

Research Article

Efficiency of Conventional Method of Protection Against Corrosion in ASTM A36 Steels in Saline Medium

Eficiencia De Método Convencional De Protección Contra La Corrosión En Aceros ASTM A36 En Medio Salino

E Calderón Freire^{1*}, A Tenicota García¹, C Redroban², J Caiza Vega³, F Gamboa Rodríguez³

V CONGRESO
INTERNACIONAL DE
INGENIERÍA DE MECÁNICA

Corresponding Author: E
Calderón Freire; email: edison.calderon@espoch.edu.ec

Published: 24 July 2024

Production and Hosting by
Knowledge E

© E Calderón Freire
et al. This article is distributed
under the terms of the
[Creative Commons
Attribution License](#), which
permits unrestricted use and
redistribution provided that
the original author and
source are credited.

¹Grupo de investigación de Mantenimiento (GIMAN). Carrera de Mantenimiento Industrial. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

²Grupo de investigación de Mantenimiento (GIMAN). Carrera de Mecánica. Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

³Tesistas del Grupo de investigación de Mantenimiento (GIMAN). Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ORCID

E Calderón Freire: <https://orcid.org/000-0002-3955-8162>

Abstract

This study aims to compare the performance of three anti-corrosion protection methods and estimate the corrosion rate according to the ASTM G1-03 standard in ASTM A36 steel plates. The applied methodology follows the procedure established in the ASTM G31-21 and ASTM G1-03 standards. While a chemical solution based on the ASTM G44 standards was used for corrosion. The corrosion rate was carried out by calculating the optimal sample size of the number of steel witness plates A36 to be immersed in a 3.5% sodium chloride solution, placed in 4 polypropylene vats, simulating the corrosive environment under conditions containing a pH between 6-7 and a temperature between 25-30°C. For the first method, a polymeric coating was applied according to the SSPC-PA 1 standard using high-volume solids epoxy paints with a corrosion rate of 0.0502 mm/year. In the second method, cathodic protection was applied by sacrificial anode on the witness plates obtaining a speed of 0.0275 mm/year. The third method used a sacrificial anode by an impressed current in which an external source was used to circulate current between the anode and cathode, resulting in 0.0096 mm/year.

Keywords: corrosion, surface protection, corrosion rate, ASTM A36 steel, sacrificial anode.

Resumen

El objetivo de este estudio fue comparar el rendimiento de tres métodos de protección anticorrosiva y estimar la velocidad de corrosión según la norma ASTM G1-03 en placas de acero ASTMA36. La metodología aplicada sigue el procedimiento establecido en las normas ASTM G31-21 y ASTM G1-03, mientras que para la corrosión se utilizó una solución química basada en las normas ASTM G44. La velocidad de corrosión se llevó a cabo mediante el cálculo del tamaño de muestra óptimo de número de placas testigos de acero A36 a sumergir en una solución de cloruro de sodio al 3.5%, colocado en 4 cubas de polipropileno, simulando el ambiente corrosivo en condiciones que contenían un pH entre 6-7 y una temperatura entre 25-30°C. Como primera instancia en el primer método se aplicó un recubrimiento polimérico según la norma SSPC-PA 1 mediante pinturas

 OPEN ACCESS



epóxicas de alto sólidos en volumen teniendo una velocidad de corrosión de 0.0502 mm/año, en el segundo método se aplicó protección catódica por ánodo de sacrificio en las placas testigos obteniendo una velocidad de 0,0275 mm/año y para el tercer método se empleó un ánodo de sacrificio por corriente impresa en el cual utilizaremos una fuente externa para hacer circular corriente entre el ánodo y cátodo, teniendo como resultado 0,0096 mm/año.

Palabras Clave: CORROSIÓN, PROTECCIÓN SUPERFICIAL, VELOCIDAD DE CORROSIÓN, ACERO ASTM A36, ÁNODO DE SACRIFICIO.

1. Introducción

Se estima que el costo que genera el daño de materiales por corrosión asciende en los países desarrollados a

aproximadamente el 3,5 % del PIB (Producto Interno Bruto). De acuerdo a este inconveniente de afectación a la industria se considera el estudio donde el desarrollo del ensayo de corrosión de la comparación del rendimiento de tres métodos de protección anticorrosiva se clasifica las placas de acero A36 que se va a exponer por cada método y crear las condiciones del ambiente corrosivo, se deberá adquirir 4 cubas de polipropileno (recipientes que contendrán unas sustancias altamente corrosivas) (1) elegido por su gran resistencia a agentes químicos para simular un ambiente corrosivo extremo mediante la alteración del grado de salinidad y el pH y acelerar el proceso de corrosión. (2-4)

De los tres métodos de protección anticorrosiva, protección superficial, ánodo de sacrificio y protección catódica por corriente impresa, se determinará cuál será el método que posea más rendimiento y efectividad en un ambiente de extrema corrosión, este fenómeno en los metales es uno de los procesos naturales que conlleva al acero a regresar a su estado natural que más ha repercutido de forma negativa en la industria del último siglo.

De acuerdo con los resultados obtenidos se clasificará el método idóneo para combatir la corrosión generando información que puede ser aplicable a la industria ecuatoriana.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

4 Cubas de polipropileno con capacidad de 10 litros.

20 Pedazos de acero A36 con dimensiones de 10 cm por 5,08cm.



40 Litros de agua destilada.
1gal. De pintura epoxi poliamina
546 gr De aluminio AISI 6061
4 m. De alambre calibre 16
20 Terminales
6 m. De cuerda de polipropileno
Regulador de voltaje de 120V a 5 V

2.2. Métodos

El método empleado para la comparación del rendimiento de tres métodos de protección anticorrosiva en función de la velocidad de corrosión se basa en la norma ASTM G31-21, la norma describe los factores que influyen en las pruebas de corrosión por inmersión en laboratorio, en particular las pruebas de pérdida de masa. (5) Estos factores incluyen, muestreo, muestra de prueba, condiciones de prueba (composición de la solución de prueba, temperatura, burbujeo de gas, movimiento del fluido, volumen de la solución, método de soporte de las muestras de prueba, duración de la prueba), métodos de limpieza de las muestras de prueba. (6-9) Al terminar este ensayo se procede a la medición de los espesores de cada placa mediante ultrasonido el cual indicara que método fue más óptimo en combatir la corrosión sometida

2.2.1. Preparación del ambiente corrosivo

Para la preparación del ambiente corrosivo de acuerdo con la norma ASTM G44 establece que se debe utilizar el 3,5% de cloruro de sodio, dicho esto, para esta solución salina se preparó 10 litros de agua destilada que posee un valor de 7 pH y 360 gramos de cloruro de sodio, dichas sustancias se combinaron hasta tener una mezcla homogénea obteniendo la solución salina. (10-13) Hay que tener en cuenta que el ambiente corrosivo debe estar entre 6,4 -7 pH manteniendo una solución neutra.

2.2.2. Preparación de las placas.

Este procedimiento se lo realizó como primera instancia de acuerdo a la norma SSPC-01 que me indica

realizar la limpieza de la superficie de cada probeta con herramientas manuales para eliminar impurezas tales como: grasas o limallas resultantes del proceso de corte, etc.,

posterior a esto, se realiza el siguiente proceso de limpieza de acuerdo con la norma SSPC-02 que señala la utilización de herramientas eléctricas con el fin de tener un mejor acabado superficial y una mejor limpieza en las probetas de acero ASTM A36. (14-16)

Terminado el proceso de limpieza, se procede a la codificación de cada una de las probetas para reunir 5 placas por cada grupo, cuales estarán sometidos a los métodos anticorrosivos.

2.2.3. Aplicación de los métodos anticorrosivos

2.2.1.1. Aplicación del recubrimiento superficial



Figura 1

Placas con recubrimiento superficial.

Se procedió a realizar el recubrimiento superficial del primer grupo de probetas con pintura epóxica donde se controló la temperatura ambiente en una cabina de pintado con valores entre 20 °C y 25 °C de acuerdo con la región geográfica ecuatoriana, la humedad relativa con un valor inferior al 80%, la temperatura de la superficie que debe ser inferior a 50 °C y por último la temperatura de la pintura con un valor inferior a 25 °C.

2.2.1.2. Aplicación del ánodo de sacrificio

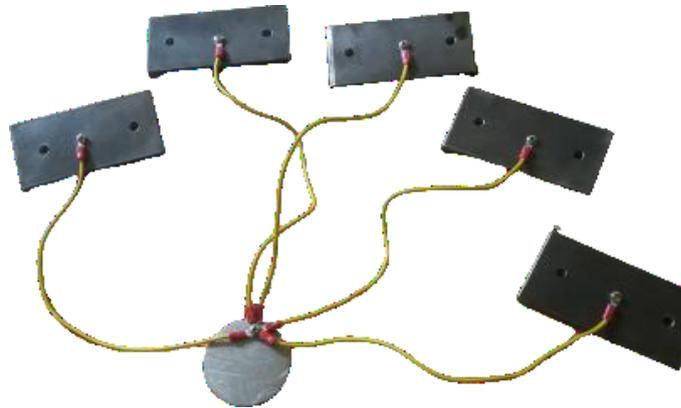


Figura 2

Placas protegidas con ánodo de sacrificio.

Se utilizó 60 gr de aluminio AISI 6061, este valor se lo obtuvo en función al área a proteger con un total de 598 cm^2 y a la intensidad de corriente que es en función del área a proteger y el medio corrosivo, para este caso se consideró la densidad de la corriente del agua del mar con un valor de 13,16 mA, donde se procedió a conectar el grupo de probetas por medio de cables hacia el pedazo de aluminio el cual actuara como ánodo de sacrificio. Cabe mencionar que los cables utilizados teóricamente vienen a formar parte del ánodo de sacrificio.

2.2.1.1.1. Diseño del ánodo de sacrificio

Se consideró una sola pieza de ánodo para las 5 placas testigos en función del área total de todas las placas como se muestra en la siguiente expresión.

Donde:

$$W = I \cdot t \cdot PA$$

$$N \cdot 96500$$

W= Peso total del ánodo expresado en libras (lb): eslora de flotación expresada en pies.

I= Intensidad de corriente eléctrica (A).

T= Tiempo (s).

PA= Peso atómico del metal (g).

N= Valencia del elemento

Aplicando los valores de la intensidad el tiempo que va a ser expuesto el material al ensayo de inmersión y al peso atómico del metal tenemos como resultado 273 gr. respecto al ánodo de sacrificio para cada grupo de placas testigos.

2.2.3.2. Aplicación de corriente impresa por ánodo de sacrificio

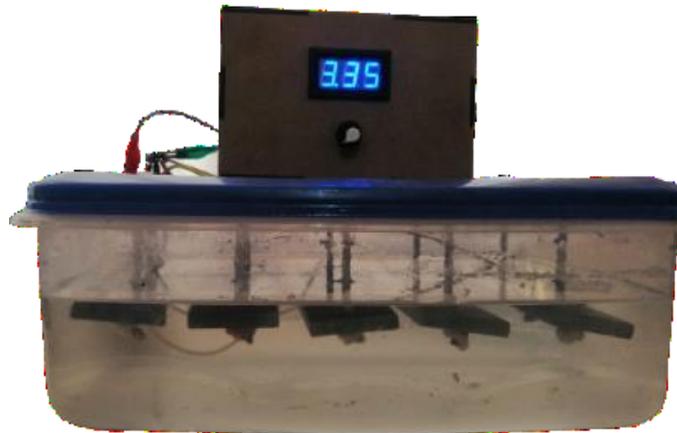


Figura 3

Placas con protección catódica.

Se realiza el mismo procedimiento mencionado anteriormente en la aplicación del ánodo de sacrificio incluyendo una fuente de energía que proporcionara corriente todo el tiempo al sistema para ayudar al intercambio de electrones entre el ánodo y cátodo (7).

2.2.4. Exposición al ensayo de corrosión

Se agrupa un total de 5 placas por cada método anticorrosivo incluido para las placas de control, posterior a esto se realiza un apilado del grupo de placas sujetándolos con la cuerda de polipropileno, culminado esto se procede a introducir cada grupo de probetas a los recipientes con el mismo ambiente corrosivo ya preparado donde estarán sumergidos con un tiempo de 1 296 horas con la finalidad de poder obtener resultados lo más uniformes posibles.

2.2.5. Levantamiento del ensayo de corrosión

Una vez concluida el tiempo del ensayo que lo establece la norma ASTM G31 se procede a realizar la limpieza de productos de corrosión generados que se encuentra en la superficie con un mínimo de remoción de metal sano de acuerdo con la norma

ASTM G1-03 para su posterior evaluación de los daños producidos por la corrosión y proceder a realizar la comparativa de la eficiencia de cada método anticorrosivo (17).

3. Resultados y Discusión

Se realizó la comparativa de cada grupo de probetas tomando en cuenta los siguientes aspectos de: la velocidad de corrosión, pérdida de espesor y costos de implementación de cada método anticorrosivo.

3.1. Ataque del ambiente corrosivo.

3.1.1. Placas con recubrimiento superficial

Después de la exposición al ensayo corrosivo, se generó un descascarillado de la capa de pintura epóxica de la superficie del metal, por lo tanto, la probeta queda expuesta directamente al ataque salino generando así el proceso de corrosión prematura.

3.1.2. Placas de control

Dichas placas no cuentan con ningún método anticorrosivo ya que fueron planeadas para realizar la comparación con el grupo de placas que poseen uno de los métodos anticorrosivos, donde se simuló que el material fue atacado drásticamente por la solución salina generada.

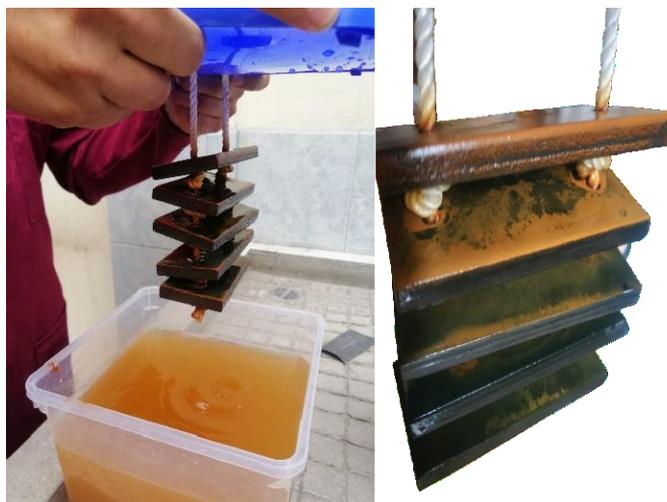


Figura 4

Levantamiento de las placas de control.

De acuerdo con la fig. 4. Se puede evidenciar en gran cantidad el proceso de desintegración de las probetas o pérdida de material causado por la reacción química que provocó la solución salina.

3.1.3. Placas con ánodo de sacrificio

Para este apartado, la utilización del ánodo de sacrificio no perdió los suficientes electrones ya que existe presencia de pérdida de material en forma de herrumbre, cabe mencionar que este proceso de oxidación es en mínima cantidad ya que las probetas de la fig. 5 presentan mínima corrosión generando que la solución salina se torne de un color amarillento anaranjado por causa del desprendimiento del material.



Figura 5

Levantamiento de las placas con ánodo de sacrificio.



3.1.4. Placas con protección catódica

De acuerdo con la fig. 6. se puede constatar que la solución salina tiene un color gris, esto es debido a que gracias a la fuente de voltaje externa contribuyo que el flujo de electrones del ánodo al cátodo sea mayor, esto quiere decir que las probetas aumentaron electrones dando como resultado una disminución del estado de oxidación, sacrificándose el pedazo de aluminio el cual aumentó el proceso de oxidación desprendiendo material e inmiscuirse con el electrolito.

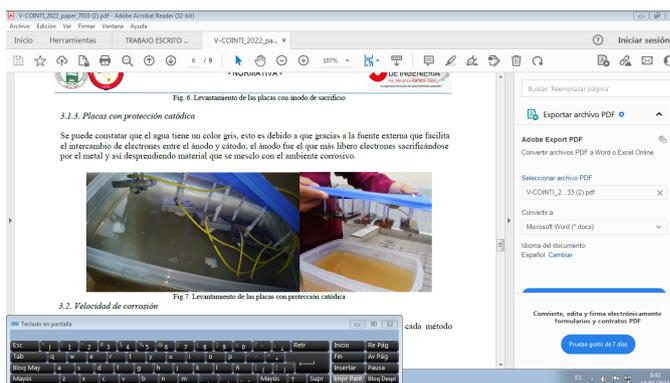


Figura 6
Levantamiento de las placas con protección catódica.

3.2. Velocidad de corrosión

Se realizó una media de los valores ponderados de cada grupo de las placas identificando cada método anticorrosivo y conjuntamente las placas de control con la cual se comparará los valores.

Tabla 1
Media de la velocidad de corrosión de los métodos anticorrosivos.

Método de protección	Media de la velocidad	Unidades
Placas de control	0,0579	(mm/año)
Recubrimiento epóxico	0,0502	(mm/año)
Ánodo de sacrífico	0,0275	(mm/año)
Corriente impresa	0,0096	(mm/año)

Una vez obtenido los valores se observa que la aplicación del método anticorrosivo por corriente impresa tiene un resultado de velocidad de corrosión del 0,0096 mm/año, de acuerdo con la norma ASTM G1, indica que dicho valor de la velocidad de corrosión



es óptimo ya que se encuentra por debajo de 0,02-0,01 mm/año ofreciendo mayor protección contra el fenómeno de la corrosión (18).

3.3. Pérdida de espesor

La pérdida de espesor diagnosticado mediante ultrasonido después del ensayo de inmersión se procedió a realizar la comparación de este valor de la media de acuerdo con los datos obtenidos con anterioridad al ensayo.

Tabla 2

Media de pérdida de espesor de los métodos anticorrosivos.

Método de protección	Pérdida de espesor	Unidades
Placas de control	0,022	mm
Recubrimiento epóxico	0,022	mm
Ánodo de sacrificio	0,016	mm
Corriente impresa	0,014	mm

El método de corriente impresa sigue teniendo la ventaja respecto a los demás ya que de acuerdo con la pérdida

de espesor tiene el valor más bajo a comparación de los demás, el cual se refiere a que no existe mucha pérdida de material durante el ensayo de inmersión.

3.4. Costos de aplicación por cada método anticorrosivo.

Para su posterior análisis económico se ha tomado en cuenta este punto en función del material que se utilizó para la aplicación de cada método anticorrosivo y de igual manera el tiempo y facilidad de implementación

del método. De acuerdo con la siguiente tabla 4 se establece el costo de la implementación en dólares estadounidenses

Tabla 4. Costos de aplicación de cada método anticorrosivo.

Tabla 3

Método anticorrosivo	Área cm ² total	Costo USD	Costo por cm ²
Recubrimiento epóxico	101,6	25	0,2461
Ánodo de sacrificio	101,6	13	0,1280
Corriente impresa	101,6	65	0,6398



Cabe recalcar que el método por ánodo de sacrificio es el método el cual su implantación es la más económica a comparación de los demás, esto se podría relacionar con los costos de mantenimiento preventivo reduciendo su valor.

3.5. Análisis de eficiencia de cada método anticorrosivo.

De acuerdo con la norma ASTM G1 que me indica la resistencia a la corrosión en mm/año se realiza un análisis porcentual en función a la velocidad de corrosión de cada método anticorrosivo.

Tabla 4

Norma ASTM G1			Método anticorrosivo de acuerdo con la velocidad de corrosión
Resistencia a la corrosión	mm/año	Porcentaje	
Sobresaliente	<0,02	100 %	Corriente impresa
Muy buena	0,02 0,04	– 90 %	Ánodo de sacrificio
	0,04 0,06	– 80%	Recubrimiento epóxico

3.6. Comparación del rendimiento vs costo de los métodos anticorrosivos.

Se ha llegado a obtener valores de la velocidad de corrosión relacionándolas con el rendimiento del método anticorrosivo y de igual forma valores sobre el costo de implementación para los métodos, teniendo a favor el ánodo de sacrificio como método más óptimo para combatir la corrosión, demostrando que es favorable tanto en el límite aceptable de velocidad de corrosión clasificándose como óptimo de acuerdo a la norma ASTM G1 y su costo es accesible, reduciendo costos de mantenimiento correctivo y de igual manera ampliando la vida útil del metal que será protegido.

4. Conclusiones

El método óptimo para combatir el fenómeno de la corrosión se lo atribuye al ánodo de sacrificio debido a que, la velocidad de corrosión es menor que con otros métodos, según la norma ASTM G1 y de igual forma su costo de implementación no es elevado.

Se mide la pérdida de masa en las placas de acero ASTM A36 (19) en función de cada método de protección anticorrosiva en el cual se evidencia que las placas de control tuvieron mayor pérdida de masa, porque están expuestas directamente al ambiente

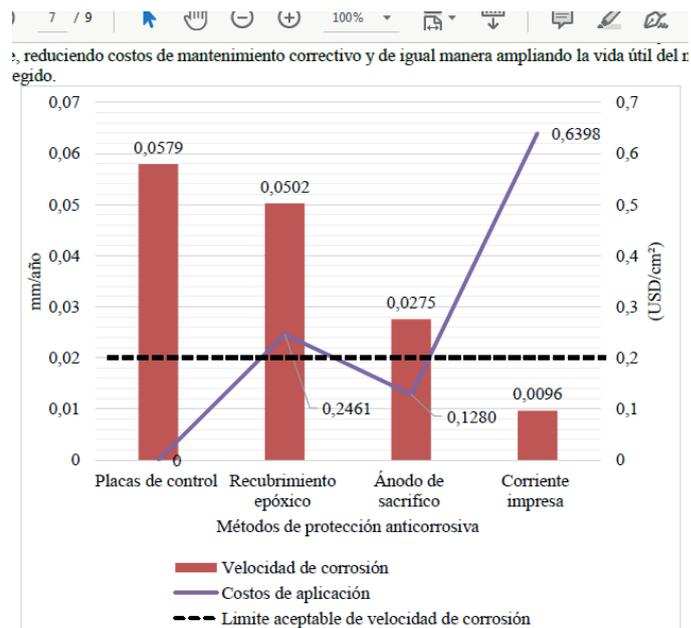


Figura 7

Comparación del rendimiento vs costos.

corrosivo sin ningún método de protección, por otro lado, se verifica que las placas que están protegidas por el método de ánodo de sacrificio corriente impresa tuvieron la menor pérdida de masa.

A pesar de que la pintura epóxica tiene características anticorrosivas, no fue lo suficiente para poder combatir el ambiente corrosivo generado para el ensayo, el cual presentaba desprendimiento de la capa de pintura de la superficie del metal, dejando expuesto la probeta para que el fenómeno de la corrosión ataque directamente y empiece el proceso de oxidación o intercambio de electrones (20).

References

- [1] Francia SR. Protección catódica-diseño de ánodos de sacrificio [Internet]. Edu.pe. 2004 [citado el 18 de julio de 2022]. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n13/pdf/a06.pdf
- [2] Villota FX, Chávez F, Carrasco MA, Lascano L, Alvarez LV. Corrosión Metálica en Ambientes Exteriores e Interiores en las ciudades de Quito y Esmeraldas. 2014 [citado el 18 de julio de 2022]; Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/d963830e25c1487ae2e28a924615c2ab34c5a1d1>
- [3] SSPC-SP1. Estándares de preparación de superficies. Limpieza con solventes.



- [4] SSPC-SP2. Estandares de preparación de superficie. Limpieza con herramienta manual
- [5] ASTM E797. Práctica estándar para medir el espesor mediante el método manual de contacto de pulso-con ultrasonido.
- [6] SSPC-PA 1 Especificación para la aplicación de pintura.
- [7] ASTM G1-03. Práctica estándar para preparar, limpiar y evaluar muestras de prueba de corrosión
- [8] Bilurbina Alter L, Liesa Mestres F, Iribarren Laco JI. Corrosión y protección. 2003.
- [9] Marulanda Arévalo JL, Pérez Muñoz D, Remolina Millán A. Protección contra la corrosión en ambiente salino de un acero al carbono rociado térmicamente por arco eléctrico con una aleación de aluminio y recubierto con una pintura sometido a corrosión. In VIII Congreso Internacional de Materiales CIM. 2016, April.
- [10] Morcillo Linares M, Chico González B. La corrosión atmosférica del acero al carbono en ambientes costeros. [citado el 18 de julio de 2022]; Disponible en: <https://www.digitaliapublishing.com/a/56613/la-corrosion-atmosferica-del-acero-al-carbono-en-ambientes-costeros>
- [11] Mondragón JL. Análisis del fenómeno de la corrosión en aceros de tipo estructural desde el punto de vista de su uso en la industria de la ingeniería civil. *L'esprit Ingénieux* [Internet]. 2019 [citado el 18 de agosto de 2022];10(1):9–34. Disponible en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/2117>
- [12] Zhao P, Ying T, Cao F, Zeng X, Ding W. Designing strategy for corrosion-resistant Mg alloys based on film-free and film-covered models. *J Magnesium Alloy* [Internet]. 2021 [citado el 18 de agosto de 2022]; Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2213956721002280?token=20A9670594196EC2E0B1BF9C76DF60E19CD7BEE8B4645955B9C7B343C2B9E2FC59F7us-east-1&originCreation=20211110063342>
- [13] Paredes J, Prieto J, Santos IE. Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas [Internet]. Edu.ec. [citado el 18 de agosto de 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24384/1/Paper%20Paredes-Prieto.pdf>
- [14] Gomis E. La preparación superficial como factor capital de la protección anticorrosiva. *Ind quím* [Internet]. 2020 [citado el 18 de enero de 2023];(85):36–39. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7728211>
- [15] Eyring H, Robertson B, Chu CC, Andersen T. Atmospheric corrosion. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 1974 [citado el 18 de enero de 2023];71(2):245–247. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/>



15fd29b770354167e2f1ab9f3c58a5ae1757138ahttps://doi.org/10.1073/pnas.71.2.245.

- [16] García LC. Reutilización de tubería como ánodo de sacrificio para la mitigación de la corrosión en el municipio de trinidad (casanare) [Internet]. Edu.co. [citado el 18 de enero de 2023]. Disponible en: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/8531/1/Reutilizacion_tuberia.pdf
- [17] Torres Hernández J, Del Angel Meraz E, Veleza L. Evaluación de un sistema de protección catódica de un gasoducto enterrado [Internet]. Scielo.org. [citado el 18 de enero de 2023]. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/rlmm/v37n1/art04.pdf>
- [18] Cueli-Corugedo A, Renatovich-Latypov O, Rinatovna-Latypova D, Adames-Montero Y. Protección de la tubería principal contra la corrosión en áreas complejas. Ing Mec [Internet]. 2019 [citado el 18 de enero de 2023];22(2):74–78. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442019000200074
- [19] Gómez Botero MA. Universidad de Antioquia, Tamayo Sepúlveda JA, Castaño González JG, Bolívar Osorio FJ, Medina García P, et al. Evaluation of methodologies for the application of protection systems against corrosion inside ballast tanks in marine vessels. Ing Desarro [Internet]. 2017 [citado el 18 de enero de 2023];35(1):174–197. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612017000100174
- [20] Delgado-García GO, Tóala-Arcentales GA. Importancia del mantenimiento con tratamientos anticorrosivos en la durabilidad de equipos de aires acondicionados en ambientes salinos. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2737-6249. 2021;4(8 Ed. esp):2-13. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespnov.0031>