

Corrosión de acero inoxidable por agua de mar en presencia de bacterias. Estudio preliminar

González Lamas, Z.*; Santana Hernandez, F. J.*; González González, J. E.*; González Lama, Z.**

* Departamento de Ingeniería de Procesos. Edificio CAFMA. U.L.P.G.C.

** Microbiología. Facultad de Veterinaria. U.L.P.G.C.

RESUMEN: hemos estudiado la corrosión de acero inoxidable (SS 304) en agua de mar sola y con presencia de bacterias (*Bacillus cereus*, *Vibrio alginolyticus* y *Listonella anguillarum*).

Habiendo observado que la presencia de microorganismos aumenta el proceso de corrosión del metal.

SUMMARY: we have studied the corrosion of stainless steel (SS 304) in seawater alone and in the presence of bacteria (*Bacillus cereus*, *Vibrio alginolyticus* and *Listonella anguillarum*). We have found that presence of microorganisms increase the metal corrosion.

Palabras Clave: Corrosión, Acero inoxidable (SS 304), Bacterias marinas.

Key Words: Corrosion, Stainless steel (SS 304), Marine bacteria.

Introducción

Podemos definir MIC como la pérdida de propiedades físico-químicas de una aleación metálica como resultado de actividades microbianas. Por supuesto, esto no excluye los problemas generados de intentar quitar las biopelículas de sus superficies. Así las bacterias que oxidan el manganeso cuyos depósitos constituidos por biopelículas incrustadas en el acero inoxidable no pueden ser quitadas por tratamiento con hipoclorito, pues la mezcla de Mn^{2+} - Mn^{4+} se oxidaría a permanganato (Mn^{7+}), un agente que es químicamente corrosivo. La forma de corrosión difiere considerablemente entre las aleaciones como en el caso de la corrosión química (1, 2, 3).

La corrosión se inicia en una zona localizada delimitada por un defecto en la superficie o algo inusual en el ambiente inmediatamente adyacente a la superficie del metal. Al oxidarse el metal, los aniones tales como cloruro y sulfato migran a la zona de corrosión para contrarrestar la pérdida de carga. El ambiente local, fuertemente se reduce, y el pH cae fácilmente a 1.0. La disolución del acero en un ambien-

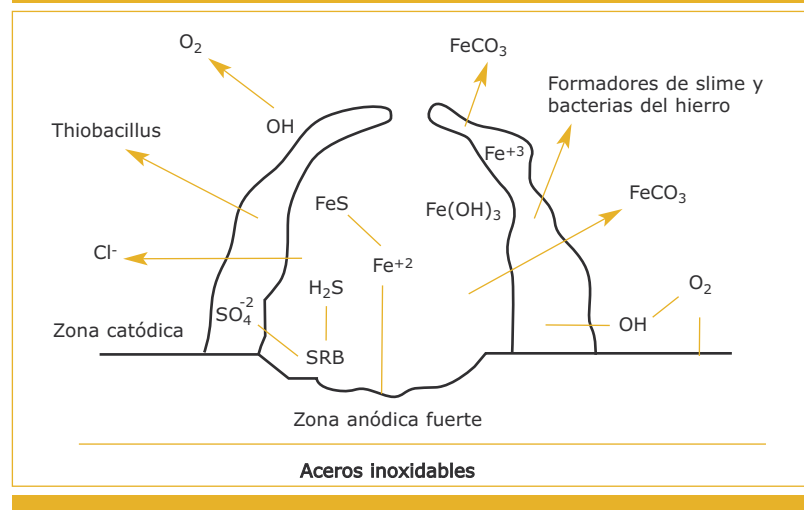
te ácido es seguida por una difusión radial de iones ferrosos a pequeña distancia del lugar de la corrosión donde el pH y Eh son relativamente altos y la precipitación oxido-hidróxido férrico es termodinámicamente favorable. Esta rápida acumulación de productos de corrosión es eventualmente conocida como tubérculo, situada encima y alrededor del desarrollo de una picadura (4, 5, 6).

La acción de las bacterias sobre los aceros inoxidables se presenta en Figura 1. En ella se observa que debido

a la formación de una zona anódica fuerte, se produce la liberación de Fe^{2+} que es utilizado por las ferrobacterias (Ej. *Gallionella*) en su metabolismo con producción de forma hidratadas como hidróxido férrico, en forma de secreción de consistencia mucilaginoso; además puede combinarse con el SH_2 formado por la acción de las bacterias sulfato reductoras (Ej. *Desulfovibrio*) originándose FeS .

Por otro lado las sulfobacterias (Ej. *Thiobacillus*) oxidan los compuestos de azufre y depositan el azufre

Figura 1. Acción de las bacterias sobre los aceros inoxidables.



en la zona anódica y en consecuencia un mayor ataque del metal y la formación de corrosión en forma de picadura (7, 8, 9, 10).

Material y Métodos

Hemos empleado tres variedades de bacterias aeróbicas o anaeróbicas facultativas: *Bacillus cereus* (Gram + aerobios y anaerobios facultativos), *Vibrio alginolyticus* (Gram - y anaerobios facultativos) y *Listonella anguillarum* (Gram - y anaerobios facultativos). Para llevar a cabo los estudios electroquímicos se utilizaron los siguientes equipos material: celda electroquímica, electrodo de calomelanos saturado (SCE) como electrodo de referencia, electrodo de platino como contraelectrodo, electrodos de trabajo (varillas de acero inoxidable 304), potenciostato/galvanostato, amplificador Lock-in, soporte informático y equipo diverso para los cultivos bacterianos y electrolito.

Las técnicas electroquímicas empleadas para los estudios ha sido: potencial de corrosión (E_{corr}), resistencia de polarización (R_p) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) (11).

Resultados y discusiones

A partir de varillas de acero inoxidable 304, embutidos en resina y sumergidos en caldo marino esterilizado, se llevaron a cabo los siguientes experimentos:

- a) Sin bacterias.
- b) Con *Bacillus cereus*.
- c) Con *Vibrio alginolyticus*.
- d) Con *Listonella anguillarum*.

Una vez caracterizado el potencial de corrosión (E_{corr}) del SS 304 en el electrolito a estudio, se sometió el electrodo a los diferentes ensayos en ausencia y en presencia de los organismos a estudio y se han obtenido los E_{corr} y Recuentos bacterianos que se muestran en figura 2 y 3 respectivamente.

Con respecto al potencial de corrosión (E_{corr}), se observa un cambio significativo en ausencia y en presencia de bacterias, mostrándose mayor tendencia a la corrosión en presencia de los diferentes microorganismos ensayados. En lo que respecta al recuento bacteriano, éstos alcanzan un máximo entre los 9 y 14 días de inmersión.

El análisis de los espectros de impedancia se ha hecho ajustando los datos con el programa circuito equi-

valente “Zsimpwin” (12). El número de constantes de tiempo necesarios para una descripción completa de los espectros fue basado en las condiciones de un ajuste con una desviación sistemática mínima entre los datos medidos y los resultados del ajuste. El circuito empleado para la modelación de los espectros de impedancia del acero inoxidable 304 se muestra en la figura 4.

En los diagramas Nyquist (figura 5), obtenidos por espectroscopia de

Figura 2. Evolución del potencial de corrosión (E_{corr}) en ausencia y presencia de bacterias.

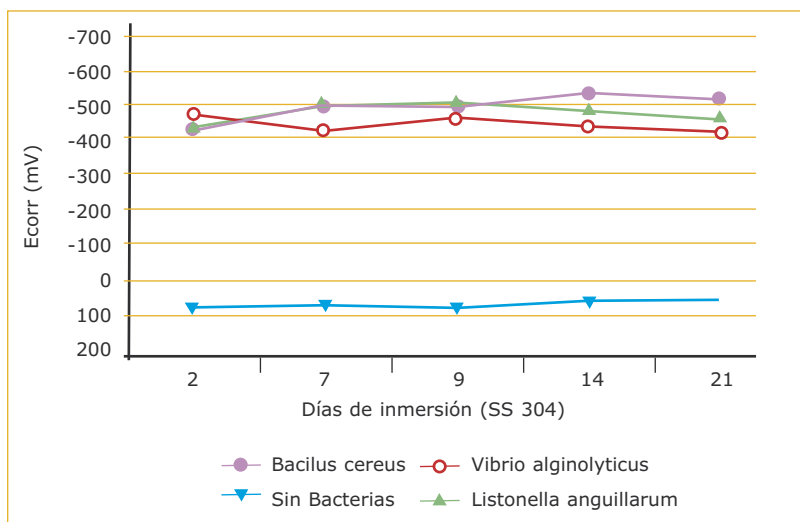
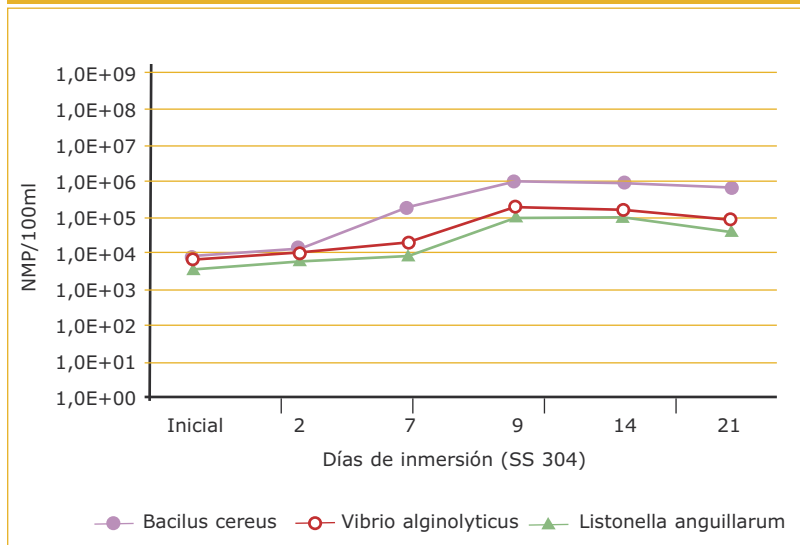


Figura 3. Evolución del recuento bacteriano durante los 21 días de estudio.



impedancia electroquímica (EIS), se muestra que en ausencia de bacterias un círculo capacitivo al cabo de 21 días de inmersión, mientras que en presencia de bacterias los diagramas exhiben impedancias similares en comportamiento a lo largo del tiempo de inmersión, pero con un significativo cambio de aumento de impedancia frente a la ausencia de bacterias lo que indica un aumento de la resistencia de la capa de óxido con materia orgánica.

El análisis de la resistencia de polarización en presencia y ausencia de bacterias se muestra en la figura 6. Se observa que en presencia de bacterias la resistencia de polarización es más baja que para el caso de sin bacterias. Esto demuestra, que la presencia de bacterias, si bien provoca aumentos de impedancia, los cambios de superficie metálicas por polarización muestran menor protección al fenómeno de corrosión y por lo tanto, la presencia de material orgánico en superficie metálica altera el comportamiento del metal frente al fenómeno de corrosión.

Conclusiones

Para el caso de los aceros inoxidables, éstos tienen un buen comportamiento frente al fenómeno de la corrosión, pero la presencia de microorganismos genera procesos de depolarización que induce a alteraciones de superficie metálica que en consecuencia alteran el comportamiento frente a la corrosión en disoluciones acuosas.

La presencia de bacterias generadoras de limo (*Bacillus cereus*), al ser de naturaleza polisacárida juega un papel importante en la adherencia de las bacterias a las células y superficie mucosal, y por lo tanto, el causante principal de la inducción a la corrosión microbiológica (MIC).

Mientras se forma la capa de productos de corrosión, disminuye la resistencia de polarización del metal, pero una vez formada ésta actúa como capa pasiva gruesa que impide

Figura 4. Circuito equivalente que mejor se ajusta a los diagramas de impedancia.

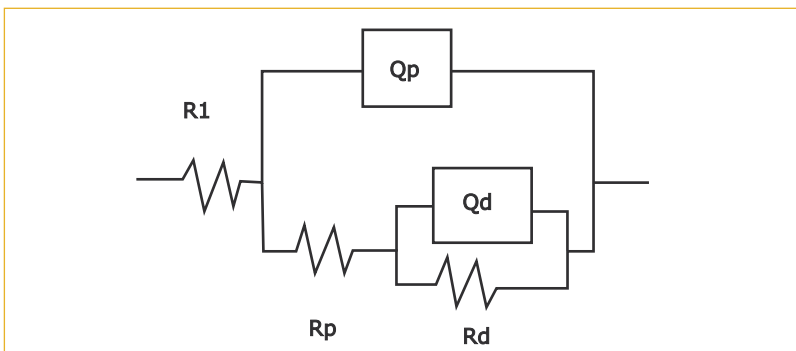


Figura 5. Diagramas Nyquist obtenidos a los 21 días de inmersión en ausencia y presencia de bacterias.

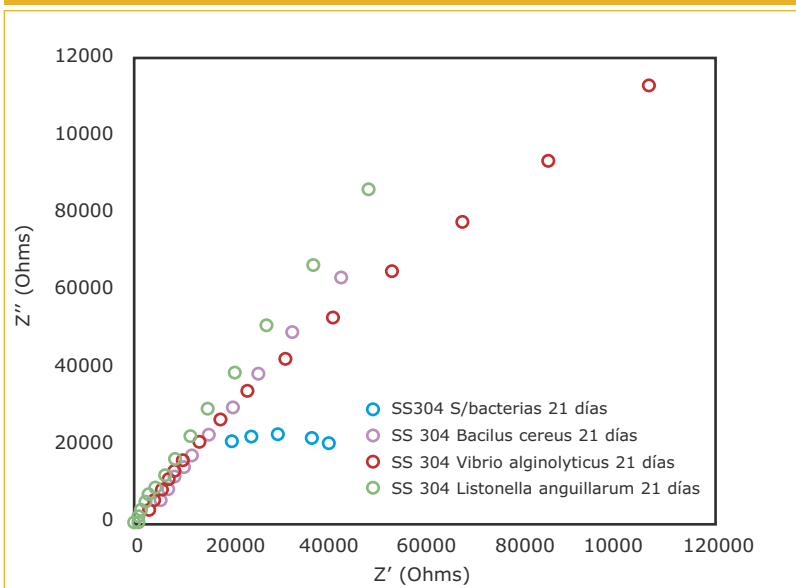
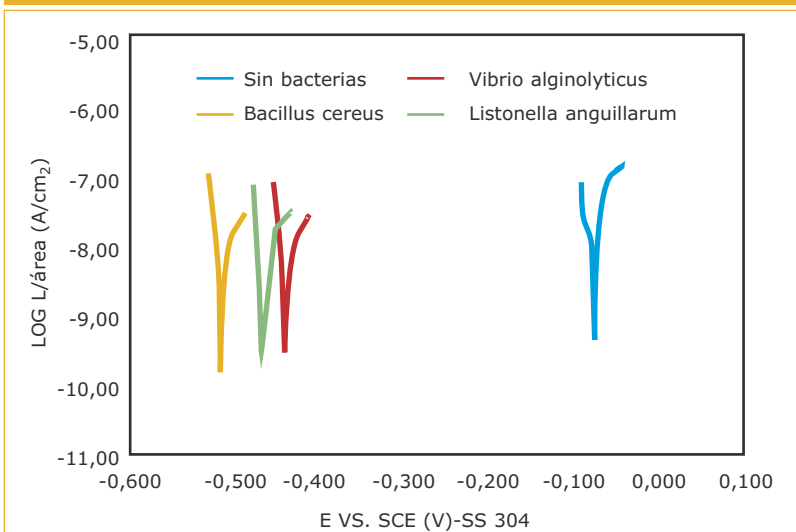


Figura 6. Resistencia de polarización (Rp) obtenidos a los 21 días de inmersión en ausencia y presencia de bacterias.



el acceso a los agentes agresivos, así como la difusión de las especies a través de ella. Cuando se someten los metales a potenciales crecientes toda vez que han sufrido bioensuciamiento, tiene lugar la inducción a la corrosión (MIC) y en consecuencia cambios en el comportamiento frente a la corrosión.

Bibliografía

1. Santana Hernández, F. J. (1998) Corrosión Microbiológica sobre varios metales de interés industrial tales como: Cobre, Acero 304, Acero 316 y Acero 2205. Tesis doctoral. ULPGC.
2. Bano, A. S.; Quazi, J. L. (2010) Shielding for microbiologically influenced corrosion of mild steel by antagonistic bacterial culture fluids. *Pakistan Journal of zoology*. 42, 489-493.
3. Bolton, N.; Critchley, M.; Fabien, R.; Cromar, N.; Fallowfield, H. (2010) Microbially influenced corrosion of galvanized steel pipes in aerobic water systems. *J. Applied Microbiol.* 109, 239-247.
4. Li, X.; Wang, J.; Liu, X.; Wang, W.; Yan, L. (2004) Monitoring microbial attachment in seawater. *Engineering in Life Sciences*. 4, 358-362.
5. Percival, S. L.; Knapp, J. S.; Edyvean, R.; Wales, D. S. (1998) Biofilm development on stainless steel in mains water. *Water Research*. 32, 243-253.
6. Cheng, S.; Lau, K. T.; Chen, S.; Chang, X.; Liu, T.; Yin, Y. (2010). Microscopical observation of the marine bacterium *Vibrio natriegens* growth on metallic corrosion. *Materials and Manufacturing Processes*. 25, 293-297.
7. Miyano, Y.; Ohmori, A.; Kikuchi, Y. (2006). Micro etching process of metals using microbial metabolic reaction (III)- Application of microbiologically influenced corrosion of stainless steel welds to material processing. *Tetsu to Steel Institute of Japan*. 92, 55-62.
8. Borenstein, S. (1994) *Microbiologically Influenced Corrosion Handbook*. Woodhead Publishing Ltd. Cambridge.
9. Mollica, A.; Ventura, G.; Traverso, E. (1989). On the mechanism of corrosion induced by biofilm growth on the active-passive alloys in seawater.
10. Hernandez-Duque, G.; Pedersen, A.; Thierry, D.; Hermansson, M.; Kucera, V. (1990) Bacterial effects on corrosion of steel in sea water.
11. González Fernández, J.A. (1989) Control de la corrosión. Estudio y medida por técnicas electroquímicas. C.S.I.C. Madrid.
12. Boukamp, B. A. (1988-89) Equivalent circuit. User Manual. Un. Twente, Enchede.