

ANÁLISIS DEL USO DE REVESTIMIENTOS EFICIENTES PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS EN AMBIENTES CORROSIVOS

ANALYSIS OF THE USE OF EFFICIENT COATINGS FOR METALLIC STRUCTURES IN CORROSIVE ENVIRONMENTS

Angel Ivan Ordoñez Abril ^{1*}

¹ Estudiante de Tecnología, Carrera Tecnología Superior de Mecánica Industrial, Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4015-467X>. Correo: angelordonezabril@tsachila.edu.ec

Luis David Mantilla Delgado ²

² Estudiante de Tecnología, Carrera Tecnología Superior de Mecánica Industrial, Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2467-0673>. Correo: mantilladelgadoluis@tsachila.edu.ec

Kleber Javier Barba Barba ³

³ Profesor de Tecnología, Carrera Tecnología Superior de Mecánica Industrial, Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2068-1955>. Correo: kleberbarba@tsachila.edu.ec

Santiago Isaac Bustamante Sanchez ⁴

⁴ Profesor de Tecnología, Carrera Tecnología Superior de Mecánica Industrial, Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6273-4075>. Correo: santiagobustamante@tsachila.edu.ec

*** Autor para correspondencia:** angelordonezabril@tsachila.edu.ec

Resumen

Esta investigación analiza el uso de revestimientos eficientes en estructuras metálicas en ambientes corrosivos, con el objetivo de optimizar su protección y prolongar su vida útil. Se emplea un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativos (ensayos de laboratorio) y cualitativos (evaluación de propiedades y desafíos). La metodología incluye una revisión exhaustiva de literatura académica, como tesis, artículos científicos y normativas internacionales, para identificar tendencias y mejores prácticas en protección

anticorrosiva. Los principales hallazgos destacan que los revestimientos basados en resinas epóxicas, poliuretanos y sistemas multicapa (con capas ricas en zinc, intermedias epóxicas y acabados de poliuretano) ofrecen un desempeño superior. Estos sistemas presentan alta resistencia a la corrosión, durabilidad en condiciones agresivas y excelente adherencia a superficies metálicas, incluso en entornos con humedad y químicos. Se concluye que la elección del revestimiento debe alinearse con las condiciones operativas y las propiedades del sustrato, subrayando la importancia de un enfoque integral en su selección y aplicación. Este estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones industriales.

Palabras clave: revestimientos; corrosión; pinturas; resina; protección

Abstract

This research examines the use of efficient coatings on metal structures in corrosive environments, aiming to optimize their protection and extend their service life. A mixed approach is employed, combining quantitative analyses (laboratory tests) and qualitative assessments (evaluation of properties and challenges). The methodology includes a comprehensive review of academic literature, such as theses, scientific articles, and international standards, to identify trends and best practices in anti-corrosion protection. The main findings highlight that coatings based on epoxy resins, polyurethanes, and multilayer systems (with zinc-rich layers, intermediate epoxy layers, and polyurethane finishes) offer superior performance. These systems exhibit high corrosion resistance, durability in harsh conditions, and excellent adhesion to metal surfaces, even in environments with moisture and chemicals. It is concluded that the choice of coating should align with operational conditions and substrate properties, emphasizing the importance of a comprehensive approach in their selection and application. This study provides a solid foundation for future research and industrial applications.

Keywords: coatings; corrosion; paints; resin; protection

Fecha de recibido: 04/02/2025

Fecha de aceptado: 26/03/2025

Fecha de publicado: 16/06/2025

Introducción

La presente investigación se refiere al tema del análisis de los tipos de revestimientos eficientes en estructuras metálicas en ambientes corrosivos. Su característica principal trata a resolver la problemática de las estructuras metálicas a las cuales se encuentran expuestas, los ambientes corrosivos. En la actualidad, en su mayoría las edificaciones se realizan con estructuras metálicas en acero, proteger de la corrosión es un desafío clave en la ingeniería civil y la construcción.

Para analizar esta problemática es esencial mencionar que todos los tipos de estructuras metálicas se encuentran expuestas a ambientes muy corrosivos (ambientes costeros, salinos, húmedos e industriales) que

pueden comprometer su desempeño en durabilidad, desempeño e integridad de la estructura. En este caso, los recubrimientos anticorrosivos tienen papel importante al proporcionar una barrera protectora que minimiza el contacto del metal con agentes corrosivos.

La investigación se realizó con el interés de comparar múltiples tipos de revestimientos y procesos que existen en el mercado ecuatoriano, comparando sus propiedades, su efectividad y sus costos para realizar la mejor elección del recubrimiento para las estructuras metálicas y así contrarrestar la corrosión.

Realizando una investigación comparativa y evaluando su efectividad bajo diferentes condiciones ambientales, buscamos brindar orientación para seleccionar los revestimientos más adecuados, contribuyendo así al mantenimiento adecuado, la durabilidad y seguridad de las infraestructuras metálicas.

Materiales y métodos

La presente investigación adopta un enfoque mixto, porque permite abordar tanto la parte técnica cuantitativa como los aspectos cualitativos asociados al uso y desempeño de los revestimientos. Este enfoque se justifica por el interés de comprender profundamente las condiciones que afectan a las estructuras metálicas en ambientes corrosivos y de plantear alternativas viables para optimizar el uso de revestimientos eficientes, a base de investigación.

El tema de investigación, se abordará mediante el análisis de factores cualitativos relacionados con:

- Factores ambientales: Se investigarán las condiciones de exposición (humedad, temperatura, salinidad, etc.) y cómo estas influyen en la degradación de los materiales.
- Características de los revestimientos: Se explorarán las propiedades protectoras de los distintos tipos de revestimientos utilizados, considerando su adherencia, durabilidad, y compatibilidad con diferentes materiales.

Alcance de la investigación

La presente investigación explicativa, tiene como objetivo principal analizar los revestimientos disponibles en el mercado que permitan optimizar la protección de estructuras metálicas frente a los efectos adversos de la corrosión en ambientes altamente agresivos. La investigación busca proporcionar una visión integral que incluya tanto los fundamentos teóricos como los avances tecnológicos recientes en la materia.

La presente investigación se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón de Santo Domingo, el cual tuvo una duración para su realización de aproximadamente 4 meses.

Procedimiento

Se realizó una investigación documental, esto con el fin de encontrar y recolectar toda la información que esté relacionada a nuestro tema. Después se continuó con el procesamiento de datos, con el objetivo de analizar la información recolectada, el análisis de las tablas junto con las características, propiedades y ventajas de los diferentes tipos revestimientos para estructuras metálicas en ambientes corrosivos. Con todo esto hecho, se llegó a varias conclusiones en base a los objetivos dispuestos en esta investigación.

Recolección de datos

Para la recolección de información y datos se usará la investigación documental, lo que con lleva el análisis de tablas, características, informes. Todo con el fin de recolectar la información relacionada a los revestimientos eficientes para estructuras metálicas en ambientes corrosivos.

Resultados y discusión

El estudio reafirma la importancia de la evaluación de las propiedades físico-químicas de los revestimientos antes de su aplicación. Los sistemas de revestimientos multicapa demostraron ser los más efectivos en ambientes altamente corrosivos debido a su capacidad para combinar propiedades complementarias de diferentes materiales. Por ejemplo, un primario rico en zinc proporciona protección catódica, mientras que las capas superiores epóxicas o poliuretánicas actúan como barreras físicas contra agentes agresivos.

Un análisis comparativo de diferentes tipos de recubrimientos en ambientes corrosivos nos proporciona una gran variedad de opciones, cada una con ventajas y desventajas en sus características físicas, mecánicas y químicas. Factores como el tipo de metal, la naturaleza del ambiente corrosivo (humedad, productos químicos, temperatura), el costo y la durabilidad influyen en la selección del mejor recubrimiento.

Los recubrimientos orgánicos tales como: pinturas, recubrimientos poliméricos proporcionan una buena barrera contra la corrosión y son opciones más accesibles y económicas. Sin embargo, su durabilidad puede verse afectada por los rayos UV, la abrasión y ciertos productos químicos. Los recubrimientos inorgánicos como cementos o cerámicos ofrecen mayor resistencia al calor, a los productos químicos y a la abrasión, pero su aplicación puede resultar más compleja y costosa.

Los revestimientos metálicos (zinc, cromado) proporcionan protección catódica, pero su eficacia depende de la continuidad del revestimiento. Los recubrimientos de conversión de óxido forman una capa protectora sobre el metal base, pero tienen un espesor y una durabilidad limitados.

En el análisis de las técnicas de revestimientos anticorrosivos en estructuras metálicas reveló que existen diversas opciones efectivas para prevenir la corrosión y prolongar la vida útil de las estructuras metálicas. Entre las principales técnicas de revestimiento tenemos las siguientes:

- Pinturas y revestimientos orgánicos: Incluye pinturas de base epoxi, poliuretano y acrílica. Se ha demostrado que proporcionan una barrera eficaz contra la corrosión, especialmente cuando se combinan con una imprimación que mejora la adherencia y la resistencia.
- Galvanizado: El recubrimiento de zinc (galvanizado) se usa ampliamente porque protege el metal base a través del proceso de recubrimiento de zinc, actuando como barrera física y protección catódica. Este método es particularmente útil en ambientes exteriores o en situaciones donde hay contacto con elementos corrosivos.
- Recubrimientos de polvo (pintura en polvo): Esta técnica, utilizada principalmente para estructuras que requieren un acabado estético y de alta resistencia, proporciona una capa homogénea, duradera y resistente a la abrasión. Aunque es más costosa, resulta en un acabado de calidad superior y con menos impacto ambiental.

- Recubrimientos de polímeros y resinas: Se utilizan particularmente en entornos industriales con condiciones corrosivas severas, como la industria química o plataformas marinas. Estos recubrimientos, como el epoxi y el polietileno, brindan protección avanzada debido a su alta resistencia química y mecánica.

Así mismo podemos llegar a la discusión que tenemos distintas técnicas de revestimientos entre las cuales debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

- Eficiencia y durabilidad: la eficiencia de las técnicas de recubrimiento varía según factores como el entorno de exposición y la naturaleza del metal a proteger. Por ejemplo, el galvanizado funciona bien en ambientes húmedos y salados, mientras que los recubrimientos orgánicos, como los recubrimientos epoxi, son más adecuados para condiciones interiores o controladas. Sin embargo, todos los métodos requieren un mantenimiento regular para garantizar su eficacia.
- Impacto ambiental: Si bien las técnicas como la galvanización y el recubrimiento en polvo son más sostenibles que otras, algunos recubrimientos, como los recubrimientos a base de epoxi o solventes, tienen un mayor impacto en el medio ambiente debido a la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Análisis comparativo de los revestimientos en función a su resistencia

A continuación, se presenta un análisis comparativo de los diferentes tipos de revestimientos en función de su resistencia y aplicación en estos ambientes.

Tabla 1 Comparación de los Revestimientos analizados.

Revestimiento	Descripción	Ambiente corrosivo recomendado	Capas en Costa	Capas en Sierra	Frecuencia de mantenimiento
Primer Epóxico de Rápido Secado	Imprimación de secado rápido con alta adherencia y resistencia a la corrosión.	Ambientes industriales y marinos	2-3 capas	2 capas	Cada 3 a 5 años
Anticorrosivo Wesco	Pintura base alquídica con propiedades anticorrosivas.	Ambientes industriales moderados	2 capas	1-2 capas	Cada 2 a 4 años
Tan Antiox Condor	Revestimiento anticorrosivo con alta resistencia química y mecánica	Ambientes industriales y marítimos	2-3 capas	2 capas	Cada 3 a 6 año
Impriepox M-10 Monto	Imprimación epoxi de dos componentes con alta resistencia química	Ambientes altamente corrosivos	3 capas	2 capas	Cada 5 años
Imprimación universal Wesco	Revestimiento de uso general con protección media contra la corrosión.	Ambientes urbanos e industriales	2 capas	1-2 capas	Cada 3 años
Esmalte Poliuretano Altos Sólidos	Acabado con alta resistencia a la intemperie ya la abrasión	Ambientes industriales y marítimos	2-3 capas	2 capas	Cada 5 a 7 años

Recubrimiento en Polvo Poliéster Corrotec	Recubrimiento en polvo de poliéster con excelente resistencia a UV	Ambientes industriales y exteriores	2 capas	1-2 capas	Cada 5 a 8 años
Poliaspártica Ultra Rápido Curado	Revestimiento de rápido curado con alta resistencia química y mecánica.	Ambientes con alta exposición química	2-3 capas	2	Cada 5 a 7 años
Recubrimiento en Polvo Epoxi Poliéster	Recubrimiento termoendurecible en polvo, buena resistencia mecánica y química, ideal para interiores o exteriores con baja exposición a rayos UV.	Ambientes urbanos e industriales moderadamente corrosivos.	2 capas	2 capas	Cada 3 a 5 años
Pintunov 51-125	Pintura alquídica anticorrosiva de alto desempeño, formulada para estructuras metálicas con alta resistencia a la corrosión y excelente adherencia.	Ambientes industriales, marinos y de alta humedad.	3 capas	2-3 capas	Cada 2 a 3 años
Pintucoat®	Pintura epoxi de alto desempeño con resistencia a químicos y abrasión.	Entornos industriales	2-3 capas	2 capas	Cada 4 a 6 años
Mastic Epóxico de Altos Sólidos	Revestimiento epóxico de altos sólidos para máxima protección anticorrosiva	Ambientes altamente corrosivos	3 capas	2-3 capas	Cada 6 a 8 años
Recubrimiento en Polvo Epóxico Corrotec	Recubrimiento en polvo epóxico con excelente adherencia y resistencia química.	Ambientes industriales y químicos	2-3 capas	2 capas	Cada 5 a 7 años
Anticorrosiva Industrial Alquídica	Pintura alquídica con inhibidores de corrosión.	Ambientes urbanos e industriales	2 capas	1-2 capas	Cada 3 a 4 años
Aluminio líquido ECP-100	Revestimiento de aluminio con propiedades reflectantes y resistencia a la corrosión.	Ambientes industriales y marítimos	2-3 capas	2 capas	Cada 4 a 6 años
Revestimientos de Zinc (Galvanizado)	Revestimiento de zinc aplicado por inmersión o spray para protección catódica	Ambientes altamente corrosivos y marítimos	3 capas	2-3 capas	Cada 8 a 12 años

Análisis de costos de una estructura metálica

En una estructura el cual posee un área a ser recubierta es de 67,84 metros cuadrados y su peso es de 2760.63 kilogramos se realizó un análisis detallado de cuanto sería el costo de aplicación para una estructura metálica. Con el fin de detallar que recubrimiento sería más eficiente.

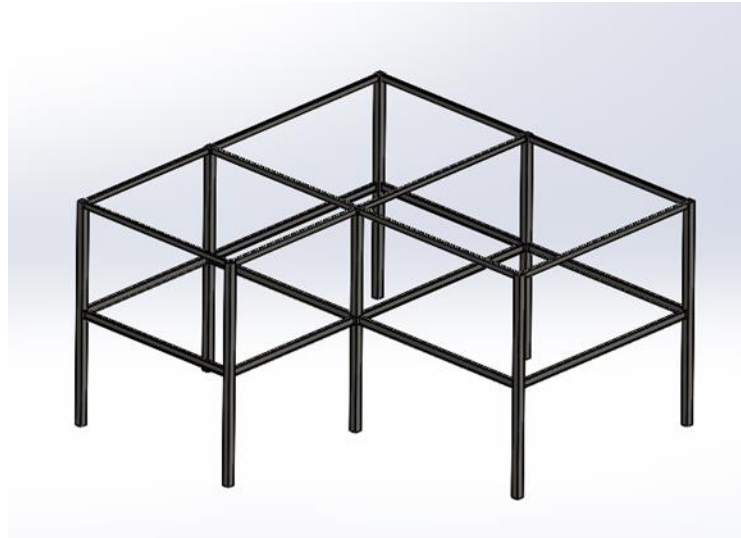


Figura 1 Estructura metálica diseñada en SOLIDWORKS

Tabla 2 Cálculos de consume de pinturas anticorrosivas

Producto	Rendimiento Teórico a 25 μm (m^2/gal)	Espesor Recomendado (μm)	Rendimiento Ajustado (m^2/gal)	Cantidad Necesaria (gal)	Tiempo estimado de mantenimiento	Costo por Unidad (USD)	Costo Total (USD)
Primer Epóxico De Rápido Secado	70.3	100	17.58	3.57	De 3 a 5 años	53.21	189.98
Poliaspártica Ultra Rápido Curado	103.5	150	17.25	3.64	De 5 a 7 años	106	386.84
Mastic Epóxico de Altos Sólidos	119	175	17	3.70	De 6 a 8 años	105	388.50

Costo de Galvanizado

$$\text{Costo} = \text{Peso de la estructura} \times \text{Costo por kg}$$

$$2760.63 \times 0.72 = 1,987.65 \text{ USD}$$

El galvanizado resulta mucho más caro que las pinturas, con un costo total de 1,987.24 USD. Así mismo su mantenimiento resulta ser más conveniente a largo plazo ya que su tiempo estimado de vida es de 8 a 12 años.

Entre las pinturas, el Primer Epóxico de Rápido Secado es la opción más económica, con un costo total de 189.98 USD. Sin embargo, es importante evaluar la eficiencia de cada pintura y la durabilidad esperada para tomar una decisión más informada.

Análisis comparativo de la vida útil de revestimientos anticorrosivos

A continuación, se presenta un análisis comparativo de la vida útil de revestimientos y el proceso del galvanizado y sus costos aproximados de mantenimiento y protección de estructuras metálicas.

Tabla 3 Comparativa de vida útil de protección y costos aproximados de mantenimiento de estructuras metálicas

Tipo de protección	Frecuencia de mantenimiento	Costo estimado cada 20 años	Comentarios
Galvanizado	Cada 8 a 12 años	\$ 3.974,48	Proporciona buena protección inicial, especialmente en ambientes rurales o urbanos moderados. En zonas de alta corrosión marina o industrial, las zonas de soldadura y bordes pueden degradarse más rápido.
Revestimiento (Pintura Epóxica o Poliuretano)	Cada 5 a 8 años	\$ 1.810,00	Más susceptible a desgaste mecánico y deterioro por exposición directa. Necesita mayor frecuencia de mantenimiento para asegurar la protección anticorrosiva. Ideal para ambientes con exposición química.
Galvanizado + Recubrimiento	Cada 20 años	\$ 2.337,65	Combinación óptima. El galvanizado protege la estructura base, mientras que el recubrimiento mejora la resistencia química y la intemperie, además de ofrecer protección adicional en las zonas de soldadura.

Conclusiones

El presente análisis permitió identificar los tipos de revestimientos más eficaces para la protección de estructuras metálicas en ambientes corrosivos, considerando las propiedades físicas y químicas relevantes. Entre los hallazgos principales, se constató que los revestimientos basados en epóxicos, poliuretanos y sistemas de recubrimientos multicapa (primarios ricos en zinc, intermedios epóxicos y acabados poliuretánicos) ofrecen un desempeño superior en términos de resistencia a la corrosión, durabilidad y adherencia. Estos materiales no solo poseen propiedades químicas que ralentizan las reacciones corrosivas, sino también características físicas que favorecen la impermeabilidad y la resistencia al desgaste mecánico.

Escoger el recubrimiento ideal para un ambiente corrosivo es un proceso complejo que requiere la evaluación de múltiples factores. Cada tipo de recubrimiento tiene ventajas y desventajas específicas en términos de resistencia a la corrosión, durabilidad, costo y facilidad de aplicación.

Los recubrimientos orgánicos son una opción económica y versátil, pero su rendimiento puede verse afectado por factores ambientales como los rayos UV y ciertos químicos. Los recubrimientos inorgánicos, por el contrario, son más resistentes a condiciones extremas, pero su aplicación suele ser más compleja y costosa.

Los recubrimientos de conversión de metales y óxidos brindan protección catódica, pero su efectividad depende de la continuidad del recubrimiento y su espesor. Cada opción debe ser analizada en detalle para garantizar una protección adecuada y duradera.

Elegir el revestimiento adecuado es fundamental para garantizar la protección a largo plazo de las estructuras metálicas en ambientes corrosivos. Un análisis detallado y una selección cuidadosa optimizarán el rendimiento y la vida útil de la estructura.

El análisis de las técnicas de revestimiento anticorrosivos para estructuras metálicas muestra que existe una variedad de soluciones efectivas para prevenir la corrosión y extender la vida útil de las estructuras. Técnicas como el galvanizado, los recubrimientos orgánicos (epoxi, poliuretano), los recubrimientos en polvo y los tratamientos con polímeros ofrecen diversas ventajas en términos de resistencia, durabilidad y adaptabilidad a diferentes ambientes corrosivos.

Sin embargo, seleccionar el recubrimiento adecuado depende de varios factores, como las condiciones ambientales (humedad, salinidad, exposición a productos químicos), los costos asociados con la aplicación y el mantenimiento, y los requisitos estéticos o funcionales de la estructura. Además, si bien algunas técnicas ofrecen una protección superior, también conllevan costos más altos y, en algunos casos, se debe considerar el impacto ambiental al elegir un método.

Tras realizar un análisis comparativo entre tres técnicas de revestimiento anticorrosivo (pintura epóxica, pintura de poliuretano y galvanizado), se concluye que la elección del método más adecuado depende de los objetivos a largo plazo y del presupuesto disponible. El galvanizado por sí solo, aunque ofrece una buena protección inicial, no resulta ser la opción más económica a largo plazo debido a sus elevados costos de mantenimiento. Por otro lado, los revestimientos de pintura epóxica o poliuretano presentan un costo inicial más accesible y un costo total reducido a lo largo de 20 años, aunque requieren un mantenimiento más frecuente. Sin embargo, la combinación de galvanizado con recubrimiento emerge como la opción más recomendable, ya que ofrece una protección superior, una vida útil prolongada y un mantenimiento menos frecuente, lo que la convierte en la solución más eficiente y duradera para la protección de estructuras metálicas. La elección óptima debe considerar no solo el costo inicial, sino también la durabilidad, la frecuencia de mantenimiento y la protección anticorrosiva a largo plazo.

Referencias

CASTANEDA, E. A. (2023). Evaluación de sistemas de protección anticorrosiva utilizando recubrimientos de alto desempeño en equipos e instalaciones de la industria geotérmica, mediante la aplicación de las Normas ASTM D610-08, ISO 12944:2017, ASTM D3359-17 Y SSPC-PA2-2008. San Salvador.

Conecta Industria. (3 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://www.conectaindustria.es/articulo/industria/la-corrosion-en-la-industria/20191203104435006124.html>

ESSS, B. (02 de 03 de 2023). ESSS. Obtenido de ESSS: <https://www.esss.com/es/blog/analisis-de-corrosion-y-erosion-en-equipos-utilizando-cfd/>

Montajes, Ingeniería y Construcción. MIC SAS. (2024). Obtenido de <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/mantenimiento-de-estructuras/proteccion-contra-la-corrosion>

- Monto. (2019). IMPRIEPOX M-10. *Montó Profesional*, 1.
- Morquecho, M. A. (2014). Estudio del comportamiento de los recubrimientos anticorrosivos utilizados en estructuras metálicas de edificios de la región costa del Ecuador. Cuenca.
- Pardo, D. A. (2023). Recubrimientos anticorrosivos con énfasis en. Tunja.
- PEÑA, S. G. (2020). Recubrimientos anticorrosivos superhidrofóbicos en oleoductos y gasoductos marinos. Bogotá.
- Perez, F. M. (2023). Corrosión. Tipos. Prevención. La Habana.
- Pintuco. (2020). Primer epóxico de rápido secado . *Pintuco El color de la Calidad*, 1.
- Pintuco. (2021). Mastic epóxico de altos sólidos. *Pintuco El Color de la Calidad*, 1.
- Pinturas Condor. (2017). Producto: Tan Antiox. *Condor El maestro del cambio*, 1.
- Pinturasjet. (2021). Obtenido de <https://www.pinturasjet.com/novedades/pintura-alquidica-que-es-como-se-usa>
- Remuzgo López, F. S. (1999). Protección anticorrosiva de pinturas epóxicas mediante el efecto barrera. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Swagelok. (2025). Swagelok. Obtenido de Swagelok: <https://www.swagelok.com/es/toolbox/material-selection-guide/corrosion-types#sour-gas>
- Tecnicas, I. S. (2025). IGESUR Soluciones Técnicas. Obtenido de IGESUR Soluciones Técnicas: <https://www.igesur.com/blog/corrosion-por-rendija/#:~:text=La%20corrosi%C3%B3n%20por%20rendija%20es,picadura%20y%20la%20corrosi%C3%B3n%20intergranular> .