. Protegen los metales de la corrosión atmosférica; para ello se deben limpiar las superficies metálicas y posteriormente aplicar la pintura en forma líquida endureciéndose hasta formar una película sólida y compacta. Para que además proporcionen una protección catódica se utilizan pinturas ricas en cinc. Pero para que la protección con pinturas sea completa se deben añadir sustancias capaces de inhibir la superficie del metal frente al medio ambiente.

Las principales características a tener en cuenta en las pinturas son:

- Resistencia a la intemperie o agentes corrosivos.
- Estabilidad de colorido.
- Adherencia a la superficie tratada.
- Rendimiento y fluidez.
- Terminado decorativo duradero y homogéneo.

Lacas

Son combinaciones insolubles, coloreadas y muy estables, que forman algunos materiales con ciertos óxidos metálicos. La mayoría contienen pigmentos que dotan al recubrimiento orgánico de las propiedades anticorrosivas necesarias.

Resinas

Son sustancias sólidas solubles en aceites y alcohol. Pueden arder en el aire. Se utilizan a menudo para revestir suelos e impermeabilizar techos.

Como tipos principales de resinas pueden distinguirse las resinas verdaderas, las gomoresinas, las oleoresinas, los bálsamos y las lactoresinas.

Recubrimientos inorgánicos

Son numerosos los recubrimientos de este tipo. Por ejemplo; los vitrificados o esmaltes vítreos, que son recubrimientos duros, compactos, adyacentes y con una alta resistencia química frente a un gran número de agentes corrosivos.

Se emplean especialmente para proteger tuberías enterradas en suelos corrosivos.

Recubrimientos metálicos

Este tipo de recubrimiento es importante, ya que permite la elección del metal que más adecuado sea a la superficie a proteger.

La protección mediante recubrimientos metálicos es muy frecuente en el caso de materiales de hierro y de acero; los demás metales de importancia técnica son ya, de por sí, lo bastante resistentes a la corrosión, por lo que se recubren sólo en casos muy especiales, o por razones distintas a la de mejorar su resistencia a la corrosión.

Recubrimiento por películas pasivas

Impiden el paso del oxígeno y la humedad, deteniendo así la corrosión del resto del metal. Forman una fina capa sobre el metal que protegen, siendo estos recubrimientos compuestos de dicho metal.

Muchos metales y aleaciones, como el aluminio, el cinc o los aceros inoxidable, basan su resistencia a la oxidación en la formación espontánea de capas protectoras de óxido. Otras veces, la capa se crea artificialmente; por ejemplo, el hierro se trata a veces, con ácido fosfórico para formar una capa protectora de fosfato y los aceros se recubren de cromatos.

8.4 Métodos modificando el metal

Cuando se añaden elementos a un metal base pueden variar las posibilidades de su empleo frente a determinadas situaciones.

En ocasiones puede ser conveniente cambiar completamente la composición del metal en vez de añadir elementos aleantes para conseguir mejores resultados, por ejemplo, la sustitución de una tubería de acero por otra de cobre.

8.5 Métodos por polarización electroquímica

Suelen ser económicos de ahí su gran utilización. Las técnicas más importantes son:

Protección anódica

Mantienen el metal que están protegiendo en condición anódica pero con la tensión suficiente para que sea posible la pasivación del metal, disminuyendo así su velocidad de corrosión. Se ha utilizado con éxito en recipientes de acero inoxidable para ácido sulfúrico.

Detección catódica

Con una fuente exterior de tensión hacen más electronegativo el metal que protegen, teniendo en cuenta que la corrosión electroquímica es sólo factible en las zonas anódicas, y que éstas quedan eliminadas de la superficie, favorecida por dicho sistema de protección. Se suele utilizar en tuberías enterradas.

[volver arriba](#)