corrosión,

UN FENOMENO DE INTEGRACION CIENTIFICA

Rubén Fuentealba
Profesor de la Facultad de Ciencia

En el contexto de la actividad humana, prevenir la corrosión es una de las tareas que abarca la conservación de los recursos naturales. Es indistinto si estos materiales son metálicos o no metálicos, las leyes físicas que controlan la degradación de los materiales son, más o menos, las mismas.

En alguna oportunidad de la vida, el ingeniero metalúrgico se encontrará enfrentado a un problema de corrosión y para lo cual, en la mayoría de los casos, no se encuentra preparado. Aquí surge la alternativa de esquivar el problema optando por la vía de reposición del material, o tratar de investigar las causas que lo originaron. Las naciones desarrolladas han optado por esta última alternativa, no sólo con el propósito de ahorrar en costos económicos, sino de tratar de evitar los problemas secundarios que acompañan a la corrosión y que, en casos extremos, puedan conducir a la pérdida de vidas humanas.

En cuanto al ahorro económico que significa poder resolver o minimizar los problemas de corrosión baste citar a Herbert Uhlig, que en su obra clásica "Corrosion Handbook", da la escalofriante cifra de US$ 5,5 billones al año por concepto de pérdidas por corrosión solamente en USA.

Si bien el mecanismo de ataque de la corrosión metálica es de naturaleza electroquímica, como en el caso de corrosión atmosférica, o netamente

química, como en el caso de materiales metálicos o cerámicos sometidos a altas temperaturas, no significa que solamente el ingeniero químico sea el más indicado para resolver el problema. La virtud reside en que este fenómeno requiere más bien del concurso de profesionales de las más variadas disciplinas, como ser, metalurgistas, ecólogos, médicos, arquitectos y físicos. Cuando el químico ha logrado establecer los mecanismos del ataque, corresponde ahora al metalurgista, el control del problema, es decir, evitar que continúe, o que desaparezca totalmente el daño, por ejemplo, sugiriendo la elección del material, mejorando la calidad de los existentes por medio de nuevas aleaciones o tratamientos térmicos adecuados, etc.

Los países desarrollados han hecho avances al respecto, ya sea por iniciativas locales o gubernamentales. Lamentablemente en nuestro país aún no existe gran interés en divulgar conocimientos al respecto. Salvo casos aislados de industrias que están obligadas a enfrentar el problema, el resto no le dedica la debida importancia. Lo mismo ocurre con las Universidades que no contemplan esta disciplina en sus programas de ingeniería.

Algunos mecanismos básicos.

Es bien conocido que la reacción de los metales con el oxígeno y/o el agua está acompañada por una disminución de la energía libre. Entonces cabría esperar que todos los metales en servicio tenderían a desaparecer como tales, sin embargo se sabe que con muchos materiales metálicos no ocurre así. Una primera explicación es que los productos de corrosión formados generan una película protectora que aisla al metal del medio agresivo. Ahora si los productos de corrosión formados son solubles en algún líquido presente, se observará una rápida destrucción del material.

La mayoría de los óxidos metálicos (a excepción de los metales alcalinos, alcalino-térreos y el talio) son poco solubles en agua. Se debería esperar entonces que los metales se mantengan inatacados en agua destilada. En general, el ataque en agua pura y poco oxígeno es bajo. Pero en ciertos casos un metal se solubiliza en el líquido como un óxido o hidróxido, siendo precipitado (como un hidróxido menos soluble) a una cierta distancia del metal, de manera que no se mantiene la capa protectora del primer óxido más soluble.

Un ejemplo lo constituye el hierro sumergido en agua destilada que se solubiliza en el líquido como hidróxido ferroso y es precipitado luego como óxido férrico hidratado (orín amarillo) a una cierta distancia de la superficie. Este tipo de óxido está formando solamente un contacto físico con el metal y no será buen protector. (figura 1).

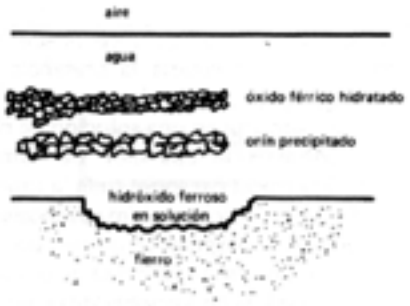

Fig. 1. **Oxidación del hierro en agua pura.**

Si la cantidad de oxígeno es suficiente para que el óxido férrico hidratado quede en contacto físico con el metal, entonces habrá una disminución del ataque.

El caso más general, en que también los productos de corrosión se precipitan a una cierta distancia del metal, lo constituyen el ataque electroquímico. En general, las reacciones químicas de corrosión son de naturaleza electroquímica, porque está involucrada una transferencia de carga eléctrica. Sin embargo, en el vocabulario de la corrosión se habla de corrosión electroquímica en aquellos casos donde sobre la superficie del metal aparecen zonas que se comportan anódicamente y otras que se comportan catódicamente. Cuando estas zonas anódicas y catódicas corresponden a dos metales distintos se habla de corrosión galvánica. Un ejemplo sería una pieza que consiste en una parte de fierro y otra parte de cobre sumergida en una solución de cloruro de sodio bajo aire. Una corriente pasa entre el fierro, que se comporta como ánodo, y el cobre, que es el cátodo. La magnitud de esta corriente quedaría determinada por la cantidad de oxígeno que está difundiendo hacia el cobre. Los productos de la reacción, el cloruro ferroso en el ánodo y el hidróxido de sodio en el cátodo, se juntarán en la interfase metálica para que el cloruro pase a hidróxido ferroso que, a su vez, consumirá más oxígeno para formar el óxido férrico hidratado. (figura 2)

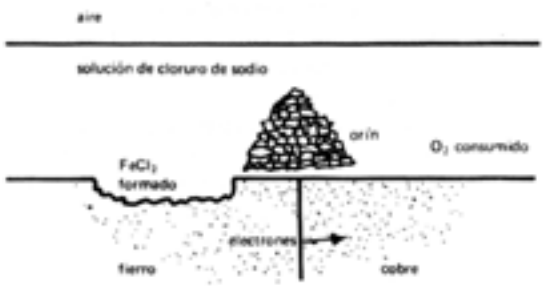

Fig. 2. **Corrosión galvánica del fierro en contacto con el cobre.**

Este mecanismo electroquímico puede ocurrir incluso sin que sea necesaria la presencia de un segundo metal. En el caso de un trozo de fierro sumergido parcialmente en una solución de cloruro de sodio se observa la aparición de numerosas zonas anódicas y catódicas sobre toda la superficie, debido a diferencias físicas y químicas locales en el metal. Sin embargo, después de un tiempo en que se ha consumido una cierta cantidad de oxígeno, la única zona que está en condiciones de reponerlo es la que queda en la línea de agua y por lo tanto las zonas catódicas del fondo dejarán de funcionar y se transformarán en zonas anódicas con disolución del metal. Ya que la corriente catódica debe ser igual a la corriente anódica, la parte cercana a la línea de agua será predominantemente catódica y el orín precipitará en el límite entre las dos zonas. (figura 3)

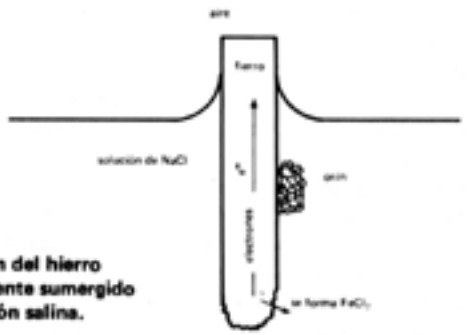

Fig. 3.
Corrosión del hierro parcialmente sumergido en solución salina.

En el ejemplo anterior, queda de manifiesto la inmensa influencia en la corrosión que tiene el oxígeno atmosférico disuelto en el medio corrosivo. En aquellas zonas con más acceso de oxígeno, se produce la reducción de éste para formar el anión OH^- y por lo tanto no hay ataque del metal. En las zonas donde el oxígeno es más escaso se produce la disolución del metal. Este fenómeno se conoce como el Principio de Aireación Diferencial y tiene gran influencia en el proceso corrosivo general. La eliminación del oxígeno por medio del desgasado del electrolito es un método eficaz para disminuir la corrosión, como en el caso de las calderas.

Sin embargo, el mecanismo de la corrosión, en algunos casos, todavía va más allá que los ejemplos citados anteriormente. En materiales nobles que se comportan satisfactoriamente frente al ataque atmosférico hay problemas por ataque localizado. Este último es altamente desastroso por cuanto no es detectable a simple vista como la corrosión homogénea. Se puede presentar bajo diferentes formas, dependiendo de las condiciones del material y del medio agresivo. Estas formas pueden ser: picaduras, ataque intergranular, corrosión bajo tensión que es la acción combinada de una tensión mecánica y un ataque químico que provocan la formación de fisuras que se propagan a través del material con gran velocidad.

Algunos materiales nobles como los aceros inoxidables, aleaciones de cobre, aluminio, se comportan bien frente a la corrosión atmosférica gracias a la película sobre su superficie y que, a pesar de su pequeño espesor, es muy impermeable al medio agresivo y está muy bien adherida al metal base. En estas condiciones se dice que un metal está pasivado. El material, sin embargo, queda expuesto a un potencial más positivo que su potencial termodinámico reversible, es decir, a un potencial mucho más agresivo en el sentido termodinámico. Si una pequeña parte de la película se dañara, esa zona experimentará corrosión a una velocidad muy alta, y que en algunos casos sólo va a poder disminuir debido a un fenómeno de transporte de masa, que corresponde a la velocidad de remoción del metal y que limitará la cinética del proceso total. La densidad de corriente es alta en estas pequeñas zonas descubiertas. En el resto del material, que permaneció pasivado e inatacado ocurre el proceso de reducción catódica con absorción de electrones. La pasividad de los metales, si bien es útil para prevenir un ataque generalizado, es ineficiente para prevenir el ataque localizado. El mecanismo, de aparición de la corrosión localizada no está aún bien claro y es objeto de numerosos estudios en la actualidad.

Al ingeniero de corrosión le corresponderá, una vez conocidos estos mecanismos básicos, evaluar su magnitud y proponer soluciones para su control. Se disponen de varias técnicas para conocer el mecanismo de acción del proceso corrosivo. Una de las más eficaces es la electroquímica que evalúa el valor de la corriente que atraviesa la interfase metal-electrolito a medida que se saca al metal de su equilibrio termodinámico, mediante la aplicación de un potencial. Estipulando que el proceso de corrosión obedece solamente a la transferencia de cargas eléctricas, se puede deducir una relación sencilla entre la corriente y el potencial, siempre que este último sea mayor que 100 mV con respecto al potencial termodinámico de equilibrio.

$$\eta = a + b \log i$$

en que η corresponde al sobrepotencial, es decir, la diferencia entre potencial aplicado y potencial de equilibrio; i es la densidad de corriente, que corresponde también a la velocidad con que ocurre el proceso sometido a un sobrepotencial; a y b son constantes empíricas características para cada material. De la ecuación se deduce que el parámetro "a" está relacionado con la velocidad en ausencia de sobrepotencial, eso es la verdadera velocidad de corrosión del proceso. De esta manera, si se grafica el sobrepotencial versus el

logaritmo de la densidad de corriente por extrapolación hasta $\eta = 0$ es posible determinar cuantitativamente la velocidad del proceso.
"b" representa entonces la pendiente de la recta de ese gráfico, y en ella están incluidos varios términos cinéticos, como el número de cargas en juego, la constante de Faraday, la temperatura, etc.

Frente a los métodos electroquímicos existen numerosas otras técnicas como ser: el método clásico de evaluación por pérdida de peso de una probeta sometida a un medio agresivo durante un tiempo prolongado, métodos de análisis espectrográficos como infrarrojo para determinar espesores de films, rayos X para conocer los componentes de la capa, microscopía metalográfica y electrónica para determinar el estado de la superficie.

Al ingeniero corrosionista le deberá interesar, sobre todo, poder hacer un control a la corrosión. Estos son numerosos y van, desde la simple aplicación de una pintura apropiada, hasta sofisticadas técnicas de protección catódica, pasando por una serie de métodos alternativos como tratamientos térmicos, uso de inhibidores químicos, selección de materiales, etc.

Debido a la complejidad del fenómeno, es que todavía no ha podido ser controlado totalmente. Los países de alta tecnología miden el avance económico en base al consumo de materiales metálicos, especialmente ferrosos. Es por esto que ellos dedican grandes esfuerzos en conocer las causas que lo provocan. A esto han contribuido prestigiosas instituciones científicas, entre las que es preciso señalar a la National Association of Corrosion Engineers (NACE) y la Electrochemical Society de U.S.A. En Japón y en la URSS existen organismos al más alto nivel que conceden importancia primordial al estudio de este problema. Japón lo hace a través del Ministerio de Comercio e Industrias, y la URSS a través de la Academia de Ciencias. Estas Instituciones, además de destinar considerables fondos para la investigación, editan revistas de excelente nivel científico, organizan decenas de congresos internacionales en el año, promueven el intercambio científico más allá de las diferencias culturales, tecnológicas y políticas.

Es por esto que la corrosión, a pesar de ser un problema latente, tiene la virtud de producir el acercamiento entre científicos de distintas nacionalidades y disciplinas, pero que están interesados en utilizar la tecnología como una manera de mejorar las condiciones de vida, pensando que los materiales y la técnica pertenecen a todos los hombres. Que no hay ideas las cuales alguien pueda apropiar para sí, sino que todo pertenece al acervo internacional del conocimiento.

SODIMAC

AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA

- Trat. Térmico Fono: 772422
- Aceros especiales Fono: 376349
- Aceros finos al carbono, aleados y planchas para usos especiales.
  CAP Y
  Röchling Burbach
- Departamento de Maquinarias
- Laboratorio Metalográfico

Local de Venta – Aceros especiales
Sazie 2450 – Fono: 90052 – 97186

OFICINAS GENERALES Y BODEGA

PANAMERICANA NORTE 3092
FONO 778506 – SANTIAGO.

MANGANESOS ATACAMA S. A.

FERRO MANGANESO STANDARD

74% – 76%

BIOXIDO DE MANGANESO

80% – 82%

AGUSTINAS 1022 – OF. 920
TELEFONOS 66069 – 67350