

# Corrosi3n

Ram3n Manuel Fern3ndez Domene | Rita S3nchez Tovar |  
Bianca Lucas Granados | Jos3 Garc3a Ant3n



$$= 2 \times \pi \times R \times \frac{V}{\pi R^2} + \pi R^2$$
$$R = \sqrt[3]{\frac{100}{3,14}} = 3,17$$
$$e (a+b)x + (4a)^3$$

Ramón Manuel Fernández Domene  
Rita Sánchez Tovar  
Bianca Lucas Granados  
José García Antón

# Corrosión

EDITORIAL  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Colección *Académica*

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: Fernández Domene, R. M.; Sánchez Tovar, R.; Lucas Granados, B. y García Antón, J. (2018). *Corrosión*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València

© Ramón Manuel Fernández Domene  
Rita Sánchez Tovar  
Bianca Lucas Granados  
José García Antón

© 2018, Editorial Universitat Politècnica de València  
*distribución:* [www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 0785\_04\_01\_01

Imprime: Byprint Percom, sl

ISBN: 978-84-9048-727-3  
Impreso bajo demanda

La Editorial UPV autoriza la reproducción, traducción y difusión parcial de la presente publicación con fines científicos, educativos y de investigación que no sean comerciales ni de lucro, siempre que se identifique y se reconozca debidamente a la Editorial UPV, la publicación y los autores. La autorización para reproducir, difundir o traducir el presente estudio, o compilar o crear obras derivadas del mismo en cualquier forma, con fines comerciales/lucrativos o sin ánimo de lucro, deberá solicitarse por escrito al correo [edicion@editorial.upv.es](mailto:edicion@editorial.upv.es)

Impreso en España

# ÍNDICE

<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	1
1.1. Fundamentos de la corrosión. Tipología.....	1
1.2. Los costes de la corrosión.....	3
1.3. Técnicas de protección frente a la corrosión .....	5
1.4. Corrosión electroquímica .....	6
1.5. Bibliografía.....	8
<b>Capítulo 2. Termodinámica de la corrosión</b> .....	9
2.1. Energía libre de Gibbs y potencial de celda .....	9
2.2. Potenciales de semirreacción y potenciales de reducción .....	11
2.3. Potencial de electrodo y concentración. Ecuación de Nernst .....	14
2.4. Electroodos de referencia .....	16
2.5. Reacciones catódicas en corrosión .....	18
2.6. Diagramas de Pourbaix.....	19
2.6.1. Diagrama de Pourbaix para el agua .....	19
2.6.2. Diagrama de Pourbaix para los metales.....	20
2.7. Bibliografía.....	23
<b>Capítulo 3. Aspectos cinéticos de la corrosión</b> .....	25
3.1. Leyes de Faraday y velocidad de corrosión.....	25
3.2. Factores que afectan a la velocidad de la reacción electródica.....	28
3.3. Modelo de Butler-Volmer para la cinética electroquímica. Polarización por activación .....	30
3.4. Teoría del potencial mixto.....	33
3.5. Polarización potenciodinámica. Determinación electroquímica de la velocidad de corrosión .....	37
3.6. Bibliografía.....	39

<b>Capítulo 4. Pasividad</b> .....	41
4.1. Aspectos generales.....	41
4.2. Termodinámica y cinética de la pasividad.....	43
4.3. Naturaleza de la película pasiva.....	44
4.4. Características de la curva de polarización anódica en materiales metálicos pasivables.....	46
4.5. Rotura local de la película pasiva .....	48
4.6. Corrosión por picadura .....	50
4.6.1. Aspectos fenomenológicos de la corrosión por picadura.....	51
4.6.2. Parámetros electroquímicos de la corrosión por picadura.....	53
4.6.3. Factores que afectan al potencial de picadura.....	55
4.6.4. Prevención de la corrosión por picadura .....	59
4.7. Bibliografía.....	60
<b>Capítulo 5. Celdas de corrosión</b> .....	61
5.1. Celdas galvánicas.....	62
5.2. Celdas de concentración .....	65
5.3. Celdas de temperatura o celdas termogalvánicas.....	66
5.4. Celdas de película superficial .....	67
5.5. Celdas de corrosión complejas .....	67
5.6. Bibliografía.....	68
<b>Capítulo 6. Técnicas de protección frente a la corrosión</b> .....	69
6.1. Introducción.....	69
6.2. Protección anódica: fenómenos de pasividad .....	70
6.3. Protección catódica: corriente impuesta .....	71
6.4. Protección catódica: ánodo de sacrificio.....	71
6.5. Protección con inhibidores.....	73

6.6. Protección con revestimiento.....	75
6.6.1. Recubrimientos orgánicos.....	75
6.6.2. Recubrimientos inorgánicos .....	75
6.6.3. Recubrimientos metálicos.....	75
6.7. Bibliografía.....	77
<b>Capítulo 7. Estrategias de diseño .....</b>	<b>79</b>
7.1. El ingeniero de corrosión.....	79
7.2. Diseño frente a la corrosión.....	80
7.2.1. Etapas del diseño frente a la corrosión .....	80
7.2.2. Causas de la corrosión relacionadas con el diseño .....	81
7.3. Bibliografía.....	86



# Capítulo 1

# Introducción

## 1.1. Fundamentos de la corrosión. Tipología

La corrosión puede definirse como una reacción irreversible de un material con su medio ambiente, que normalmente (aunque no siempre) trae asociado una degradación del material o de sus propiedades. Esta definición tan general de corrosión incluye las reacciones de una gama de materiales muy amplia. Sin embargo, el foco de la mayor parte de los estudios sobre corrosión son los metales. La corrosión en los metales puede darse de muchas formas diferentes que son importantes de entender, ya que los mejores métodos de prevención de la corrosión dependen de la forma de corrosión.

Según el *mecanismo de corrosión*, ésta puede ser corrosión química o seca, o corrosión electroquímica o húmeda:

- a) La corrosión química (oxidación directa o corrosión seca) consiste en la oxidación de metales a alta temperatura en atmósferas gaseosas, formándose una película sólida de productos de reacción sobre la superficie metálica. Se trata de un tipo de corrosión que se produce en ausencia de electrolito, con lo que la circulación de electrones e iones se produce a través de la capa de productos de reacción, y tiene relevancia cuando el material metálico trabaja a temperaturas elevadas. El ataque que se genera en este tipo de corrosión es un ataque generalizado.



- b) La corrosión electroquímica (o corrosión húmeda) se debe a la actuación de pilas electroquímicas, en las que el metal sufre disolución en las regiones anódicas, que es donde se produce su oxidación. A diferencia de la corrosión seca, la corrosión electroquímica se da en presencia de un electrolito y a temperaturas moderadas, ya que el electrolito es un líquido. En este caso, la corrosión se localiza sobre las regiones anódicas del metal, ya que las regiones catódicas están protegidas, pues son los lugares en donde se produce la reacción de reducción del medio. Como se trata de un circuito electroquímico, los electrones circulan a través del metal, desde el ánodo hasta el cátodo. El circuito se cierra a través del electrolito, debido a la circulación de los iones.

Según la morfología del ataque, la corrosión puede ser:

- Corrosión uniforme, homogénea o generalizada. Se ataca toda la superficie por igual y se pierde superficie por igual.
- Corrosión por picadura (pitting). Es una forma localizada de ataque corrosivo. Se caracteriza por la formación de agujeros o picaduras en la superficie del metal. Es muy peligrosa, ya que suele ser difícil de detectar. Se trata de un tipo de corrosión que se produce en medios que contienen iones agresivos, como por ejemplo los haluros.
- Corrosión galvánica. Se da cuando dos o más metales diferentes se ponen en contacto eléctrico en el mismo electrolito. Aparece una diferencia de potencial (fuerza impulsora) que ocasiona un flujo de corriente. El metal con un potencial de corrosión más positivo (más “noble”) se polariza catódicamente, reduciendo o incluso suprimiendo su velocidad de corrosión, mientras que el miembro más negativo (más “activo”) se polariza anódicamente, incrementando su velocidad de corrosión.
- Corrosión por aireación diferencial. Tiene lugar cuando una pieza metálica se encuentra sometida a una diferencia de concentración de oxígeno (grados de oxigenación o aireación diferentes), debido, por ejemplo, al hecho de estar semienterrada. La parte menos oxigenada actuará como ánodo, y la más oxigenada como cátodo, generándose un flujo electrónico unidireccional provocado por la diferencia de potencial electroquímico existente entre la zona anódica y la zona catódica, con la consecuente corrosión en la zona anódica.
- Corrosión en resquicio (crevice). Se produce en juntas de metales (por ejemplo, una pieza metálica y un tornillo) debido a la existencia de una aireación diferencial.

- Corrosión intergranular. El ataque está relacionado con la segregación de un elemento específico o la formación de un compuesto en el borde de grano de una aleación. La corrosión tiene lugar a lo largo de los bordes de grano, en donde la concentración del elemento necesario para resistir la corrosión (Cr en aceros inoxidables) ha disminuido, que se convierten en zonas anódicas.
- Corrosión selectiva o desaleante. Es la eliminación preferencial de un elemento de una aleación sólida (e.g. descincificación de los latones, consistente en la eliminación selectiva de Zn, que está aleado con Cu).
- Corrosión-erosión. Es consecuencia de la acción conjunta de la corrosión y la erosión a la que el material metálico puede estar sometido si, por ejemplo, la velocidad de flujo del electrolito es demasiado rápida, o si el medio corrosivo contiene partículas sólidas capaces de erosionar la superficie del metal.
- Tribocorrosión. Es consecuencia de la acción conjunta de la corrosión y fenómenos de desgaste (por fricción, etc.). Es la forma de corrosión en los implantes metálicos en el cuerpo humano (prótesis, dientes, etc.).
- Corrosión bajo tensión (*stress corrosion cracking*). Se debe a la acción conjunta de la corrosión y tracciones mecánicas. Una estructura sometida a tensiones y expuesta a un medio corrosivo, puede iniciar grietas que crezcan a tensiones inferiores al límite elástico del material. En tales condiciones son frecuentes las roturas inesperadas y catastróficas tras un crecimiento estable (e imperceptible) de las grietas.

## 1.2. Los costes de la corrosión

Los costes asociados a la corrosión de los metales se pueden considerar desde dos puntos de vista: el coste que tiene sobre las naciones la corrosión propiamente dicha, y el coste de las medidas y técnicas de prevención empleadas para evitarla. A partir de la segunda mitad del siglo XX se realizaron numerosos estudios sobre el impacto económico que tenía la corrosión en varios países, llegando en todos ellos a la conclusión de que los costes asociados a la corrosión eran muy elevados, suponiendo incluso más del 3-5% del Producto Interior Bruto (PIB).

En un estudio reciente (Koch et al., 2016), elaborado por la National Association of Corrosion Engineers (NACE) de los EE.UU, se estima que el coste mundial de la corrosión es de unos 2.5 billones ( $2.1 \cdot 10^{12}$ ) de dólares, lo que equivale (de forma muy aproximada) a un 3.4% del PIB mundial. En dicho estudio se determina también el ahorro que se lograría si se emplearan buenas prácticas para implementar técnicas efectivas de prevención y protección frente a la corrosión: entre 375-875 mil millones de dólares, lo que representa entre el 15% y el 35% de los costes totales asociados a la corrosión. Los autores de este estudio recalcan que *“tanto si es una tubería, un avión, una planta de tratamiento de aguas o el puente de una autovía, el control y la preven-*

*ción de la corrosión es esencial para evitar sucesos catastróficos antes de que sea demasiado tarde*". Desgraciadamente, en la inmensa mayoría de los casos, estos "sucesos catastróficos" han de suceder para concienciar sobre el peligro que entraña el fenómeno de la corrosión.

En la siguiente tabla se reflejan las principales conclusiones de dicho trabajo. En ella, se muestra el coste de la corrosión en una serie de regiones del mundo (calculado tanto en términos absolutos como en forma de porcentaje con respecto al PIB de dicha región) y su coste global.

**Tabla 1. 1. Coste de la corrosión (CC en miles de millones de dólares y como % del PIB) por regiones del mundo (datos de (Koch et al., 2016).**

<b>Regiones económicas<sup>1</sup></b>	<b>CC total (miles de millones de \$)</b>	<b>CC (% PIB)</b>
<b>EE.UU</b>	<b>451.3</b>	<b>2.7</b>
<b>India</b>	<b>70.3</b>	<b>4.2</b>
<b>Región europea</b>	<b>701.5</b>	<b>3.8</b>
<b>Mundo árabe</b>	<b>140.1</b>	<b>5.0</b>
<b>China</b>	<b>394.9</b>	<b>4.2</b>
<b>Rusia</b>	<b>84.5</b>	<b>4.0</b>
<b>Japón</b>	<b>51.6</b>	<b>1.0</b>
<b>Cuatro "tigres" asiáticos</b>	<b>58.6</b>	<b>2.5</b>
<b>Resto del mundo</b>	<b>552.5</b>	<b>3.4</b>
<b>GLOBAL</b>	<b>2505.4</b>	<b>3.4</b>

Sin embargo, más allá de los costes directos de la corrosión están los costes indirectos, relacionados con la pérdida de eficiencia y productividad, y los problemas de seguridad y salud asociados a la corrosión. Con frecuencia, estos costes indirectos se ignoran, ya que tan sólo los costes directos tienen efectos inmediatos sobre el propietario, a pesar de que los costes indirectos pueden llegar a igualar a los costes directos. En ciertas industrias, como las industrias agroalimentarias o farmacéuticas, la presencia de trazas

---

<sup>1</sup> Ver la referencia del estudio para más detalles sobre las regiones económicas empleadas ((Koch et al., 2016).

**Para seguir leyendo haga click aquí**