

Cathodic Protection Applications with sacrificial or galvanic anodes in industry

Nadia Mendieta-Villalba, M.sc¹, Fabiola Terán-Alvarado, Mba², J. Hidalgo-Crespo, M.sc²
and Luis Caamaño-Gordillo, M.sc¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, nmendieta@ups.edu.ec, lcaamano@ups.edu.ec

²Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, ateran@ups.edu.ec, jhidalgo@ups.edu.ec

Abstract– *Cathodic protection is the method of reducing or eliminating the corrosion of a metal by having its surface function completely as a cathode when immersed or buried in an electrolyte. It consists of making the electrical potential of the metal to be protected become more electronegative by applying direct current from an external source or by joining it with a sacrificial material. The research focuses on cathodic protection using sacrificial anodes and reveals the types and characteristics of anodes used in industrial and naval applications, the advantages and disadvantages are also considered. In addition, through the Excel program, a linear regression was obtained in the area of the naval industry, based on a formula to estimate the mass and quantity of expendable anodes for steel vessels. With data from real random characteristics of 39 Ecuadorian steel barges provided by the Directorate of Maritime and Fluvial Transport, the mass of sacrificial anodes for cathodic protection in seawater was estimated. It should be noted that this information is relevant for shipowners or vessel owners who must periodically change the sacrificial plates during the maintenance of their vessels. The owners of these vessels always want to reduce maintenance costs during their stay in docks or dry docks.*

Keywords-- *Corrosion, cathodic protection, consumable anodes, sea and river transport, boats.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.712>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

Aplicaciones de la Protección Catódica con ánodos de sacrificio o galvánicos en la industria

Nadia Mendieta-Villalba, M.sc¹, Fabiola Terán-Alvarado, Mba², J. Hidalgo-Crespo, M.sc²
and Luis Caamaño-Gordillo, M.sc¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, nmendieta@ups.edu.ec, lcaamano@ups.edu.ec

²Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, ateran@ups.edu.ec, jhidalgo@ups.edu.ec

Abstract– *La protección catódica es el método de reducir o eliminar la corrosión de un metal haciendo que la superficie de éste funcione completamente como cátodo cuando se encuentra sumergido o enterrado en un electrolito. Consiste en hacer que el potencial eléctrico del metal a proteger se vuelva más electronegativo mediante la aplicación de corriente directa de una fuente externa o la unión con un material de sacrificio. La investigación se enfoca en la protección catódica utilizando ánodos de sacrificio y da a conocer los tipos y características de ánodos empleados en aplicaciones industriales y navales, también se consideran las ventajas y desventajas. Además, por medio del programa Excel se obtuvo una regresión lineal en el área de la industria naval, basado en una fórmula para estimar la masa y la cantidad de ánodos fungibles para embarcaciones de acero. Con datos de características reales aleatorios de 39 barcas de acero ecuatorianas proporcionadas por la Dirección del Transporte Marítimo y Fluvial, se estimó la masa de ánodos de sacrificio para la protección catódica en el agua de mar. Cabe anotar que esta información es relevante para los armadores o dueños de las embarcaciones quienes periódicamente deben cambiar las placas de sacrificio durante el mantenimiento de sus buques, los propietarios de estas naves siempre desean reducir los costos del mantenimiento durante su estadía en diques o varaderos.*

Keywords– *Corrosión, protección catódica, ánodos fungibles, Transporte marítimo y fluvial, embarcaciones.*

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de la Protección catódica, que es una de las formas más eficiente de protección de superficies metálicas que se encuentran en permanente contacto con el agua, que se aplica en el caso de tuberías y en especial en el tratamiento anticorrosivo del casco de las embarcaciones. Cabe anotar que la corrosión es un problema que está presente en todos los sectores industriales causando grandes pérdidas de dinero.

En el área naval todas las embarcaciones se encuentran expuestas a la corrosión debido a su permanente contacto con el agua. Este fenómeno acontece cuando el metal del casco del buque se deteriora debido a la acción del agua salina del mar y de la tendencia del propio material a regresar a la condición original de óxidos, es decir, el estado natural de muchos minerales antes de ser manipulados por el hombre. [1]

Es conocido que la corrosión es un proceso electroquímico que se realiza a escala microscópica. En el caso de un buque gradualmente millones de electrones presentes en los átomos de las piezas del casco de una embarcación, comienzan a viajar de una parte del metal hacia otra. Esto acontece debido a la diferencia de cargas del metal del casco, es como si se tuviera un imán en el que los electrones son atraídos por las

cargas positivas del polo opuesto. La zona que pierde electrones es llamada ánodo, y la que recibe electrones, se denomina cátodo.[1]

La investigación de esta problemática se realizó para encontrar la masa de ánodos requeridos por embarcaciones que navegan a lo largo de la costa ecuatoriana, por el interés de conocer cuáles son las medidas modernas para evitar o disminuir la corrosión en los metales expuestos al agua o suelo e identificar las asociaciones internacionales y nacionales que luchan por reducir costos de mantenimiento en el sector industrial.

II. MARCO TEÓRICO

A. ¿Qué es la corrosión y por qué ocurre?

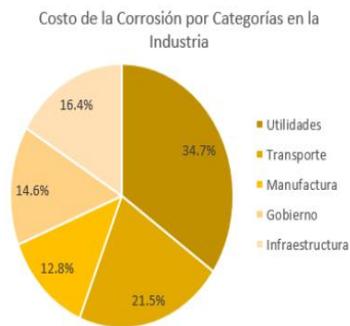
La corrosión puede ser definida como un proceso electroquímico que degrada y destruye el metal al reaccionar con el ambiente. [2] La corrosión acontece de manera espontánea en todo tipo de materiales de origen artificial (metales, plásticos o cerámicos). En el acero el proceso de corrosión deteriora el hierro que está dentro de él y consecuentemente le hace perder sus características principales tales como la dureza o resistencia. [2]

El principal inconveniente que presenta la corrosión es que es no se puede evitar, tan solo se puede reducir sus efectos a largo plazo. Entre los factores que influyen en este proceso se puede mencionar a la temperatura, radiación solar, humedad, pH, partículas contaminantes, etc. y otras causas como la homogeneidad de la microestructura del material, grietas o defectos superficiales, la presencia de óxidos e inclusiones, etc.[3]

B. Costos y estadísticas de la corrosión

Según la Asociación Americana de Ingenieros de corrosión (NACE), el costo directo de la corrosión en los Estados Unidos es aproximadamente el 3.1 % de su Producto Interno Bruto (PIB) y en caso de que se incluyeran los costos indirectos tales como pérdidas de productividad, fallas, derrames, multas, impuestos, accidentes esta cifra sería aproximadamente el 6% del PIB. [4]

La Figura 1 expone el costo de la corrosión por categorías en la industria de los Estados Unidos, obtenido de la referencia [4].



Fuente: Costos de la Corrosión y Estrategias Preventivas en Estados Unidos, NACE.

Fig. 1. Costo de la corrosión por categorías en la industria en Estados Unidos

En el país la Asociación Ecuatoriana de Corrosión AEC junto con NACE Sección Ecuador, quienes crean conciencia respecto al impacto de la corrosión en la industria y en la construcción. Promueven la investigación y difunde la tecnología actualizada a través de simposios, seminarios y publicaciones. También, fomentan la capacitación y establecen convenios con fundaciones y asociaciones afines. [5]

C. La corrosión en la industria

Como se mencionó la corrosión ocasiona la degradación de los materiales lo que influye en el incremento de los costos de mantenimiento en las empresas. En la industria la corrosión afecta de diferentes formas. En la industria alimentaria, las inspecciones y medidas de lucha contra la corrosión son relevantes puesto que cualquier imperfección superficial o perforación, puede generar que los alimentos no sean aptos para el consumo, lo que ocasiona elevados costos en alimentos y envases. [3]

La corrosión en el área de la industria química afecta de tres formas diferentes. El primer problema es ocasionado por las sustancias agresivas que se utilizan en contacto con los metales (pH, oxígeno, gases disueltos, etc.), el segundo es debido al empleo de sustancias ácidas (ácidos clorhídrico, fluorhídrico, nítrico), y finalmente, sustancias básicas como hidróxidos o hipocloritos. [3]

En el caso de la industria naval, la corrosión está influenciada por el medio marino por lo cual se deriva tanto a la industria marina y offshore (oil&gas y aerogeneradores), también a cualquier elemento que se encuentre en el mar (diques, boyas, etc.) o inmediaciones.

Respecto a la industria naval la corrosión se manifiesta en una degradación del casco de la embarcaciones (pérdida de espesor del planchaje). Además, aumenta la resistencia al avance debido a que las formas de los buques no son suaves con la corrosión e influye el hecho de que el casco no esté limpio, lo que produce el aumento del consumo de combustible y por ende el incremento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, que son contaminantes. La corrosión en la industria offshore produce aumento en los costos de

mantenimiento debido a la degradación de las estructuras, trabajos de supervisión y pintura, etc. [3] Ver Fig. 2. [6]



Fig. 2. Estado corrosivo del casco de un buque.

D. Tipos de corrosión

La corrosión es un proceso natural que acontece en los metales y aleaciones, que se deterioran dentro de un ambiente corrosivo. Además, se presenta en una amplia gama de formas, existen dos tipos conocidos de corrosión: la corrosión generalizada y el pitting. La corrosión generalizada hace disminuir el espesor o tamaño original y el pitting actúa en una forma localizada o sea una parte pequeña del metal se corroe con mayor velocidad que toda la estructura. [7]

Otra clasificación de corrosión depende de la forma en que el metal reacciona con el medio y distingue dos tipos: la corrosión química y electroquímica. La corrosión química es conocida como corrosión seca y actúa cuando el metal se combina con el entorno por reacción directa, en este caso los átomos metálicos reaccionan químicamente con la sustancia agresiva, es decir la corrosión química se da en metales que contactan con un medio corrosivo seco (gaseoso) a una temperatura alta. el caso sería la interfase metal/aire. [8]



En cambio, la corrosión electroquímica es más frecuente y se da lugar en superficies metálicas en contacto con un medio agresivo el cual está formado por un electrolito. Siendo el electrolito una disolución acuosa de ácidos, bases o sales. Luego se producen reacciones que cuentan con la participación de iones y transferencia de electrones con ánodos y cátodos. [8]

E. ¿Cómo ocurre el proceso corrosivo?

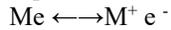
Las siguientes condiciones se deben presentar para que se tenga un proceso corrosivo:

- 1) El metal debe ser reactivo, es decir que debe estar inestable en su forma metálica o con tendencia a la corrosión.
- 2) El metal debe estar en contacto con un electrolito o solución, casi siempre acuosa, la cual conduce corriente eléctrica y que permite la presencia de especies ionizadas.

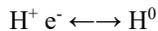
3) El electrolito debe contar con especies disueltas tales como gases disueltos (oxígeno o cloro) o iones disueltos (hidrógeno) que actúan como agentes oxidantes.

4) La velocidad o cinética de la reacción debe ser rápida y con significancia práctica. Debe haber una combinación de reacciones de oxidación y reducción que son las reacciones de corrosión. [7]

Cabe indicar que la oxidación es un fenómeno electroquímico mediante el cual especies pierden electrones. Un ejemplo sería la transformación de un metal a un metal iónico con pérdida de electrones de forma simultánea.



En cambio, la Reducción es un proceso electroquímico en el que un elemento o especie adquiere uno o más electrones. Es el caso de la transformación de Hidrógeno iónico a Hidrógeno atómico.



Estas reacciones cuando acontecen no lo hacen de manera aislada, sino de forma combinada. En conclusión, el proceso de oxidación produce electrones que depende del consumo simultáneo de los mismos electrones por reducción. En caso de que la reacción de reducción no esté disponible no se presentará la de oxidación. Cabe mencionar que se denominan agentes oxidantes a las especies que experimenten una reacción de reducción. [7]

F. Potenciales de oxido reducción

Algunos potenciales de oxido/reducción se exponen en la Tabla No. 1 estos datos significan la tendencia termodinámica relativa para que acontezca una reacción. Todos los valores han sido comparados con un dato arbitrario de 0.00 voltios que es asignado a la reacción de oxidación del oxígeno. Cabe indicar que mientras más negativo habrá una mayor tendencia a la producción de la reacción. [7]

La figura 3 muestra la reacción Óxido-Reducción en una pila galvánica.

Oxidación: Pérdida de $\text{e}^- \rightarrow$ Ánodo.

Reducción: Ganancia de $\text{e}^- \rightarrow$ Cátodo.

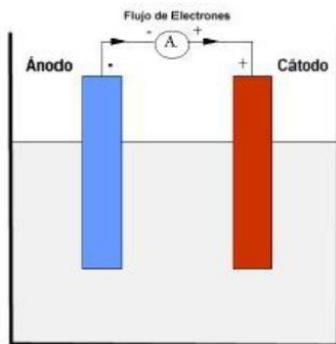


Fig. 3. Reacción Oxidación-Reducción. Pila galvánica

TABLA I
POTENCIALES DE ÓXIDO REDUCCIÓN

	REACCIÓN	E (VOLTIOS)
Más Activo	$\text{Mg} \longleftrightarrow \text{Mg}^{++} + 2\text{e}^-$	2.38
	$\text{Al} \longleftrightarrow \text{Al}^{+++} + 3\text{e}^-$	1.66
	$\text{Zn} \longleftrightarrow \text{Zn}^{++} + 2\text{e}^-$	0.763
	$\text{Pb} \longleftrightarrow \text{Pb}^{++} + 2\text{e}^-$	0.126
	$\text{H} \longleftrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	0.000 Referencia
	$\text{Cu} \longleftrightarrow \text{Cu}^{++} + 2\text{e}^-$	+0.34
	$\text{Fe}^{++} \longleftrightarrow \text{Fe}^{+++} + \text{e}^-$	+0.771
	$\text{Ag} \longleftrightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	+0.799
Más Noble	$\text{Au} \longleftrightarrow \text{Au}^{+++} + 3\text{e}^-$	+1.4978

G. Series Galvánicas

En vista de que los potenciales de óxido/reducción son aplicados a elementos puros, se han elaborado series galvánicas para comparar la reactividad relativa de aleaciones en un determinado ambiente. La Figura 4, presenta una versión simple de series galvánicas de aleaciones en el agua de mar.

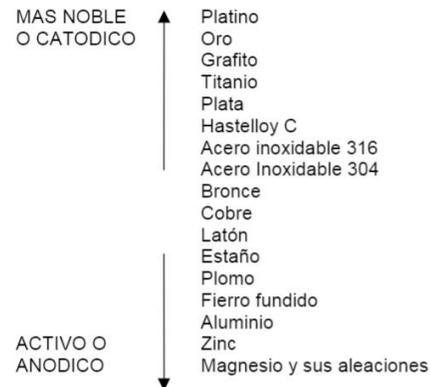


Fig. 4. Versión simple de series galvánicas de aleaciones en agua de mar

En caso de que un par de aleaciones se pongan juntas, la más anódica se corroerá más velozmente, si se la compara con su capacidad de corroerse de manera independiente. La figura enfatiza la razón de por la que las aleaciones de aluminio o magnesio se utilizan como ánodos de sacrificio al asociarse con el hierro. El estado pasivo significa una reactividad pequeña o velocidades insignificantes de corrosión. Activo se refiere a un estado de los materiales metálicos que son muy corrosibles. [7]

H. Medidas contra la velocidad de la corrosión

Los procedimientos tradicionales que se utilizan para disminuir la rapidez de corrosión de metales y aleaciones que trabajan en entornos agresivos se fundamentan en la aislación del material metálico a través de recubrimientos protectores

formados por productos metálicos y no metálicos, tales como: plásticos, cerámicos, cementos, pinturas, resinas, etc.

En la protección catódica se emplea como elemento protector a la corriente eléctrica. En esta técnica, se determina la estructura a proteger, en una embarcación sería el casco y también se trabaja con el elemento de sacrificio, el ánodo, ambos deben mantenerse en contacto eléctrico y deben estar inmersos en un electrolito, es decir el agua de mar. Luego, se obliga al casco a que funcione como un cátodo en una celda de corrosión mediante la alteración de su potencial electroquímico espontáneo, con respecto al entorno electrolítico corrosivo en el que se encuentra. Esto se lo realiza a través del ánodo de sacrificio, el cual es conectado eléctricamente a la estructura sumergida puesto que descarga una corriente que fluye en el electrolito hasta la estructura que protege. La corriente de electrones fluye del ánodo al cátodo porque existe una diferencia de potencial eléctrica. En un proceso de corrosión los ánodos y cátodos involucrados se denominan electrodos. [8]

Otra técnica de protección catódica es conectar eléctricamente al metal a proteger al polo negativo de una fuente externa de corriente continua y un electrodo o ánodo auxiliar se conecta al polo positivo, este ánodo actuaría como dispersor de la corriente, el circuito se cierra a través del electrolito. De esta forma se impide que el metal a proteger trabaje como fuente de corriente. La corriente externa se aplica a partir de un rectificador que suministra corriente continua de voltaje bajo. Ver Figura 5.

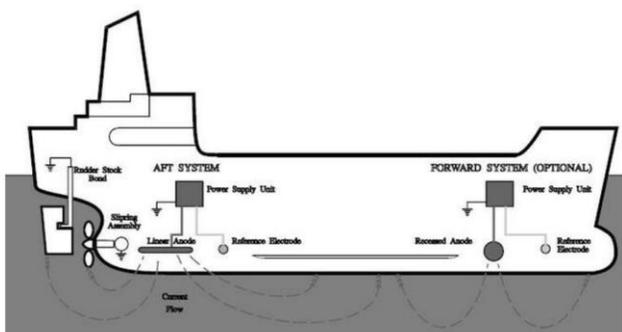


Fig. 5. Sistema estándar de corriente impresa

I. Ánodos de sacrificio

En el caso de utilizar el método del ánodo de sacrificio, se instala un metal activo que puede ser: zinc, magnesio o aluminio, los cuales son los ánodos más empleados en la práctica común. El ánodo debe estar en contacto con el metal que se desea proteger, el ánodo es el metal sacrificado porque sufrirá la corrosión. En el caso de una embarcación el casco será protegido porque se convierte en el cátodo. Cabe mencionar que la norma A.S.T.M.- B6 - 46 y la especificación norteamericana U.S. Mil - A 18001 H definen la composición para ánodos de aleación de zinc y de magnesio. [8]



Fig. 6. Ánodo de zinc usado en el casco del buque

Los ánodos de zinc tienen un alto rendimiento de corriente debido a su potencial de disolución elevado (Figura 6). Sin embargo, se debe cuidar su empleo en presencia de agua dulce a temperaturas arriba de 65° C, debido a que en estas condiciones puede invertir su polaridad y hacerse catódico con relación al acero. El ánodo de zinc se utiliza sobre todo para la realización de la protección catódica en agua de mar. Entre sus impurezas la más perjudicial es el hierro y el plomo porque causan la pérdida de actividad del ánodo. Dentro de sus aplicaciones se puede mencionar: cascos de embarcaciones marinas, tanques de lastre, condensadores, verticales de pozos, estructuras y líneas sumergidas y ambientes de aguas saladas y/o presencia de vegetación. [9]



Fig. 7. Ánodo de zinc

Respecto al ánodo de aluminio, se podría decir que se trata de un material idóneo para ser empleado como ánodo de sacrificio, su uso es reciente, pero tiene una desventaja que es la formación de una película de óxido de aluminio que lo hace resistente al sacrificio por corrosión. Los ánodos de aluminio suministran mayor eficiencia de corriente y menor consumo en comparación a los ánodos de magnesio y zinc en áreas salinas acuosas. Por ello se utiliza menor número de ánodos de aluminio para proteger una estructura. Entre sus aplicaciones tenemos: cascos de buques, muelles, pilotes, etc. Ver figura 8. [9]



Fig. 8. Ánodo de aluminio

Los ánodos de magnesio tienen un alto potencial en comparación con el hierro y están libres de pasivación. Estos ánodos se diseñan para obtener el máximo rendimiento en su función de protección catódica. En el área industrial se utilizan en terrenos de baja resistividad con recubrimientos en mal estado y también en terrenos de alta resistividad con recubrimientos que no demanden demasiada corriente, Figura 9. [9]



Fig. 9. Ánodo de magnesio

En la Tabla II se expone una comparación de la capacidad de corriente teórica del Zinc, Aluminio y Magnesio. [9]

TABLA II

COMPARACIÓN DE CAPACIDAD DE CORRIENTE TEÓRICA (A-AÑO/KG)

Metal anódico	CAPACIDAD	RENDIMIENTO%	FACTOR UTILIZACIÓN%
Zinc	0.094	90	85
Al	0.340	90	85
Mg	0.251	90	85

J. Diseño de ánodos de sacrificio

A continuación, se expone una fórmula utilizada por la firma Wood Marine Ltda. de los Estados Unidos de Norteamérica, la cual está basada en su experiencia para calcular la masa total de los ánodos de sacrificio que es requerido instalar en las embarcaciones que navegan permanentemente en agua de mar: [8]

$$W = K L (B + 2 D) / 15.6 \quad (1)$$

Dónde:

W: Masa total de ánodos de Zinc expresado en libras

L: Eslora de flotación expresada en pies

B: Manga expresada en pies

D: Calado en pies

K: 0.165 para cascos de PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio); 1.0 para barcos de acero y; 0.625 para cascos de aluminio.

Se expone una guía para la cantidad y disposición de los ánodos fungibles. Tabla III y Figura 10.

TABLA III

POSICIÓN DE ÁNODOS DE ZINC PARA BARCOS DE ESLORA ENTRE 6 M A 27 M

	ESLORA DEL BARCO (M)	MASA DE ÁNODO DE ZINC (KG)	NÚMERO TOTAL DE ÁNODOS
A	6 - 12	8.6	4
B	12 - 15	8.6	6
C	15 - 18	13.1	8
D	18 - 21	15	10
E	21 - 24	15	10
F	24 - 27	15	10

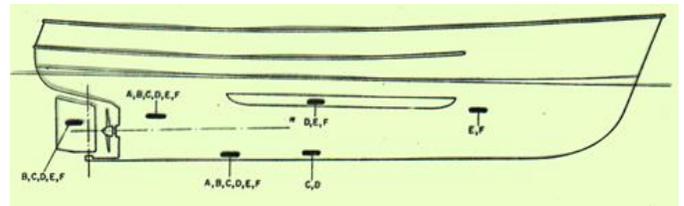


Fig. 10. Guía para la cantidad y disposición de ánodos fungibles para embarcaciones de eslora menor a 27 m

La vida de un ánodo de sacrificio para un buque está entre 1 a 3 años para el zinc y 4 años para el aluminio. Los ánodos se instalan soldando los extremos del alma como se ve en la siguiente figura 11, también pueden ser empernados. Cabe mencionar que los ánodos no se pintan puesto que ello dificulta el flujo de la corriente.

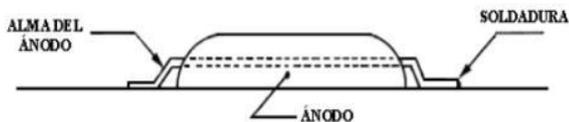


Fig. 11. Fijación de un ánodo de sacrificio mediante alma de acero

K. Ensayos para análisis de materiales

La microscopía electrónica SEM sirve para estudiar metales, cerámicas, polímeros y composite. La metodología consiste en la emisión de un barrido de haz de electrones sobre una muestra, al impactar producen diferentes tipos de señales las cuales son recogidas por detectores. Luego, por medio de la información de los detectores se obtiene una imagen de alta resolución de la topografía de la superficie de la muestra, además, su forma, textura y composición con una resolución de 0.4 a 20 micrómetros. [10]

Entre las aplicaciones de la microscopía SEM se puede mencionar al estudio de recubrimientos poliméricos que son utilizados para la protección de los metales contra la corrosión en las atmósferas costeras donde la agresividad corrosiva es muy alta. [11] También, existen técnicas para medir micro deformaciones en metales utilizando la correlación digital de imágenes de alta resolución y programas. [12]

Otra herramienta valiosa es FTIR que significa Transformación infrarroja de Fourier, utilizada en la espectroscopia infrarroja, cuando la radiación pasa a través de una muestra parte de ella es absorbida por la muestra y la otra parte la atraviesa. El espectro de luz absorbido presenta una huella de la estructura molecular de la muestra. Las diferentes estructuras químicas producirán diferentes huellas espectrales. El método es utilizado en el análisis de plásticos y polímeros. [13]

Añadiendo, la difracción de Rayos X es una técnica de análisis en laboratorio que se produce al hacer incidir Rayos X monocromáticos con una muestra cristalina. La técnica ayuda al estudio de estructuras metálicas. La limitación que presenta es que únicamente es para muestras cristalinas, es decir, no puede ser aplicada a soluciones biológicas, gases o sistemas amorfos. [14]

METODOLOGÍA

Empleando la información proporcionada por la Dirección del Transporte Marítimo y Fluvial perteneciente al Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, se obtuvo datos de 39 barcasas de la Capitanía de Puerto de Guayaquil (CAPUIL), ver Tabla IV y realizando los cálculos con la fórmula para calcular la masa de ánodos de sacrificio requerido en embarcaciones de acero se tuvo como resultado la Tabla V.

TABLA IV
DIMENSIONES DE BARCAZAS DE ACERO DE LA CAPITANÍA DE PUERTO DE GUAYAQUIL (CAPUIL)

BUQUE	ESLORA	MANGA	CALADO
	L	B	D
	Metros (M)	Metros (M)	Metros (M)
ANGEL I	15.12	3.3	0.58
BENDICION DE DIOS	18.8	3	0.8
EL ANGEL	19.25	3.85	0.8
GUADALUPE	19.15	6.95	0.5
GUAYAS	21.33	4.36	0.4
PUERTO EL MONO	30.3	5.5	0.3
ADELCA I	20.6	7.7	0.76
ANA MARIA	25.86	6.57	0.6
BLAUNSA	28.7	6.7	1.4
CHRISTIAN RITA	24	6.7	1.15
CIPORT NO. 098	24.4	7.69	1
DON GUILLO	26	7.35	0.82
EL ROSARIO	18.25	6.05	1.23
FLAMENCO	27.05	6.85	1.2
FORTALEZA	27	5.9	1.05
GEOVANNY I	25.05	6.1	0.6
LA GRACIA DE DIOS	19.2	6.05	0.9
MARGARITA DOS	25.18	4.5	0.62
MIGUELON	25.5	7.34	1.53
NORMA ALEXANDRA	34.6	8.34	0.8
SAN JOSE	26.7	7.45	1
SAN JOSE NO. 2	30.05	8.02	0.75
AMISTAD OFFSHORE	47.92	15	1.2
CIDADE DE CODAJAS	36.78	9.96	1.39
CIPORT 2000 LEONARDO	35.95	13.95	1.25
CIPORT 2010	42	18	1.9
CIPORT N. 62 ALFA	31.5	12.7	1
CIPORT N° 74	36	15	1
CIPTÉ 1	21.33	10.34	1.5
DIPLOTEC1	24	12.03	1.2
FARERA	28.55	9.25	1.79
IQUITOS	36.62	15.2	0.72
ISLA SANTAY	43.05	13.45	0.41
LAS VEGAS	39.76	14	1

NAVEREIRA III	37.36	9.96	1.36
PALMAR	36	11	1.8
PROVIDENCIA X	43.2	8.7	0.5
TECNAC III	36.42	13.63	1.2
TECNAC NO. 2	33.8	10.4	0.4

TABLA V
MASA DE ÁNODOS DE ZINC PARA BARCAZAS DE ACERO
DE LA CAPITANÍA DE PUERTO DE GUAYAQUIL (CAPUIL)

BUQUE	ESLORA L	MASA W
	Metros (M)	Kilogramos (KG)
ANGEL I	15.12	21.10
BENDICION DE DIOS	18.8	27.06
EL ANGEL	19.25	32.83
GUADALUPE	19.15	47.64
GUAYAS	21.33	34.44
PUERTO EL MONO	30.3	57.83
ADELCA I	20.6	59.43
ANA MARIA	25.86	62.87
BLAUNSA	28.7	85.31
CHRISTIAN RITA	24	67.59
CIPORT NO. 098	24.4	73.98
DON GUILLO	26	73.14
EL ROSARIO	18.25	48.60
FLAMENCO	27.05	78.29
FORTALEZA	27	67.59
GEOVANNY I	25.05	57.22
LA GRACIA DE DIOS	19.2	47.16
MARGARITA DOS	25.18	45.23
MIGUELON	25.5	82.98
NORMA ALEXANDRA	34.6	107.62
SAN JOSE	26.7	78.95
SAN JOSE NO. 2	30.05	89.51
AMISTAD OFFSHORE	47.92	260.90
CIDADE DE CODAJAS	36.78	146.62
CIPORT 2000 LEONARDO E	35.95	185.04
CIPORT 2010	42	286.50
CIPORT N. 62 ALFA	31.5	144.89
CIPORT N° 74	36	191.50
CIPTE 1	21.33	89.03
DIPLOTEC1	24	108.37

FARERA	28.55	114.62
IQUITOS	36.62	190.67
ISLA SANTAY	43.05	192.22
LAS VEGAS	39.76	199.06
NAVEREIRA III	37.36	148.23
PALMAR	36	164.46
PROVIDENCIA X	43.2	131.12
TECNAC III	36.42	182.68
TECNAC NO. 2	33.8	118.45

Utilizando el software Excel y los datos de dimensiones de barcazas proporcionados por la Dirección del Transporte Marítimo y Fluvial, se obtuvo una regresión lineal y la ecuación de primer grado resultante, ver Fig. 12. La figura mencionada permite interpolar, es decir al ingresar con el dato Eslora (M) en el eje de las abscisas se conoce en el eje de las ordenadas el valor de la masa en (KG) de los ánodos de Zinc, lo que serviría para estimar la cantidad de ánodos requeridos por barcazas entre 15 m a 50 m que naveguen en aguas ecuatorianas.

Además, con la Fig. 10 se puede determinar la disposición de los ánodos para embarcaciones menores a esloras de 27 m. Sin embargo, cabe mencionar que respecto a la ubicación de ánodos, la práctica común de astilleros y varaderos en Ecuador establece a una distancia aproximada de 1.5 m entre centros de las placas.

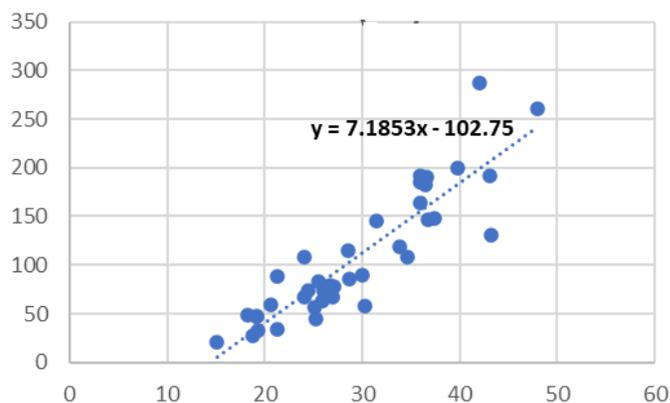


Fig. 12. Eje abscisas: Eslora (M) vs Eje ordenadas: Masa (KG) de ánodos de sacrificio para barcazas ecuatorianas. Regresión Lineal.

IX. CONCLUSIÓN

La ecuación para estimar la masa de los ánodos de sacrificio para barcazas de acero ecuatorianas es: $y = 7.1853x - 102.75$.

La fórmula de la firma Wood Marine Ltda. de los Estados Unidos empleada para calcular la masa total de los ánodos de sacrificio requeridos tanto en embarcaciones, submarinos,

como en estructuras sumergidas a fin de reducir la corrosión galvánica, constituye un valioso aporte a la economía industrial naval porque ocasiona la reducción de los costos de mantenimiento de las estructuras metálicas, debido a que se disminuye los efectos de la corrosión electrolítica de los materiales metálicos en el medio ambiente marino.

La presente investigación de la protección catódica, utilizando ánodos de sacrificio, permitió conocer las ventajas de su uso, además del bajo costo de mantenimiento en el área industrial/naval, se cuenta con la fácil instalación de las placas en las superficies metálicas. Añadiendo, no se necesita de una fuente de corriente continua ni de un regulador de voltaje y no se tiene problemas de interferencia. [8] También, con este tipo de protección se cuenta con una distribución de corriente uniforme y también el hecho de que cuando se encuentra el sistema en operación se podría aumentar el número de ánodos. Dentro de las desventajas se puede mencionar que se tiene un costo inicial alto en su aplicación y la limitada corriente suministrada. Finalmente, en el área industrial en las estructuras enterradas existe alto consumo de ánodos. [8]

RECONOCIMIENTO

Esta investigación se llevó a cabo gracias a la participación e investigación de los docentes de la UPS de ingeniería industrial en la asignatura Resistencia de Materiales del período 58. Especiales agradecimientos al Ing. Mario Román de la Dirección de Transporte Marítimo y Fluvial del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador por la información proporcionada.

REFERENCIAS

[1] ITCSA, “Protección catódica ¿En qué consiste?” <https://www.itcsa.es/proteccion-catodica-consiste/> (accessed Aug. 20, 2021).

[2] I. Ruiz, “Definición de corrosión. ¿Qué es la corrosión?,” 2021. <https://www.coversystems.net/definicion-de-corrosion/> (accessed Aug. 18, 2021).

[3] Conectaindustria, “La corrosión en la industria,” 2019. <https://www.conectaindustria.es/industria/000397/la-corrosion-en-la-industria> (accessed Aug. 20, 2021).

[4] Chesterton, “Preservación Proactiva de Equipos, Repuestos y Componentes en Almacenamiento,” 2021. <https://www.zonadepinturas.com/201606146395/noticias/empresas/revelan-el-costo-global-de-la-corrosion.html> (accessed Aug. 18, 2021).

[5] “Asociación Ecuatoriana de Corrosión AEC,” 2019. <https://aecorr.org.ec/> (accessed Aug. 20, 2021).

[6] Astinave, *Informe de carenamiento del BAE Orión*. 2008.

[7] DOCPLAYER, “Corrosión en la industria de alimentos.” [https://docplayer.es/31284739-Corrosion-](https://docplayer.es/31284739-Corrosion-en-la-industria-de-alimentos.html)

[en-la-industria-de-alimentos.html](https://docplayer.es/31284739-Corrosion-en-la-industria-de-alimentos.html) (accessed Aug. 23, 2021).

[8] A. Pérez, *PROTECCIÓN CATÓDICA: Ánodos de Sacrificio*. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de la Laguna, 2016.

[9] J. Pachón, “Protección catódica mediante ánodos de sacrificio .” www.tecnologiatotal.net

[10] ATRIA INNOVATION, “Microscopía electrónica de barrido (SEM), ¿para qué me sirve?,” 2020. <https://www.atriainnovation.com/microscopia-electronica-de-barrido-sem-utilidades/> (accessed May 26, 2022).

[11] W. T. X.I. Suárez Corrales , I.E. PechPech, F. Corvo, *Evaluación de la degradación de un recubrimiento de poliéster tipo coil coating mediante SEM y FTIR*. Ciudad de México.

[12] J. Sanz Gil, *Desarrollo de un método para medir microdeformaciones en metales mediante correlación digital de imágenes en alta resolución*. Universidad Antonio de Nebrija, 2018.

[13] M. Bradley, “FTIR: Herramienta valiosa en el análisis de plásticos,” *Thermo Fisher Scientific*, 2020. <https://www.thermofisher.com/blog/cienciaacelerada/materiales/ftir-herramienta-valiosa-en-el-analisis-de-plasticos/>.

[14] CROMTEK, “Difracción de rayos x. ¿Qué información entrega?,” 2021. <https://www.cromtek.cl/2021/01/22/difraccion-de-rayos-x-que-informacion-entrega/>.