

## LA CORROSIÓN INDUCIDA POR CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Las aguas naturales son medios complejos, en evolución permanente, que se pueden considerar en una primera aproximación como disoluciones de diferentes especies químicas en agua. Las especies más abundantes son los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , etc., y iones como  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc., así como gases,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , etc. y a veces  $\text{H}_2\text{S}$ .

La agresividad de un agua depende de su capacidad para conducir la corriente eléctrica. Un agua poco conductora ocasionará que la actividad de las pilas de corrosión que se puedan formar en la misma sea pequeña, ya que el circuito eléctrico que se cierra a través de ella presente una resistencia eléctrica elevada. En el agua de mar; cuya conductividad es muy alta por la gran cantidad de iones presentes, la actividad de los procesos de corrosión es tan alta, que en lapsos muy cortos se pueden originar fenómenos muy graves.

Un agua dulce y una de mar constituyen casos extremos, y entre ambos existen una gran variedad de aguas cuya agresividad frente a los metales varía en función de su composición y factores como la concentración de oxígeno disuelto, pH, temperatura, concentración de **cloruros** y **sulfatos**, agitación y velocidad del medio, etcétera.

Las formas de corrosión pueden ser muy diversas. El problema es complejo porque los factores motivadores son muy variados. Entre los más importantes se encuentran las condiciones del flujo, la composición de los ductos y las características biológicas y fisicoquímicas del agua. Cabe señalar que la presencia en el agua de determinadas floras bacterianas (bacterias sulfato-reductoras y ferrobacterias) incide directamente en el aumento de la corrosión del sistema. Las características químicas del agua pueden favorecer más la presencia de esta flora bacteriana que acelerará el fenómeno.

En relación con las características fisicoquímicas del agua, cabe enumerar las siguientes: temperatura, pH, sales disueltas, oxígeno y bióxido de carbono disueltos, y prácticamente todos los cationes y aniones que intervienen en la composición mineralógica normal del agua: **cloruros**, bicarbonatos, carbonatos, **sulfatos**, sodio, calcio, magnesio, etcétera.

Las sales corrosivas más importantes son los **cloruros**, **Cl<sup>-</sup>**. Muchas aguas subterráneas contienen cloruros provenientes de procesos de contaminación (infiltración de aguas superficiales provenientes de actividades mineras, de tiraderos industriales y de fenómenos de intrusión marina, fundamentalmente), y las aguas superficiales están cada vez más contaminadas por deposiciones antropogénicas. Concentraciones de cloruros superiores a 100 mg/l en aguas de dureza mediana pueden causar problemas de corrosión, crecientes en forma exponencial, de tal manera que concentraciones de iones cloruro de 1 g/l provocan rápidamente la destrucción por corrosión de metales como el hierro y el acero inoxidable.

En cuanto a los **sulfatos**, en principio son poco corrosivos, aunque intervienen en el ciclo del azufre y en sistemas anóxicos pueden contribuir a la formación de ácido sulfhídrico,  $\text{H}_2\text{S}$  compuesto muy agresivo que provoca problemas de corrosión muy serios. **El poder corrosivo de los sulfatos,  $\text{SO}_4^{2-}$  aumenta al asociarse a los  $\text{Cl}^-$** , especialmente en aguas blandas, de baja alcalinidad y que no estén saturadas con  $\text{CaCO}_3$ . La presencia de  $\text{Ca}^{2+}$  en el agua, asociada al equilibrio calco-carbónico puede contribuir; en aguas incrustantes, a proteger el sistema frente a la corrosión.

El tradicional axioma de que un agua incrustante no es corrosiva debe manejarse con cuidado. La presencia de un agua estable o sobresaturada en relación al  $\text{CaCO}_3$ , aun cuando es una condición satisfactoria para la prevención de la corrosión, es un remedio que tiene muchas limitaciones.

En las aguas potables existen o pueden existir muchas especies químicas que afectan de muy distinto modo la corrosión de los metales. Así, mientras una cierta dureza cálcica y una alcalinidad suficiente favorecen la formación de una capa protectora de  $\text{CaCO}_3$ , la presencia de ciertas sales disueltas:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ , en concentraciones que sobrepasen un cierto umbral, puede cambiar radicalmente las características de dicha capa protectora, lo cual ocasiona un mayor ataque al metal base. Los iones agresivos interfieren en el depósito de la capa protectora, y es co



nocido el *efecto detrimental de los iones cloruro en la corrosión de los metales*.

## **CORROSIÓN BACTERIANA**

Desde hace mucho tiempo se conoce el papel que desempeñan las bacterias en los procesos de corrosión metálica. Los primeros trabajos en este campo se deben a Von Wolzogen-Kuhr, que en 1923 puso en evidencia el mecanismo electroquímico del ataque del hierro por los microorganismos sulforreductores.

Durante los procesos biológicos se forman numerosos productos. Hay productos finales de combustión:  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , por ejemplo; gases, como hidrógeno, nitrógeno y oxígeno; sustancias, como el amoníaco, agua oxigenada, azufre, etc. productos ácidos o alcalinos. Todos estos productos se acumulan en el medio, modificando de forma continua su composición.

Ciertas bacterias son capaces de efectuar su síntesis a partir del agua, del anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y de algunas sales minerales; éstas son las bacterias *autótrofas*. Se consideran como bacterias heterótrofas las especies incapaces de efectuar por sí mismas la síntesis de todos sus factores de crecimiento.

La corrosión microbiana puede definirse como *un proceso metabólico bacteriano que origina o acelera la destrucción de los metales*.

Los microorganismos influyen sobre los procesos de corrosión a través de mecanismos que les permiten adquirir la energía necesaria para las actividades vitales. Esta energía puede adquirirse a través de tres medios:

- a) Respiración aerobia, que consiste en la eliminación progresiva de hidrógeno de los sustratos orgánicos. El hidrógeno es oxidado por el oxígeno del aire.
- b) Respiración anaerobia, en la cual el sustrato orgánico es también oxidado por eliminación de hidrógeno, y éste reduce los compuestos inorgánicos.
- c) Fermentación, proceso anaerobio en el cual el sustrato orgánico no es completamente oxidado.

Al igual que la corrosión, los procesos metabólicos se basan en la transferencia de iones hidrógeno o de electrones. La actividad de los microorganismos corresponde a valores de pH del medio que son también muy favorables a la corrosión. Las bacterias más comunes se desarrollan a pH comprendidos entre 6 y 9, zonas favorables a la corrosión. Esto quiere decir que si en un medio donde hay bacterias —que existen en todas partes en la naturaleza— los aportes nutritivos de origen orgánico son suficientes, las bacterias entran rápidamente en actividad, multiplicándose y metabolizando diferentes sustancias. Estos procesos ocasionan, de forma automática, la disminución del potencial redox, originando las condiciones electroquímicas favorables a la corrosión. Si estas condiciones existían ya, por la naturaleza del medio, serán activadas, y si no existían serán el origen de la corrosión.

Los microorganismos no pueden desarrollarse más que en determinadas condiciones de pH. Para cada grupo microbiano existen pH límites y un pH óptimo. En general, los medios neutros convienen a las bacterias heterótrofas que pueblan los medios naturales. Los límites de crecimiento de estas bacterias oscilan entre los pH de 5.5 a 8.5 o 9. Ciertas especies, como el *Thiobacillus*, se cultivan a pH muy bajos, de entre 1.8 y 2.

La corrosión anaerobia se considera posible en valores de pH comprendidos entre 5.5 y 8.5.

Es importante señalar que si no existen las condiciones para que haya corrosión en un determinado medio, las bacterias pueden crearlas, a condición (para las heterótrofas) de que exista en el medio materia orgánica. Cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica contenida en un electrolito, mayores serán los gérmenes y mayor y más intensa la actividad bioquímica, y por lo tanto, la corrosión.