



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4

RECUBRIMIENTO DE CARBURO DE SILICIO (SIC) EN ACERO AL CARBÓN PARA MITIGAR LA CORROSIÓN DE GENERADORES EN TRANSFORMADORES DE CALOR

SILICON CARBIDE (SIC) COATING ON CARBON STEEL TO MITIGATE CORROSION IN HEAT EXCHANGER GENERATORS

David Juárez Romero

Centro de Investigación en Ingeniería Y Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Hernández Soria Ángel Horacio

Centro de Investigación en Ingeniería Y Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Ricardo Reyes Hernández

Centro de Investigación en Ingeniería Y Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Sandro Guadalupe Pérez Grajales

Centro de Investigación en Ingeniería Y Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Hernández Soria Ángel Horacio

Centro de Investigación en Ingeniería Y Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Recubrimiento de carburo de silicio (SiC) en acero al carbón para mitigar la corrosión de generadores en transformadores de calor

David Juárez Romero¹

djuarezr7@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0942-9738>

Centro de Investigación en Ingeniería Y
Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Hernández Soria Ángel Horacio

angel.hernandez@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0126-0336>

Centro de Investigación en Ingeniería Y
Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Ricardo Reyes Hernández

ricardo.reyes@uaem.mx

<https://orcid.org/0009-0000-7474-5126>

Centro de Investigación en Ingeniería Y
Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Sandro Guadalupe Pérez Grajales

sandro.perez@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7976-8623>

Centro de Investigación en Ingeniería Y
Ciencias Aplicadas (CIICAp)

Rene Guardian Tapia

rene.guardian@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8175-5664>

Centro de Investigación en Ingeniería Y
Ciencias Aplicadas (CIICAp)

RESUMEN

A nivel mundial los costos de la corrosión son de aproximadamente 2.5 billones de dólares anuales, aproximadamente el 3.4% del PIB mundial. La Corrosión afecta al ambiente, la productividad, la vida útil y de operación de los equipos, etc., en diferentes sectores la economía. En el Sector energético, se reportan fallas en los Generadores de Transformadores de Calor debidas a corrosión (picaduras en materiales, grietas, fugas de gases y/o líquidos). Estos equipos requieren un sellado eficaz debido a que trabajan con vacío y a veces con sustancias que pueden reaccionar. En este trabajo se propone el SiC como recubrimiento del acero al carbono para mitigar la Corrosión en Generadores, debido a su alta conductividad térmica y a su alta resistencia a la corrosión. La microestructura del acero se analizó con un microscopio electrónico de barrido (SEM) y su composición química mediante un equipo de Difracción de rayos X. El material se caracterizará en su comportamiento a la corrosión y su comportamiento mecánico.

Palabras Clave: Recubrimiento de Carburo de Silicio, Corrosión, Conductividad Térmica, Acero al Carbón.

¹ Autor principal

Correspondencia: djuarezr7@gmail.com

Silicon carbide (SiC) coating on carbon steel to mitigate corrosion in heat exchanger generators

ABSTRACT

Globally, corrosion costs are approximately \$2.5 trillion annually, roughly 3.4% of global GDP. Corrosion affects the environment, productivity, equipment lifespan and operational efficiency, and other factors across various economic sectors. In the energy sector, failures in heat transformer generators due to corrosion (pitting, cracks, and gas and/or liquid leaks) are frequently reported. This equipment requires effective sealing because it operates under vacuum and sometimes with substances that can react. This paper proposes SiC as a coating for carbon steel to mitigate corrosion in generators, due to its high thermal conductivity and high corrosion resistance.

Keywords: Silicon Carbide Coating, Corrosion, Thermal Conductivity, Carbon Steel.

*Artículo recibido 20 mayo 2026
Aceptado para publicación: 20 junio 2026*



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los costos debidos a corrosión son muy altos, se entiende por Corrosión la degradación de los materiales, en los aceros de Generadores de calor los problemas por corrosión se presentan en diferentes tipos, Generalizada (una capa uniforme de productos de corrosión en un área de un material), Localizada (Picaduras en el acero), Galvánica (debido a la formación de una pila por el uso de dos o más materiales diferentes, donde uno actúa como ánodo), por Hendidura (en uniones como las juntas, por estancamiento de líquidos), bajo tensión o bajo esfuerzo (debida a la concentración de esfuerzos por altas velocidades del fluido o por flujos cruzados), etc.

El LiBr es un absorbente muy utilizado en los Transformadores por sus propiedades termo-físicas como lo es su alta entalpía de disolución $\Delta H_s = -49 \text{ KJ/mol}$ (1), sin embargo, el LiBr es un medio muy corrosivo para los metales (2). Sarmiento menciona que el LiBr/H₂O presenta altas velocidades de corrosión a altas temperaturas y tendencia a cristalizar a altas concentraciones de LiBr (3).

Los Generadores de Transformadores generalmente con el tiempo de trabajo llegan a presentar Fouling en tubos, grietas debidas a esfuerzos (que ocasionan fugas de los fluidos de trabajo), picaduras en el fondo de la carcasa y Tribocorrosion en la parte superior de la misma (material carcomido debido a choques del fluido contra el material, ocasionando un rozamiento continuo del flujo y el acero).

Una de las soluciones para mitigar los problemas de corrosión es la adecuada selección del material de construcción.

Se han utilizado varios materiales en la fabricación de Generadores, Aluminio, Cobre, Bronce, Aceros Inoxidables (304, 316L), Aleaciones Ni-Cu, Acero al Carbón, Titanio, etc., en todos ellos se ha encontrado corrosión en el transcurso del tiempo. Para proteger los materiales se han utilizado inhibidores contra la corrosión aplicados en los aceros, algunas veces inhibidores en las soluciones de trabajo; sin embargo, para el trabajo que desarrollan los Generadores, se requieren materiales de construcción con una alta conductividad térmica, el uso de inhibidores en las soluciones de trabajo y aplicadas sobre el material de trabajo, pueden llegar a reducir la conductividad térmica del acero y por lo tanto la eficiencia del proceso.

El material que proponemos en este trabajo es acero al carbón con un recubrimiento de Carburo de Silicio debido a la alta Conductividad Térmica del SiC, entre 120 y 270 W/mK para altos grados de



pureza y a sus propiedades de protección contra la corrosión. La conductividad térmica de los aceros inoxidables es aproximadamente de 15 W/mK y la del acero al carbón de 43 a 60 W/mK).

El acero al Carbón es una aleación de Hierro y Carbono (entre 0.02 % y 2 %) cuyas características son: gran resistencia, dureza, tenacidad, maleabilidad, ductilidad; es utilizado en la industria actual en diferentes aplicaciones. Tiene buenas propiedades mecánicas y de soldabilidad.

Debido a su bajo costo y a sus propiedades el acero al Carbón es uno de los materiales más valorados en la industria, además son fáciles de fabricar (4).

El Carburo de Silicio tiene una alta resistencia a altas Temperaturas, soporta temperaturas extremas, alta resistencia a la corrosión y a ataque químico.

METODOLOGÍA

Se desarrollará un acero al carbón con alta resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica, esto se logrará haciendo una deposición de Carburo de Silicio en la superficie del acero por el método de ablación por láser. Se cortarán 20 muestras de acero al carbono, a 10 se les depositará SiC sobre su superficie. A las 10 muestras que no se les depositó SiC se lijarán y se pulirán a espejo, 3 de esas muestras y 3 con recubrimiento de SiC se caracterizarán en su composición y microestructura mediante difracción de Rayos X (XRD) y Microscopio electrónico de Barrido (SEM).

Se caracterizarán tanto el acero al carbono de llegada como el acero al carbono con el recubrimiento de SiC en su comportamiento a la corrosión mediante las técnicas electroquímicas de polarización Potenciodinámica, Impedancia Electroquímica y Ruido Electroquímico, utilizando un Potenciostato Gill-Ac conectado a un computador y a mi celda de trabajo (antes, formaré esta celda con el acero (como electrodo de trabajo), mi electrolito y electrodos, de plata (como electrodo de referencia) de grafito (como electrodo auxiliar). También se llevará a cabo la caracterización mecánica de los aceros, prueba de dureza o microdureza con un Durómetro o Microdurometro, de Desgaste, de fatiga, y de tensión con una máquina de tensión.

Se realizará un Análisis de los resultados obtenidos.

En todo momento nos apoyaremos del método científico, Observación, Experimentación, Hipótesis, Resultados, Conclusión.



Resultados y Discusión

La elección de los materiales de construcción de un intercambiador para una función específica es fundamental. Para la elección de los materiales se deben tomar en cuenta los fluidos de trabajo tanto en la carcasa como en los tubos, las temperaturas, velocidades de flujo y Presiones de operación.

Utilizar un mismo acero tanto en carcasa como en tubos, evitara corrosión galvánica.



Figura 1. Carburo de Silicio



Figura 2. Acero al carbono

Generadores han presentado fallas generalmente en carcasa (picaduras y productos de corrosión), en los tubos (fouling, grietas), en juntas (corrosión por hendidura), corrosión galvánica, corrosión bajo esfuerzo, etc. Arteaga encontró formación de picaduras en acero al carbono en LiBr (5). Larios realizó pruebas de corrosión del acero al carbono en 5 diferentes electrolitos, resultando tener la mayor velocidad de corrosión el LiBr/H₂O (6). Arteaga, Larios y Cho encontraron en sus trabajos la formación de una capa pasiva (5,6,7).

Se debe tomar en cuenta los fluidos de trabajo en la selección de los materiales, un fluido puede resultar altamente agresivo para un acero, mientras que para otro no. Los Generadores de Transformadores trabajan con fluidos muy agresivos (corrosivos) como el LiBr, el LiCl, el LiI, LiNO₃; por eso es importante el trabajo que presentamos para la mejora continua de los materiales de manufactura. Existen materiales que tienen alta resistencia a los ácidos, pero se corroen rápidamente con los cloruros.



Figura 3. Bomba de Calor



Figura 4. Generador de Calor

Otro factor importante es el uso de inhibidores en los aceros y recubrimientos superficiales como las nitruraciones, recubrimientos con óxidos metálicos; los cuales pueden disminuir el coeficiente de conductividad térmica de los aceros que es el valor más importante para una alta eficiencia en los intercambiadores de calor.

Nosotros proponemos utilizar Acero al Carbono con recubrimiento de SiC como material de manufactura para intercambiadores de calor, por sus propiedades:



Figura 5. corrosión en carcasa



Figura 6. corrosión en tubos

- El Carburo de Silicio tiene conductividad térmica de 110 a 270 W/mK, aumenta la Conductividad térmica de los materiales utilizados.
- El Carburo de Silicio aumenta la resistencia a la corrosión de los aceros.

- El SiC es resistente al choque térmico.
- Resistencia al desgaste y estabilidad química
- Dureza alta
- Temperatura de Sublimación es de 2300 o C - 2500 o C. A una temperatura muy alta cambia de fase, tiene alta resistencia a las Temperaturas extremas.
- El Carburo de Silicio se compone por 70% de Si y 30% de C.
- Es un material cerámico.

CONCLUSIONES:

Esperamos que el acero al carbón con una película superficial de Carburo de Silicio aumente la eficiencia del proceso de intercambio de calor entre los fluidos de trabajo, así como la resistencia a la corrosión del acero, un material con una alta dureza, maleabilidad y ductilidad.

Declaraciones Agradecimientos: Los autores agradecen al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) de la UAEM.

Conflictos de intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

Financiamiento: Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiamiento en los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Soliz, A., & Cáceres, L. (2015). Corrosion behavior of carbon steel in LiBr in comparison to NaCl solutions under controlled hydrodynamic conditions. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(7), 5673-5693.
- (2) Hu, X. Q., Liang, C. H., & Wu, X. N. (2011). Corrosion behaviors of carbon steel in 55% LiBr solution containing PWVA inhibitor. *Materials and Corrosion*, 62(5), 444-448.
- (3) Samiento-Bustos, E., Rodriguez, J. G., Uruchurtu, J., Dominguez-Patiño, G., & Salinas-Bravo, V. M. (2008). Effect of inorganic inhibitors on the corrosion behavior of 1018 carbon steel in the LiBr+ ethylene glycol+ H₂O mixture. *Corrosion Science*, 50(8), 2296-2303.
- (4) Soliz, A., Mayrhofer, K. J., & Cáceres, L. (2018). Influence of hydrodynamic flow patterns on the corrosion behavior of carbon steel in a neutral LiBr solution. *International Journal of Electrochemical Science*, 13(11), 10050-10075.



- (5) Arteaga, C. C., Calderón, J. P., Sedano, C. C., & Rodríguez, J. A. (2012). Comparison of corrosion resistance of carbon steel and some stainless steels exposed to LiBr-H₂O solution at low temperatures. *International journal of electrochemical science*, 7(1), 445-470.
- (6) Larios-Galvez, A. K., Guardian-Tapia, R., Lopez-Sesenes, R., & Gonzalez-Rodriguez, J. G. (2022). Corrosion behaviour of 1018 carbon steel in LiBr-H₂O-CaCl₂-LiNO₃ mixtures. *International Journal of Electrochemical Science*, 17(1), 220131.
- (7) Cho, Y., Han, S., Seo, H., Shin, M., Woo, S., & Jeong, S. (2019). Corrosion and inhibition process of carbon steel in LiBr-H₂O solution. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(6), 2995-3000.

