

# CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

Análisis de sistemas de protección contra la corrosión marítima utilizados en buques de carga, con base en la normativa internacional.

Sergio Mendoza Sarmiento

Proyecto de grado para optar al título de ingeniero metalúrgico

Director

Sergio Ismael Blanco Vásquez

PhD. Ingeniería

Codirector

Viviana Raquel Guiza Arguello

PhD. Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingeniería fisicoquímicas

Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales

Bucaramanga

2025

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### **Dedicatoria**

A Dios, por estar siempre a mi lado mostrándome mis oportunidades.

A mis padres, Nelson Mendoza y Claudia Sarmiento, quienes me dieron apoyo siempre que lo necesite y me ayudaron en cada obstáculo.

A mis hermanos, Alex, Diego y Karen, que desde pequeños me han enseñado a ser una mejor persona cada día.

A mis abuelos maternos, Ángel y Carmen, quienes me ayudaron siempre a cumplir lo que quería y siempre quisieron que yo obtuviera mi título profesional.

A mis abuelos paternos, Enrique y Cenobia, quienes me acompañaron siempre en mi niñez.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### **Agradecimientos**

A mi director de proyecto, el PhD Sergio Ismael Blanco Vázquez, quien confió en mí y me demostró que sería capaz de culminar la meta de obtener mi pregrado y siempre me ánimo a seguir luchando por lograr este título.

A Paty y Yady, que me ayudaron en momentos donde debía hacer procesos administrativos teniéndome paciencia.

A Silvia Gabriela Carreño, una amiga incondicional que siempre ha estado para mí en los momentos donde más lo he necesitado, demostrándome un valor muy grande de su amistad.

A Dikerson Calderon, que me ha acompañado durante estos años, apoyándome e insistiéndome en conseguir mis metas y no rendirme tan fácilmente.

A Terry Chase, un jefe que me ha enseñado muchas cosas en tan poco tiempo, quien me ha apoyado y me ha brindado oportunidades únicas laborales y de crecimiento.

A Sofia, Elsa, Hermes y Néstor, quienes me han brindado su amistad desde que éramos niños, enseñándome que una verdadera amistad puede durar años sin tener presiones.

A Kevin Daniel y Fernando, dos grandes amigos que me dejó mi paso por la universidad y me brindaron ayuda en ese ciclo.

A Cristian David, quien me brindo apoyo emocional en momentos donde lo necesité.

A mi tío Oscar Fernando y su esposa Adriana, quienes siempre estuvieron pendientes de mi paso por la universidad y me otorgaron consejos que me ayudaron a tomar decisiones en mi vida.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

A la Universidad Industrial de Santander por darme la oportunidad de ser un profesional y brindarme los espacios necesarios para mi proceso académico.

A Jonathan, Nicolas, Andrés, Santiago, Jairo, Valentina, compañeros que hice por mi paso en la universidad y me ayudaron en momentos donde lo necesitaba.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Contenido**

	Pág
Introducción .....	13
1. Objetivos .....	15
1.1 Objetivo general .....	15
1.2 Objetivos específicos .....	15
2. Marco teórico .....	16
2.1 Corrosión.....	16
2.2 Costos e impacto en la corrosión .....	16
2.3 Factores que influyen en la corrosión marina .....	17
2.4 Tipos de corrosión presentes en ambientes marinos .....	18
2.5 Clasificación de los ambientes .....	19
2.6 Control de la corrosión.....	21
2.7 Partes de un buque de carga .....	22
3. Metodología .....	24
4. Resultados .....	26
4.1 Sistemas de protección.....	32
4.1.1 Sistema de protección con recubrimiento orgánico .....	32
4.1.1.1 Preparación de la superficie: .....	32
4.1.1.2 Selección del recubrimiento .....	34
4.1.1.3 Evaluación e inspección .....	36
4.1.2 Sistema de protección catódica .....	36

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

4.1.2.1 Selección del diseño y sistema.....	36
4.1.2.2 Instalación del ánodo y demanda de corriente eléctrica. ....	37
4.1.2.3 Sistema de corriente impresa o sistema de ánodo galvánico. ....	39
4.1.2.4 Monitoreo y mantenimiento.....	39
4.2 Procedimiento para los sistemas de protección de corrosión con recubrimientos orgánicos y protección catódica en los cascos de los buques de carga. ....	39
4.2.1 <i>Objetivo de la aplicación</i> .....	40
4.2.2 <i>Referencias normativas</i> .....	40
4.2.3 <i>Términos y definiciones</i> .....	41
4.2.4 <i>Alcance de la aplicación</i> .....	43
4.2.5 <i>Recursos</i> .....	43
4.2.6 <i>Planificación de las responsabilidades</i> .....	43
4.2.7 <i>Control de la operación</i> .....	44
4.2.8 <i>Evaluación</i> .....	44
4.2.9 <i>Mejora y cambios</i> .....	44
4.2.10 <i>Anexos</i> .....	45
5. Conclusiones .....	46
Referencias bibliográficas.....	47
Apéndices.....	51

**Lista de figuras**

Figura 1. Esquema dimensional de las partes representativas de un buque de carga. Tomado y editado de <a href="http://www.ingenieromarino.com">www.ingenieromarino.com</a> .....	23
Figura 2. Esquema general para la selección de un sistema de protección para la corrosión según la resolución MSC.215(82) de la organización internacional marítima (IMO). .....	25
Figura 3. Procedimientos de los sistemas de protección empleados contra la corrosión en los buques de carga marina. ....	26
Figura 4. Criterios en el diseño básico para la protección contra la corrosión tomados de la norma ISO 12499. ....	35
Figura 5. Representación esquemática de los niveles y zonas en el ambiente marino. Adaptada de la norma EN 13174. ....	38
Figura 6. Procedimiento para los sistemas de protección de corrosión con recubrimientos orgánicos y protección catódica según la norma ISO 9001. ....	41

**Lista de tablas**

Tabla 1. Clasificación de las zonas de corrosión en ambientes marinos. Adaptada de “Corrosion in marine and offshore steel structures” .....	20
Tabla 2. Normativa internacional aplicable a la selección, aplicación o evaluación de recubrimientos utilizados en ambientes marítimos.....	27
Tabla 3. Clasificación de normas internacionales para la preparación de la superficie en el sistema de protección con recubrimiento orgánico.....	33
Tabla 4. Categorías de corrosividad atmosférica en aceros de bajo contenido de carbono. Tomada y adaptada de la norma ISO 12944.....	34
Tabla 5. Valores de potencial de diseño para ánodos de sacrificio. Adaptada de M-CR503 .....	37

**Lista de apéndices**

Apéndice A: Grados de preparación de la superficie según la norma ISO 8501 .....	51
Apéndice B: Descripción de un sistema de protección con recubrimiento orgánico de tres capas de manera general. ....	53
Apéndice C: criterios principales para la protección del acero contra la corrosión mediante pintura. ....	54

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### Glosario

**Ambiente corrosivo:** ambiente en el que contiene uno o mas agentes corrosivos. (ISO 8044).

**Corrosión:** interacción fisicoquímica entre un metal y su ambiente que da como resultado cambios en las propiedades del metal lo que lleva a un deterioro de la función del material. (ISO 8044).

**Pintura:** material de recubrimiento pigmentado, que cuando se le aplica al sustrato, forma una película opaca ayudando a la protección, decoración o en alguna propiedad en específico. (ISO 12944).

**Protección catódica:** se puede definir como la protección electroquímica mediante la disminución de potencial de corrosión a un nivel donde la tasa de corrosión de metal es significativamente reducida (ISO 8044) o como una técnica que reduce la corrosión de la superficie de un metal, haciendo de esa superficie un cátodo en una celda electroquímica (NACE RP0176).

**Recubrimiento:** capa continua de material metálico o una película continua de pintura (ISO 12944).

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### Resumen

**Título:** Análisis de sistemas de protección contra la corrosión marítima utilizados en buques de carga, con base en la normativa internacional. \*

**Autor:** Sergio Mendoza Sarmiento\*\*

**Palabras clave:** corrosión, superficies, recubrimientos, protección catódica, ánodos.

### Descripción:

El transporte marítimo es crucial para la economía mundial, ya que facilita el comercio internacional al mover la mayoría de las mercancías globales de manera eficiente y rentable, mientras que el mantenimiento adecuado es esencial para minimizar los costos operativos, garantizar la seguridad y prolongar la vida útil de las embarcaciones. Este trabajo presenta un análisis de la normativa internacional en los sistemas de protección contra la corrosión en buques de carga. Inicialmente se revisa las normas que se utilizan para el sistema de protección con recubrimientos orgánicos (pinturas), dando a conocer el proceso que se debe llevar a cabo desde la limpieza de la superficie hasta la aplicación y evaluación de las capas de pintura utilizadas en el proceso. Posteriormente, se estudia el sistema de protección catódica, expresando de igual manera la normativa internacional que está presente en este proceso para finalmente realizar un procedimiento estandarizado, donde detalla el paso a paso que se debe seguir para cumplir con cada uno de los requisitos que se presentan en la normativa internacional, incluyendo los parámetros definidos en las normas ISO, ASTM, NACE, etc.

\*proyecto de grado

\*\*director: Sergio Ismael Blanco Vásquez. codirector: Viviana Raquel Guiza Arguello  
Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales. Facultad de ingeniería físicoquímicas.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### **Abstract**

**Title:** Analysis of maritime corrosion protection systems used in cargo ships, based on international regulations. \*

**Author:** Sergio Mendoza Sarmiento\*\*

**Key words:** corrosion, surfaces, coatings, cathodic protection, anodes.

### **Description:**

Maritime transport is vital for the global economy, as it enables international trade by efficiently and cost-effectively moving the majority of the world's goods, while proper maintenance is essential to minimize operational costs, ensure safety, and extend the lifespan of vessels. This work presents an analysis of international regulations on corrosion protection systems on cargo ships. Initially, the standards used for the protection system with organic coatings (paints) are reviewed, revealing the process that must be conducted from cleaning the surface to the application and evaluation of the paint layers used in the process. Subsequently, the cathodic protection system is studied, expressing in the same way the international regulations that are present in this process to finally conduct a standardized procedure, which details the step by step that must be followed to comply with each of the requirements that are established. found in international standards such as ISO, ASTM, NACE, etc.

\*Degree Project

\*\*Director: Sergio Ismael Blanco Vásquez. codirector: Viviana Raquel Guiza Arguello  
School of metallurgical engineering and materials science. Faculty of physicochemical engineering.

### **Introducción**

Las estructuras marítimas, como buques de transporte, plataformas de explotación petrolera y muelles, desempeñan un papel fundamental en la economía mundial al facilitar el comercio internacional, la extracción de recursos energéticos y la logística portuaria. Los buques de transporte son el eje del comercio global, moviendo más del 80% de las mercancías a nivel internacional y conectando mercados y cadenas de suministro en todo el mundo. Las plataformas petroleras, por su parte, son esenciales para la explotación de recursos energéticos en alta mar, contribuyendo significativamente al suministro global de petróleo y gas. Los muelles y puertos actúan como puntos clave para la carga y descarga de mercancías, optimizando la eficiencia del transporte marítimo y fomentando el desarrollo económico regional. En conjunto, estas estructuras no solo impulsan el crecimiento económico, sino que también generan empleo, promueven la inversión y garantizan el flujo constante de bienes y recursos esenciales para el funcionamiento de la economía global. La corrosión marítima puede afectar la estabilidad mecánica y el tiempo de vida de estas estructuras y cualquier otra instalación ubicada en océanos o costas marítimas, lo que genera importantes pérdidas económicas y repercusiones negativas en el medio ambiente. Por este motivo, el desarrollo y la implementación de técnicas de protección contra la corrosión continúan siendo objeto de estudio, con el objetivo de reducir la tasa de corrosión en sistemas, equipos y componentes (Shokri, A., et al. 2022).

Debido a la agresividad de la corrosión en los ambientes marítimos, en los sistemas costeros, buques e instalaciones costa afuera se suelen emplear de manera simultánea múltiples métodos de protección, entre los que se incluyen: diseño adecuado, selección de materiales, recubrimientos y protección catódica.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

La corrosividad de los ambientes marítimos varía dependiendo de diversos factores, tales como la salinidad, la temperatura, la presencia de microorganismos, entre otros. Esta relación entre la corrosión y las condiciones ambientales provoca que la corrosión sea variable en función de la ubicación de las estructuras o embarcaciones, lo cual influye en los sistemas de protección empleados. Esta variabilidad hace particularmente complejo el proceso de selección de sistemas de protección para buques de carga transoceánicos, que pueden cruzar océanos en un lapso de días o semanas, enfrentando distintas condiciones meteorológicas y ambientales. (Lawal, S. L., 2024)

Los cascos de los buques de carga requieren sistemas de protección complejos, que integren materiales que faciliten tanto la fabricación de la estructura como su protección. Es esencial optimizar factores como los costos, el peso de la embarcación, la velocidad de navegación, las dimensiones del buque y la facilidad de control. Para cumplir con estos parámetros y asegurar que el proceso de construcción del casco se lleve a cabo de manera eficiente, es necesario seguir ciertos requisitos, tales como: garantizar la integridad estructural mediante la correcta selección de materiales, asegurar la resistencia a la corrosión mediante recubrimientos, seleccionar el proceso de protección adecuado, y establecer estándares para el mantenimiento y reparación, entre otros. (Vladimir, M., 2014). En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de los sistemas de protección utilizados en los cascos de los buques, basados en la normativa internacional vigente.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### **1. Objetivos**

#### **1.1 Objetivo general**

Realizar un análisis del estado del arte de los sistemas de protección contra la corrosión utilizados en buques de carga, basados en la normativa internacional.

#### **1.2 Objetivos específicos**

Estudiar las normativas internacionales relacionadas con la protección contra la corrosión en buques, incluyendo selección de materiales, recubrimientos y protección catódica.

Clasificar los sistemas de protección regulados en función de su aplicación y protección ofrecida.

Seleccionar la mejor combinación de sistemas de protección y establecer una metodología general para su implementación.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Corrosión**

La corrosión, en términos generales, se define como una interacción fisicoquímica entre un metal y el ambiente al que está expuesto, lo que resulta en cambios en las propiedades del metal (ISO-8044). En el contexto específico de la construcción de buques de carga, la corrosión se describe como un proceso electroquímico que ocurre entre la superficie de los aceros utilizados y la salinidad del ambiente marítimo. Este proceso provoca la degradación del acero, con un consecuente cambio en sus propiedades químicas y físicas.

### **2.2 Costos e impacto en la corrosión**

La corrosión es un proceso inherente a la vida cotidiana, lo que ha llevado a que el estudio de los costos asociados a la corrosión sea un tema recurrente en los sectores industriales de diversos países. Este análisis de costos se puede dividir en dos categorías: los costos que se puede evitar y los que no. El primer grupo se basa en la aplicación de mejores prácticas de control de corrosión, lo que puede representar entre el 10 % y el 40 % del costo total de la operación. El segundo grupo se refiere al uso de tecnologías avanzadas, cuyo impacto se refleja en el Producto Interno Bruto (PIB) de cada país, con un rango que varía entre el 3 % y el 5 %, y que contribuye a la estimación del costo anual asociado a la corrosión. (Koch, G., 2017)

En cuanto a los pasos y ahorros potenciales para reducir los costos operativos relacionados con la corrosión, se han identificado dos elementos clave. El primero es la mejora en la difusión del conocimiento y la información disponible, lo que incluye la supervisión adecuada, la capacitación del personal responsable y la búsqueda y desarrollo de actividades ya existentes en el

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

campo del control de la corrosión. El segundo elemento es la posibilidad de generar ahorros significativos mediante la implementación de procesos costo-efectivos que contribuyan a la reducción de la corrosión. (V.S. Sastri, 2015).

El riesgo ambiental asociado con la corrosión también debe ser considerado dentro del costo operativo de los elementos utilizados en el campo (Iannuzzi, M., 2022). Estos riesgos están vinculados a decisiones financieras, la seguridad e integridad de los bienes físicos y la mitigación de los procesos, entre otros factores. Por lo tanto, para minimizar el riesgo ambiental, es fundamental avanzar en la inspección y monitoreo de las tecnologías utilizadas, así como en el mantenimiento, reparación o reemplazo de las partes afectadas por la corrosión.

### **2.3 Factores que influyen en la corrosión marina**

El efecto de la corrosión en las estructuras metálicas se manifiesta principalmente como una pérdida de sección, la cual puede presentarse de dos maneras: la corrosión por picadura, que ocurre en áreas localizadas, y la corrosión global, que se da cuando una sección experimenta una reducción de espesor debido a los efectos corrosivos. En el caso de las estructuras metálicas expuestas a ambientes marinos, la corrosión es un proceso electroquímico que tiene lugar entre el metal y los componentes del agua salina, siendo influenciado por diversos factores, entre los que se incluyen (Galvin, R., 2020):

- Las condiciones atmosféricas del ambiente.
- La salinidad del agua.
- El valor del pH del agua salada.
- La concentración de oxígeno disuelto.
- La temperatura del agua.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- La velocidad del flujo del agua.
- La composición química del sustrato en el que el acero ha sido ensamblado.
- La actividad microbiológica y la concentración de nitrógeno inorgánico disuelto (DIN).

Todos estos factores pueden experimentar variaciones en función de los cambios climáticos y ambientales, lo que impacta directamente en el comportamiento de la corrosión en las estructuras metálicas (Soares, C. G. et al, 2009).

### **2.4 Tipos de corrosión presentes en ambientes marinos**

La corrosión puede manifestarse de diversas formas, y en este caso se abordarán tres mecanismos específicos de corrosión que pueden ocurrir en ambientes marinos (P. Roberge, 2008).. El primero es la corrosión electroquímica, que se define como una reacción química en la cual se involucra la transferencia de electrones y reacciones de óxido-reducción. El segundo es la corrosión galvánica, también conocida como "corrosión de metales diferentes", la cual ocurre cuando dos metales diferentes se emparejan en un electrolito corrosivo. En este proceso, el material menos noble actúa como ánodo y tiende a corroerse a un ritmo más acelerado, mientras que el material más noble actúa como cátodo en la celda de corrosión. Finalmente, el tercer mecanismo es la corrosión microbiológica, en la que los microorganismos se adhieren a las superficies sólidas, colonizando y proliferando, formando una biopelícula (Dalmora, G. P. V., et al. 2025). Esta biopelícula crea una interfase entre el metal y el ambiente, alterando el pH, la concentración de oxígeno disuelto y las especies orgánicas e inorgánicas en la zona afectada. A medida que se forma la biopelícula, se generan condiciones que favorecen la corrosión localizada, típicamente en forma de picaduras.

## 2.5 Clasificación de los ambientes

La clasificación de los ambientes corrosivos depende de tres factores clave: la temperatura, la humedad relativa y el pH (Harsimran, S., 2021).

El primer factor, la temperatura, influye directamente en la tasa de corrosión, la cual aumenta conforme la temperatura incrementa. Se estima que la tasa de corrosión puede duplicarse por cada aumento de 10°C en la temperatura, y este comportamiento suele representarse mediante una curva exponencial. Sin embargo, la temperatura también afecta a otros factores, como la humedad y la interacción con otros componentes del ambiente. El segundo factor es la humedad relativa del aire. La corrosión tiende a incrementarse a medida que la humedad relativa aumenta, ya que la capa de óxido en la superficie metálica tiene una mayor tendencia a absorber humedad, lo que facilita la formación de una célula electroquímica de corrosión. Finalmente, el pH es uno de los factores más determinantes para la tasa de corrosión. Generalmente, a menor pH (más ácido), la corrosión se acelera, ya que los medios ácidos (con pH inferior a 7) son más corrosivos que los medios alcalinos o neutros.

Adicionalmente, los ambientes marinos pueden ser clasificados en diferentes zonas dependiendo de la proximidad al mar (atmosférica o zona de salpicadura) o profundidad dentro del mar (zona de marea, zona sumergida y sedimentos). En la tabla 1 se resumen las principales características de cada zona (Nassar, N. E. A., 2022).

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Tabla 1.**

*Clasificación de las zonas de corrosión en ambientes marinos. Adaptada de “Corrosion in marine and offshore steel structures”*

<b>Zona</b>	<b>Descripción</b>
<b>Atmosférica</b>	La ubicación de la zona atmosférica está por encima del nivel del mar, donde la intensidad de la corrosión está relacionada con el periodo de humedad, a través del cual ocurre el proceso electroquímico. En esta zona, existe una relación directa entre la cantidad de sal en la atmosfera y la tasa de corrosión. Además, los materiales a menudo están expuestos a la radiación solar, lo que degrada la eficiencia del recubrimiento orgánico.
<b>Zona de salpicadura</b>	Esta zona tiene la mayor tasa de corrosión metálica debido a la atmósfera aireada, lo que permite un fácil acceso al oxígeno disuelto para la reacción electroquímica. Además, debido a las mareas y el viento, esta parte de la estructura a veces está húmeda.
<b>Zona de marea</b>	Si la marea cambia, los objetos se sumergen y emergen alternativamente, estando sujetos a la zona de salpicadura. Cuando los materiales están sumergidos, quedan expuestos al agua de mar bien aireada, lo que favorece la adhesión y el desarrollo de bioincrustaciones. La tasa de corrosión se ve afectada por el flujo de las mareas, con mayores tasas de corrosión a medida que aumenta dicho flujo.
<b>Zona sumergida</b>	La sección de la estructura que está constantemente sumergida en el mar. La disponibilidad de oxígeno para transportarse a los sitios catódicos de las superficies de las sustancias determina la tasa de corrosión en esta zona. Dado que la concentración de oxígeno varía con la profundidad y disminuye a medida que aumenta la distancia desde la superficie, la tasa de corrosión es más lenta a mayor profundidad.
<b>Sedimentos</b>	La concentración de oxígeno en la estructura enterrada es baja, y podría estar presente el sulfuro de hidrogeno.

## 2.6 Control de la corrosión

El fenómeno de la corrosión ha sido objeto de numerosos estudios, lo que ha permitido el desarrollo de diversos métodos para su control. No obstante, la eficacia de estos métodos depende de varios factores que inciden en el proceso corrosivo. Entre los aspectos fundamentales a considerar se encuentran: la selección de materiales, que es el primer método a tener en cuenta, aunque este factor tiene limitaciones debido a las condiciones del medio, la geometría y dimensiones del objeto, así como el elevado costo de la operación (Salazar-Jiménez, 2015).

Además, existen otros métodos de control de la corrosión que se emplean a nivel industrial, los cuales incluyen:

- ***Inhibidores***: sustancia química que reduce la velocidad de corrosión para la protección de un material.
- ***Recubrimientos orgánicos***: sustancias a base de polímeros, se utilizan para la protección de materiales mediante la formación de una barrera que impide la penetración de agua u oxígeno, o incrementan la resistividad eléctrica cortando el ciclo de corrosión.
- ***Recubrimientos metálicos***: Se trata de proteger un material con un metal que posea mayor resistencia a la corrosión. Algunos métodos utilizados son el electroplating y el galvanizado.
- ***Recubrimientos no metálicos***: proceso que se lleva a cabo utilizando un material no metálico para crear una capa protectora sobre el material base. El método más utilizado en este caso es el anodizado.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- **Protección catódica:** Este proceso se basa en la modificación del valor de potencial electroquímico del material que se va a proteger haciendo que este se comporte como un cátodo. Existen dos formas de realizar este proceso y es mediante un ánodo de sacrificio o una corriente impresa. La protección catódica se utiliza mayormente en elementos que se encuentran inmersos en aguas salinas o en elementos enterrados.
- **Protección anódica:** Se trata de la disminución del valor de potencial electroquímico del material que se va a proteger, dejando el material en un estado de pasivación, volviéndolo más anódico.

### 2.7 Partes de un buque de carga

Un buque de carga se compone de diferentes partes interconectadas diseñadas para su funcionamiento en el agua correctamente. La estructura principal que podemos encontrar en el buque es: el casco, el cual se observa como la parte principal que otorga la estabilidad y flotabilidad. La estructura superior del buque, donde se encuentra el puente de navegación y las áreas de acomodación. La cubierta, la superficie horizontal del casco que sirve como plataforma para el transporte de objetos y tripulación. El sistema de propulsión, el cual incluye, la maquinaria, hélices y el timón, permitiendo el control del movimiento. También se pueden encontrar partes auxiliares, como el puente de navegación, donde se lleva a cargo la comunicación y navegación del buque, y compartimentos para carga o cabinas para pasajeros, esto dependiendo del propósito del buque. Adicionalmente se puede encontrar los botes salvavidas, luces de navegación que contribuyen a la funcionalidad y seguridad del buque.

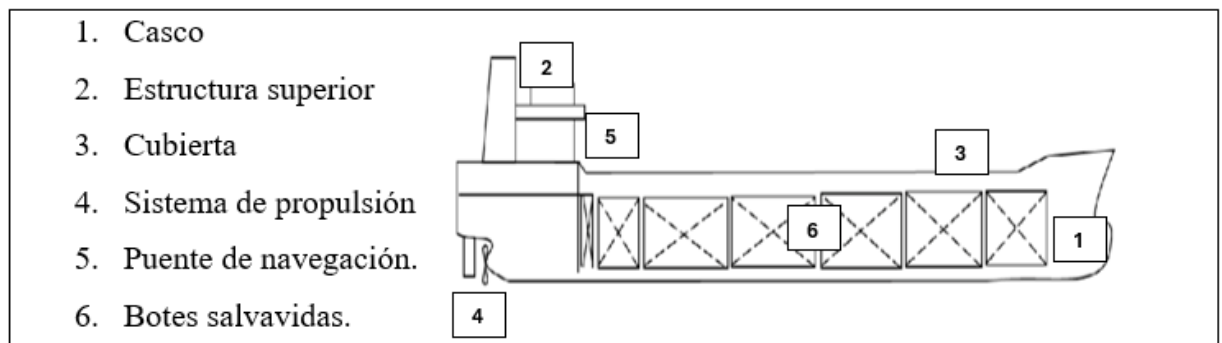
## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- Casco
- Estructura superior
- Cubierta
- Sistema de propulsión
- Puente de navegación.
- Botes salvavidas.

Cada parte del buque juega un rol importante en su operación, asegurando una integración armónica para un transporte marítimo seguro y eficiente.

### Figura 1.

*Esquema dimensional de las partes representativas de un buque de carga. Tomado y editado de [www.ingenieromarino.com](http://www.ingenieromarino.com)*



## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### 3. Metodología

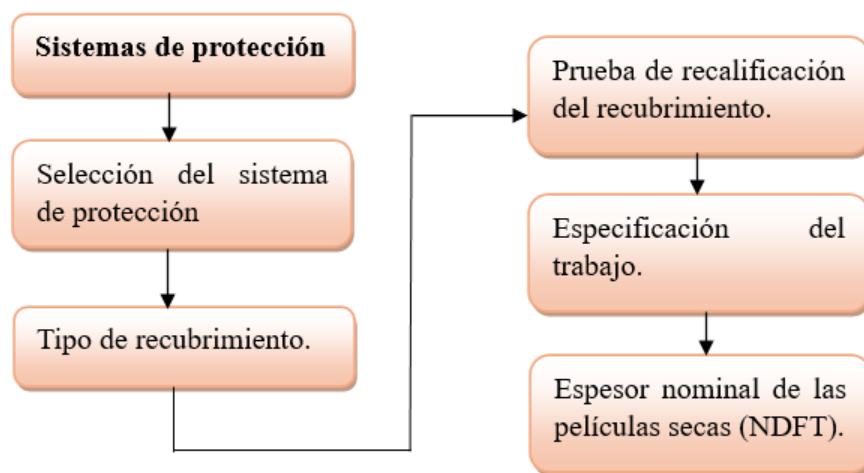
Este proceso se llevó a cabo mediante el seguimiento e investigación de la normativa internacional relevante. El enfoque principal fue identificar las normas relacionadas con diversos aspectos, tales como la preparación de la superficie, la clasificación de ambientes a los que está expuesto el material, la selección de recubrimientos aplicables y, finalmente, la evaluación y el desempeño de dichos recubrimientos. Se estudiaron normativas internacionales de organizaciones como la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Organización Marítima Internacional (IMO), la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), los estándares europeos (EN), los estándares noruegos (NORSOK) y la Asociación Nacional de Ingeniería en Corrosión (NACE).

Estas normas fueron seleccionadas en función de los criterios a evaluar en cada etapa del proceso, los cuales se ilustran de manera general en la Figura 2, donde se presenta un esquema generalizado de los sistemas de protección utilizados en el proceso de control de la corrosión en los buques de carga destinados al transporte sobre aguas marítimas.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Figura 2.**

*Esquema general para la selección de un sistema de protección para la corrosión según la resolución MSC.215(82) de la organización internacional marítima (IMO).*

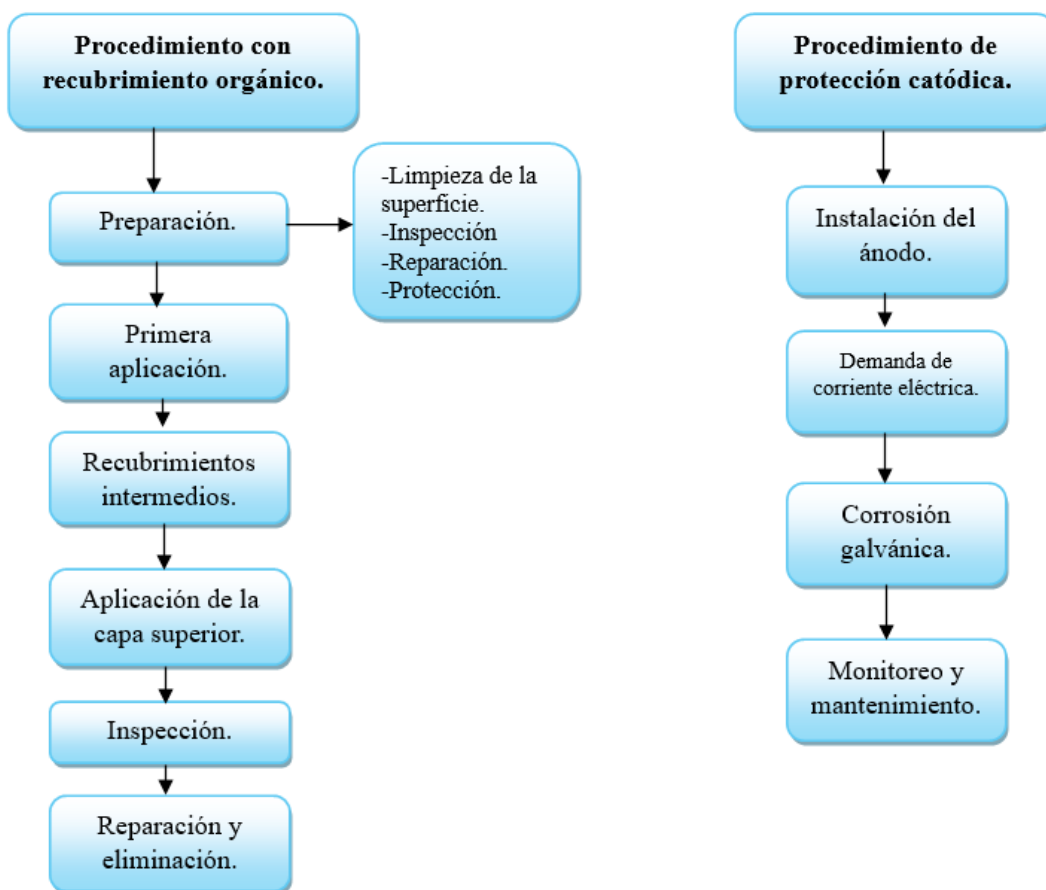


Los sistemas de protección contra la corrosión en buques se pueden dividir en dos importantes partes, la primera se divide en la utilización de recubrimientos orgánicos (pinturas) y la segunda en la protección catódica. Para el desarrollo de ambos procesos se debe llevar una guía, la cual se describe de manera general en la figura 3. Donde se muestra los pasos que se llevan a cabo en cada uno de los sistemas de protección mencionados anteriormente.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Figura 3.**

*Procedimientos de los sistemas de protección empleados contra la corrosión en los buques de carga marina.*

**4. Resultados**

Los sistemas utilizados para la protección de superficies contra la corrosión se pueden dividir en varias etapas: la preparación de la superficie del material, la selección de los recubrimientos adecuados, la aplicación del recubrimiento y, finalmente, la evaluación del trabajo final. Cada una de estas etapas se evalúa mediante normas internacionales, las cuales aseguran el correcto funcionamiento de las piezas protegidas. El proceso se ha dividido en dos partes, en las

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

cuales se analizarán las normativas aplicables para cada fase. En la tabla 2 se presenta de forma resumida las principales normas analizadas en el presente estudio, incluyendo el proceso específico donde deben ser utilizadas: selección, aplicación o evaluación.

**Tabla 2.**

*Normativa internacional aplicable a la selección, aplicación o evaluación de recubrimientos utilizados en ambientes marítimos.*

<b>Estándar</b>	<b>Uso Específico</b>	<b>Detalles</b>
<b>ISO 12944-2</b>	Selección	Clasifica los ambientes marinos (por ejemplo, costa afuera, costeros) para guiar la selección de sistemas de recubrimiento.
<b>ISO 12944-5</b>	Selección	Especifica sistemas de pintura protectora para acero en ambientes marinos.
<b>ISO 12944-9</b>	Selección, Evaluación	Cubre sistemas de pintura protectora y métodos de prueba para estructuras costa afuera.
<b>ISO 20340</b>	Selección, Evaluación	Define los requisitos de rendimiento para recubrimientos protectores en estructuras marinas y costa afuera.
<b>ISO 15711</b>	Evaluación	Prueba la resistencia de los recubrimientos al desprendimiento catódico en agua de mar o agua de mar artificial.
<b>ISO 21809-2</b>	Selección, Aplicación	Especifica recubrimientos de epoxi fusionado para tuberías sumergidas en ambientes marinos.
<b>ISO 9223</b>	Selección	Clasifica la corrosividad de atmósferas marinas para guiar la selección de recubrimientos.
<b>ISO 9227</b>	Evaluación	Prueba de niebla salina para simular la corrosión marina y evaluar el rendimiento del recubrimiento.
<b>ISO 4628-3</b>	Evaluación	Evalúa el grado de oxidación en superficies de acero recubiertas expuestas a ambientes marinos.
<b>ISO 4628-8</b>	Evaluación	Evalúa la delaminación y corrosión alrededor de una rayadura en acero recubierto en condiciones marinas.
<b>ASTM D1141</b>	Evaluación	Prepara agua de mar sustituta para probar el rendimiento de recubrimientos en ambientes marinos.
<b>ASTM D5894</b>	Evaluación	Prueba de exposición cíclica a niebla salina/UV para simular condiciones marinas.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

<b>ASTM G8</b>	Evaluación	Prueba el desprendimiento catódico de recubrimientos en tuberías en ambientes marinos.
<b>ASTM G52</b>	Evaluación	Evalúa metales y aleaciones expuestos a agua de mar superficial.
<b>NACE SP0108</b>	Selección, Aplicación	Proporciona directrices para el control de corrosión en estructuras costa afuera usando recubrimientos protectores.
<b>NACE SP0178</b>	Selección, Aplicación	Cubre el diseño, fabricación e inspección de sistemas de recubrimiento marino para estructuras costa afuera.
<b>NACE TM0104</b>	Evaluación	Evalúa sistemas de recubrimiento para tanques de lastre en plataformas costa afuera.
<b>EN ISO 12944</b>	Selección, Aplicación	Estándar integral para la protección contra la corrosión de estructuras de acero en ambientes marinos.
<b>EN ISO 20340</b>	Selección, Evaluación	Requisitos de rendimiento para recubrimientos protectores en estructuras marinas y costa afuera.
<b>EN 10288</b>	Aplicación	Especifica recubrimientos externos de polietileno para tuberías costa afuera.
<b>EN 10290</b>	Aplicación	Cubre recubrimientos de epoxi aplicados en líquido para tuberías costa afuera.
<b>EN 13173</b>	Aplicación	Directrices para la protección catódica de estructuras flotantes de acero en ambientes marinos.
<b>BS 6349-1</b>	Selección	Directrices generales para la protección contra la corrosión en ambientes marinos.
<b>DNVGL-RP-B401</b>	Selección, Aplicación	Directrices de diseño para protección catódica en ambientes marinos y costa afuera.
<b>IMO PSPC</b>	Selección, Aplicación	Estándares de rendimiento para recubrimientos protectores en tanques de lastre y estructuras marinas.
<b>NORSOK M-501</b>	Selección, Aplicación	Estándares de preparación de superficies y recubrimientos protectores para ambientes marinos y costa afuera.

Las normas internacionales relacionadas con la protección contra la corrosión de aceros en ambientes marinos provienen de diversas organizaciones, cada una con un enfoque y alcance específico. La Organización Internacional de Normalización (ISO) es una de las más reconocidas a nivel global, con estándares como la serie ISO 12944, que abarca desde la clasificación de ambientes corrosivos hasta la selección y evaluación de sistemas de recubrimiento. Esta serie es ampliamente utilizada en proyectos de ingeniería civil, infraestructura marina y exterior. Por otro

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

lado, la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) se enfoca más en métodos de prueba y evaluación, como la ASTM D1141, que prepara agua de mar artificial para pruebas de laboratorio, o la ASTM G8, que evalúa la resistencia al desprendimiento catódico en recubrimientos para tuberías submarinas. Estas normas son especialmente relevantes en América y en proyectos internacionales que requieren métodos de prueba estandarizados.

En el ámbito de la industria petrolera y exterior, las normas de la Asociación Nacional de Corrosión de EE. UU. (NACE) son fundamentales. Estándares como el NACE SP0108 y el NACE SP0178 proporcionan directrices detalladas para el control de la corrosión en estructuras costa afuera, incluyendo la selección y aplicación de recubrimientos protectores. Estas normas son ampliamente adoptadas en la industria debido a su enfoque práctico y su adaptación a las condiciones extremas de los ambientes marinos. Por su parte, las Normas Europeas (EN), como la EN ISO 12944 y la EN 10288, armonizan los estándares dentro de la Unión Europea y son ampliamente utilizadas en proyectos europeos y globales. Estas normas son especialmente útiles para la protección de tuberías y estructuras sumergidas, ya que combinan requisitos técnicos con consideraciones ambientales.

Además de estas organizaciones, existen normas específicas para aplicaciones marinas y exterior, como las de Det Norske Veritas y Germanischer Lloyd (DNVGL), la Organización Marítima Internacional (IMO) y el estándar noruego NORSOK. Por ejemplo, el DNVGL-RP-B401 es una referencia clave para el diseño de sistemas de protección catódica en ambientes marinos, mientras que el IMO PSPC establece los requisitos de rendimiento para recubrimientos en tanques de lastre y estructuras de buques. El NORSOK M-501, por su parte, es ampliamente utilizado en la industria petrolera noruega para la preparación de superficies y la aplicación de recubrimientos en

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

condiciones extremas. Estas normas son especialmente valiosas para proyectos en aguas profundas o regiones polares, donde las condiciones ambientales son particularmente desafiantes.

El rango de aplicación de estas normas es amplio y cubre todas las etapas del proceso de protección contra la corrosión. En la selección de recubrimientos, normas como la ISO 12944-2 y la ISO 9223 son esenciales, ya que clasifican los ambientes marinos y ayudan a elegir los sistemas de recubrimiento más adecuados. Para la aplicación de recubrimientos, estándares como la ISO 12944-7, la EN 10288 y la NORSOK M-501 proporcionan directrices detalladas sobre la preparación de superficies y los procesos de aplicación. En cuanto a la evaluación de recubrimientos, normas como la ISO 9227, la ASTM D5894 y la NACE TM0104 definen métodos de prueba para evaluar el rendimiento de los recubrimientos en condiciones marinas. Estas pruebas incluyen la resistencia a la niebla salina, al desprendimiento catódico y a la degradación por exposición a UV y agua de mar.

Sin embargo, a pesar de su amplia aceptación, estas normas tienen ciertas limitaciones. Por ejemplo, algunas normas, como la ISO 12944, pueden no cubrir completamente ambientes extremos, como aguas profundas o regiones polares, donde se requieren estándares más específicos, como el DNVGL-RP-B401 o el NORSOK M-501. Además, no todas las normas son completamente compatibles entre sí. Por ejemplo, los criterios de evaluación en la ISO 4628 pueden diferir ligeramente de los de la ASTM D610, lo que puede generar inconsistencias en proyectos internacionales. Otra limitación es que algunas normas pueden estar desactualizadas en cuanto a nuevas tecnologías de recubrimiento, como los recubrimientos nanocompuestos o de última generación, lo que requiere complementarlas con investigaciones y pruebas adicionales.

En términos de métodos de evaluación, las normas varían según el tipo de prueba y los criterios de aceptación. Por ejemplo, las pruebas de niebla salina, como las definidas en la ISO 9227 y

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

la ASTM B117, son ampliamente utilizadas para simular la corrosión marina, pero pueden diferir en parámetros como la concentración de sal o la temperatura. De manera similar, las pruebas de resistencia al desprendimiento catódico, como las de la ISO 15711 y la ASTM G8, son esenciales para evaluar recubrimientos en estructuras sumergidas, pero pueden variar en los criterios de aceptación. La evaluación de la degradación, por su parte, se realiza mediante normas como la ISO 4628 y la ASTM D610, que evalúan la oxidación y otros tipos de daño, pero usan escalas y criterios ligeramente diferentes.

En cuanto a aplicaciones específicas, algunas normas son más adecuadas que otras. Por ejemplo, para estructuras exteriores, como plataformas petroleras y gasíferas, las normas ISO 20340, Norsok M-501 y DNVGL-RP-B401 son ideales debido a su enfoque en condiciones extremas. Para tuberías submarinas, las normas ISO 21809 y EN 10288 son específicas y proporcionan directrices detalladas para la selección y aplicación de recubrimientos. En el caso de buques y tanques de lastre, el estándar IMO PSPC es el más relevante, ya que establece los requisitos de rendimiento para recubrimientos en estas aplicaciones.

Finalmente, es importante considerar aspectos como los costos y la complejidad de implementación. Algunas normas, como el Norsok M-501 y el DNVGL-RP-B401, pueden requerir equipos especializados y personal capacitado, lo que aumenta los costos. Por otro lado, normas más generales, como la ISO 12944, son más fáciles de implementar, pero pueden no cubrir todas las necesidades de proyectos específicos. Además, la innovación y las nuevas tecnologías de recubrimiento, como los basados en grafeno o cerámicos, pueden no estar completamente cubiertas por las normas existentes, lo que requiere una evaluación adicional. En este sentido, la sostenibilidad también está ganando importancia, con algunas normas comenzando a incorporar

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

requisitos ambientales, como la reducción de compuestos orgánicos volátiles (COV) en los recubrimientos.

En conclusión, la selección y aplicación de normas para la protección contra la corrosión en ambientes marinos debe basarse en el tipo de proyecto, la ubicación geográfica y los requisitos específicos. La combinación de normas y la actualización constante son clave para garantizar la durabilidad y eficacia de los recubrimientos en condiciones marinas desafiantes. Además, es fundamental considerar las limitaciones de cada norma y complementarlas con investigaciones y pruebas adicionales para adaptarse a las nuevas tecnologías y los desafíos emergentes en la industria.

### **4.1 Sistemas de protección**

#### ***4.1.1 Sistema de protección con recubrimiento orgánico***

**4.1.1.1 Preparación de la superficie.** Organizaciones normativas como la ISO establecen las directrices para la preparación de la superficie del material, como se detalla en la Tabla 3, antes de la aplicación de la capa protectora de pintura. La preparación de la superficie de un material es crucial al momento de aplicar un recubrimiento orgánico, ya que influye directamente en la adherencia y efectividad del recubrimiento. Por ello, es esencial conocer los conceptos básicos del proceso, tal como se describe en la ISO 8044. Estos principios deben ser considerados durante todo el sistema de protección, ya que son determinantes en todas las fases del proceso.

Una vez comprendidos los conceptos fundamentales, se procede a la limpieza de la superficie, identificando las áreas, las uniones por soldadura y los bordes que requerirán la aplicación del recubrimiento. Estas áreas se clasifican según los grados de preparación de la

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

superficie, los cuales reflejan la importancia de las imperfecciones visibles, tal como se describe en la ISO 8501. Posteriormente, se lleva a cabo una inspección de la superficie, proceso que se realiza utilizando la ISO 8502, con el objetivo de determinar la presencia de sales solubles en agua, como los cloruros, que puedan estar presentes en la superficie del material.

**Tabla 3.**

*Clasificación de normas internacionales para la preparación de la superficie en el sistema de protección con recubrimiento orgánico.*

	Normas	
	ISO	ASTM
Definición de términos básicos sobre corrosión en metales y aleaciones.	8044	
Limpieza de la superficie.	8501	
Inspección de la superficie	8502	E709
Reparación y protección.	8503	

Finalmente se realiza la reparación y protección de la superficie siguiendo la norma ISO 8503, en la cual se debe tener en cuenta tres factores los cuales influyen en el proceso. Estos factores son la presencia de óxidos y cascarillas de laminación, contaminantes superficiales como sales, polvo, grasas y también el perfil de la superficie.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**4.1.1.2 Selección del recubrimiento.** La selección del recubrimiento se lleva a cabo mediante un proceso guiado y estructurado, tal como se describe en la norma ISO 12944. Esta normativa aborda aspectos clave como la clasificación de los ambientes, las consideraciones de diseño, los tipos de superficie y su preparación, así como los sistemas de protección mediante pintura.

En la clasificación de los ambientes, se define un ambiente corrosivo como aquel en el que se presentan características específicas como salinidad, humedad y agentes químicos, los cuales afectan a un lugar determinado. Estos ambientes influyen en el grado de ataque sobre la superficie del material, como se muestra en la Tabla 4. En esta clasificación, la categoría C1 corresponde a un ambiente relativamente suave, mientras que la categoría C5-M se refiere a un ambiente marino con alta salinidad.

**Tabla 4.**

*Categorías de corrosividad atmosférica en aceros de bajo contenido de carbono. Tomada y adaptada de la norma ISO 12944.*

<b>Categoría de corrosividad</b>	<b>de</b>	<b>Pérdida de masa</b>	<b>de masa</b>	<b>Perdida de espesor</b>
		<b>[g/m<sup>2</sup>]</b>		<b>[μm]</b>
<b>C1 muy baja</b>		≤10		≤ 1.3
<b>C2 Baja</b>		>10 y hasta 200		>1.3 y hasta 25
<b>C3 Media</b>		>200 y hasta 400		>25 y hasta 50
<b>C4 Alta</b>		>400 y hasta 650		>50 y hasta 80
<b>C5 Muy alta</b> <b>(Industrial)</b>		>650 y hasta 1500		>80 y hasta 200
<b>C5-M</b> <b>(Marino)</b>	<b>Muy alto</b>	>650 y hasta 1500		>80 y hasta 200

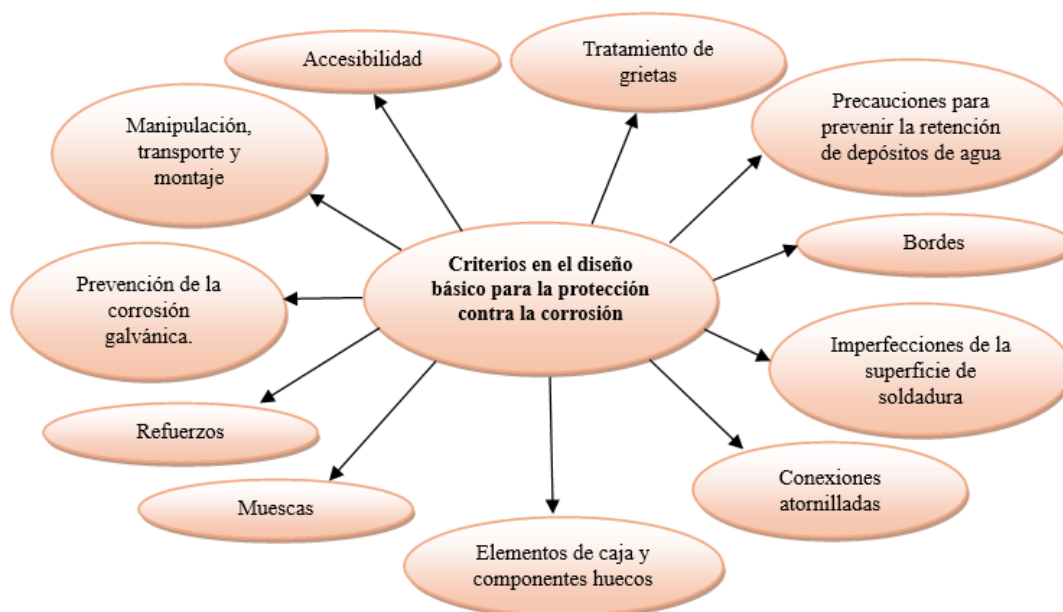
## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

Las consideraciones de diseño son fundamentales para minimizar las irregularidades en la estructura y reducir su exposición a la corrosión. Para lograr esto, se deben evaluar los criterios básicos de protección contra la corrosión, los cuales se detallan en la Figura 4.

En cuanto a la preparación de la superficie y los tipos de superficie, el objetivo principal es garantizar que la superficie permita una adhesión adecuada de la pintura, evitando la presencia de contaminantes que puedan iniciar el proceso corrosivo y asegurando la eliminación de cualquier deterioro previo. Es crucial que las superficies a tratar estén en un lugar accesible, bien iluminado, y que el personal encargado del proceso cuente con el conocimiento técnico necesario para aplicar correctamente los procedimientos, en conformidad con las especificaciones requeridas.

**Figura 4.**

*Criterios en el diseño básico para la protección contra la corrosión tomados de la norma ISO 12499.*



## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

En los sistemas de protección de pintura, la primera capa es muy importante porque esta provee una adhesión al metal suficientemente rugoso y esta primera capa permite la adhesión consecutiva de las siguientes capas. Esto permitiendo y asegurando que la superficie presente una alta durabilidad y su manejo adecuado en las condiciones evaluadas.

**4.1.1.3 Evaluación e inspección.** La evaluación e inspección de la superficie es uno de los procedimientos finales esenciales para determinar el desempeño del material. En este proceso, se emplean normas como la ISO 2808, que permite medir el espesor de la película seca mediante calibradores magnéticos. Además, se utiliza la ISO 8502, que proporciona directrices para el control de calidad, asegurando la adherencia de las capas de pintura en la superficie del material.

### *4.1.2 Sistema de protección catódica*

**4.1.2.1 Selección del diseño y sistema.** El sistema de protección catódica se define a través del cálculo, el tamaño y la ubicación de los ánodos necesarios para proteger contra la corrosión. Estos términos básicos están establecidos en la norma EN 12473, que detalla los principios generales de la protección catódica en ambientes de agua salada. Para implementar este sistema, es crucial considerar las diferentes zonas presentes en el ambiente marino, como se ilustra en la Figura 5, así como tres parámetros clave: la subdivisión de la estructura, la descripción del componente y las condiciones de servicio, los cuales se encuentran detalladamente especificados en la norma EN 13174.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**4.1.2.2 Instalación del ánodo y demanda de corriente eléctrica.** La instalación del ánodo debe realizarse de acuerdo con las especificaciones de construcción, siguiendo los estándares internacionales establecidos en normas como la NACE RP0176 o la M-CR503 de Noruega, las cuales detallan los parámetros para la fabricación de los ánodos. Para su construcción, se deben considerar valores de potencial y corriente dentro de ciertos límites de temperatura, como se muestra en la Tabla 5. La manufactura de estos ánodos implica realizar un examen de preproducción, así como la selección adecuada de recubrimientos, materiales de acero insertado y materiales del ánodo, que pueden ser de aluminio o zinc. Para lograr una protección efectiva, es esencial seleccionar una densidad de corriente adecuada para cada componente, de acuerdo con las condiciones específicas en las que se encuentra el sistema. Este proceso está detallado en la norma EN 13174.

**Tabla 5.**

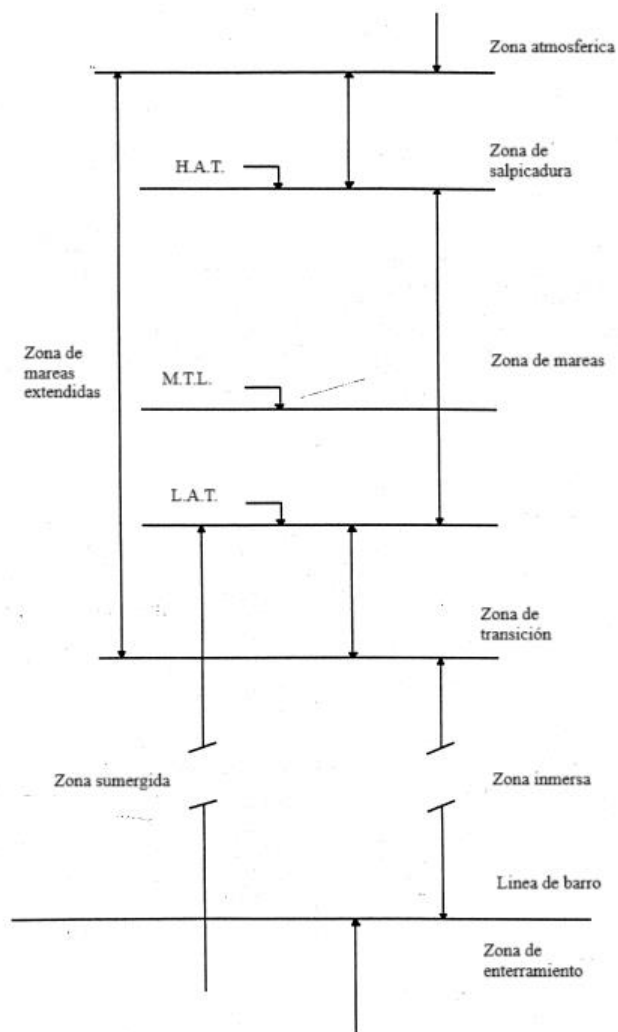
*Valores de potencial de diseño para ánodos de sacrificio. Adaptada de M-CR503*

Tipo de Ánodo	Agua marina		Sedimentos		Límites de temperatura °C
	Potencial mV Ag/AgCl	Capacidad de corriente Ah/kg	Potencial mV Ag/AgCl	Capacidad de corriente Ah/kg	
Aluminio	-1050	2000	-1000	1730	Max. 30
Zinc U.S. Mil Spec 18001	-1030	780	-980	750 580	Max. 30 30-50

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Figura 5.**

*Representación esquemática de los niveles y zonas en el ambiente marino. Adaptada de la norma EN 13174.*



Nota: Los significados de las abreviaciones son: L.A.T: nivel de marea astronómica baja. M.T.L: nivel de marea medio y H.A.T: nivel de marea astronómica alta.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**4.1.2.3 Sistema de corriente impresa o sistema de ánodo galvánico.** El sistema de corriente impresa proporciona protección mediante corriente continua, conectando la estructura de acero al terminal negativo y los ánodos al terminal positivo. Esto permite suministrar un nivel de potencia adecuado para proteger la superficie de la estructura. Por otro lado, el sistema de ánodo galvánico utiliza ánodos hechos de aleaciones electromagnéticas que se corroen al recibir corriente, estando conectados directamente a la estructura.

La selección del sistema debe llevarse a cabo conforme a la norma EN 13174, que establece los criterios específicos para la elección del sistema adecuado.

**4.1.2.4 Monitoreo y mantenimiento.** El proceso de protección catódica debe ser monitoreado de manera continua para asegurar el control y la eficiencia de los parámetros, garantizando así su correcto funcionamiento en la estructura. Este monitoreo se centra en tres datos clave: la medición de potenciales, la medición de la salida de corriente eléctrica del ánodo en el sistema de corriente impresa y el control de la fuente de alimentación de la corriente impresa. Estos aspectos se evalúan según las normativas EN 13174 y BS 7361.

## **4.2 Procedimiento para los sistemas de protección de corrosión con recubrimientos orgánicos y protección catódica en los cascos de los buques de carga.**

El procedimiento se establece mediante la norma ISO 9001 que muestra los pasos, como se observa en la figura 6, que se deben llevar a cabo en el momento de realizar un proceso en específico para una organización. Este proceso ejecuta una secuencia organizada con el fin de garantizar un buen manejo de los estándares de calidad exigidos internacionalmente para obtener un desarrollo fácil y un resultado claro.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### ***4.2.1 Objetivo de la aplicación***

Definir el objetivo del procedimiento es esencial para garantizar el cumplimiento adecuado de todo el proceso. En este caso, el objetivo principal es establecer un procedimiento para la aplicación de sistemas de protección contra la corrosión mediante recubrimientos orgánicos, abarcando desde la preparación de la superficie, la aplicación de las capas de pintura, hasta la inspección final. De manera similar, se describe el proceso para la implementación del sistema de protección catódica. Todo el proceso se desarrolla mediante la comparación de normas internacionales relevantes.

### ***4.2.2 Referencias normativas***

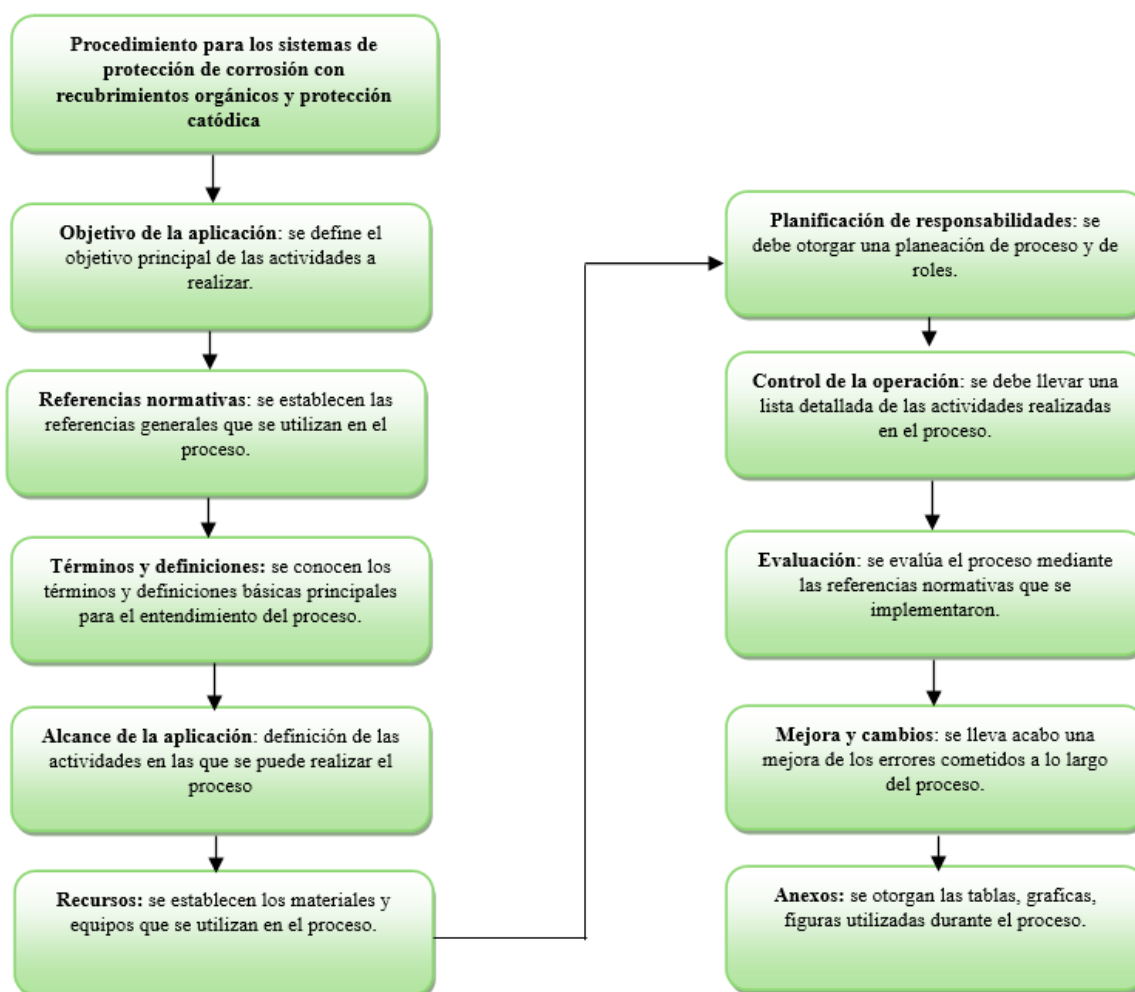
La normativa y estándares internacionales son los que garantizan el buen manejo del procedimiento, debido a que muestran el paso a paso que se debe dar para cumplir con los requisitos necesarios. Estas normas y estándares son:

- ISO – Organización internacional de Normalización
- ASTM – American Society for testing and materials
- IMO – Organización marítima internacional
- NACE – National Association Corrosion
- EN – European Standards
- BS – British Standards
- Norsok Standards

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

Figura 6.

*Procedimiento para los sistemas de protección de corrosión con recubrimientos orgánicos y protección catódica según la norma ISO 9001.*



#### 4.2.3 Términos y definiciones

Se seleccionaron los términos y definiciones que tuvieran más relevancia en el proceso, esto con el fin de que las personas que revisen el proceso se familiaricen y puedan comprender sobre lo que se está llevando a cabo. Para este caso las definiciones principales son las siguientes:

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- **Corrosión:** interacción fisicoquímica entre un metal y el ambiente que da como resultado cambios en las propiedades del metal, dando como resultado un deterioro de este.
- **Durabilidad:** es el tiempo de vida de un sistema de protección de pintura. También se da como un parámetro que ayuda a calcular la programación del mantenimiento.
- **Pintura:** es un material de recubrimiento pigmentado el cual forma una película opaca cuando se aplica a una superficie creando una capa protectora, de decoración o con propiedades específicas para la aplicación.
- **Electrolito:** es un líquido o un componente líquido en el cual la corriente fluye mediante el transporte de electrones.
- **Ánodo:** es un electrodo por el cual la corriente directa entra al electrolito.
- **Cátodo:** es el electrodo por el cual la corriente directa sale del electrolito.
- **Ánodo de sacrificio:** es un ánodo que se usa en las estructuras por medio de la acción galvánica.
- **área catódica:** es la parte de la superficie del metal el cual actúa como cátodo.
- **Protección catódica:** es un método que se utiliza como protección contra la corrosión, haciendo que la corriente fluya del ambiente al ánodo.
- **Zona de salpicadura:** es la parte de la estructura donde intermitentemente se encuentra seco o mojado debido a la acción de la marea.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### *4.2.4 Alcance de la aplicación*

El alcance de este procedimiento se da para el estudio de sistemas de protección en cascos de buques presentes en aguas con salinidad alta, presentando un procedimiento generalizado para su mejor funcionamiento.

### *4.2.5 Recursos*

En procesos como estos se debe conocer los recursos necesarios para el estudio de los sistemas de protección, como:

- Materiales y químicos de limpieza.
- Medidores de películas de pintura seca.
- Medidores de películas de pintura húmedas.
- Lectores de corriente directa.
- Ánodos de sacrificio.
- Cables y terminaciones.

### *4.2.6 Planificación de las responsabilidades*

Para llevar a cabo un proceso seguro y óptimo se deben otorgar ciertas responsabilidades al personal encargado de ejecutar todo el procedimiento y con ello contamos con:

- **personal de limpieza:** este grupo se encarga de llevar a cabo el primer proceso de limpieza de las superficies a las que se les va a aplicar el recubrimiento.
- **aplicadores:** este grupo se encargará de aplicar las capas de recubrimiento necesario en el proceso de pintura.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- **personal técnico:** estas personas se encargan de la instalación de los demás sistemas de protección en la superficie.
- **supervisores:** son el personal encargado de que las tareas se ejecuten de manera correcta y eficiente en cada paso del proceso
- **inspector:** es la persona encargada de evaluar el final del proceso siguiendo los estándares presentados en la normativa.

### *4.2.7 Control de la operación*

En el control de la operación, se elabora una lista detallada de las actividades necesarias para llevar a cabo el proceso de manera integral, desde su inicio hasta su finalización. Estas actividades se presentan de manera específica al inicio de los resultados, donde se destaca cada norma o estándar utilizado en cada uno de los procesos.

### *4.2.8 Evaluación*

La evaluación es uno de los pasos más importantes, ya que permite compilar toda la información previamente recopilada y verificar que cumpla con las especificaciones o requisitos establecidos en las normativas internacionales. Esto asegura que se cumpla adecuadamente con los criterios necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de la pieza final.

### *4.2.9 Mejora y cambios*

Una vez realizada la inspección y evaluación por parte del personal calificado, este decide que cambios o modificaciones deberán ser realizadas debido a que no cumple con los estándares básicos regidos por la reglamentación.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### *4.2.10 Anexos*

Las normas, tablas, figuras que se utilizan en el proceso deberán ser anexadas al final del documento, esto con el fin de ayudar al personal en el entendimiento del proceso y su rápido desarrollo.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

### 5. Conclusiones

En el estudio de las normativas internacionales, se determinó que los estándares para la protección contra la corrosión están disponibles en diversos formatos y son aplicados a nivel mundial. Estos estándares proporcionan directrices fundamentales para la implementación de sistemas de protección, como los recubrimientos orgánicos y la protección catódica demostrando que la diversidad de normativas permite adaptarse a diferentes condiciones y entornos operativos, optimizando así los procedimientos para cada tipo de estructura y ambiente.

La organización del procedimiento permitió establecer una clasificación detallada de los sistemas de protección contra la corrosión utilizados a nivel internacional en buques de carga. Este análisis demostró de manera clara qué normativas y estándares internacionales pueden aplicarse en cada fase del procedimiento, asegurando el cumplimiento de los protocolos establecidos. De esta manera, se garantizó que todas las etapas, desde la preparación de superficies hasta la evaluación final, siguieran las mejores prácticas y normativas vigentes, optimizando la eficacia y durabilidad de los sistemas de protección.

La combinación del sistema de protección mediante recubrimientos orgánicos, seguida de la protección catódica, permitió un manejo adecuado tanto del tiempo como de las herramientas necesarias para prevenir la corrosión en los cascos de los buques. Al cumplir con los criterios establecidos por las entidades internacionales, se logró prolongar la vida útil de las estructuras, optimizando su desempeño y resistencia a las condiciones ambientales adversas y finalmente, se presentó un proceso estructurado que facilita el manejo adecuado de las normativas, proporcionando una herramienta útil para el personal encargado de implementar estos sistemas de protección, asegurando así su correcta aplicación y el cumplimiento de los estándares internacionales.

### Referencias bibliográficas

- Dalmora, G. P. V., Borges Filho, E. P., Conterato, A. A. M., Roso, W. S., Pereira, C. E., & Dettmer, A. (2025). METHODS OF CORROSION PREVENTION FOR STEEL IN MARINE ENVIRONMENTS: A REVIEW. [MÉTODOS DE PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN DEL ACERO EN AMBIENTES MARINOS: UNA REVISIÓN.] *Results in Surfaces and Interfaces*, 100430.
- EN, B. (2001). 13174: 2001. Cathodic Protection for Harbour Installation.
- EN, B. (1991). 7361-1: 1991, Cathodic Protection, Part 1: Code of Practice for Land and Marine Application. British Standard Institution (BSI), London, UK.
- Galvin, R., Hanley, C., Ruane, K., Murphy, J. J., & Jaksic, V. (2020). Environmental impact on corrosion rates of steel piles employed in marine environment. [Impacto ambiental en las tasas de corrosión de pilotes de acero empleados en el entorno marino.]
- Harsimran, S., Kumar, S., & Rakesh, K. R. (2021). OVERVIEW OF CORROSION AND ITS CONTROL: a CRITICAL REVIEW. [VISIÓN GENERAL DE LA CORROSIÓN Y SU CONTROL: una REVISIÓN CRÍTICA.] *Proceedings On Engineering Sciences*, 3(1), 13-24. <https://doi.org/10.24874/pes03.01.002>
- Holtsbaum, W. Brian. (2016). *Cathodic Protection Survey Procedures (3rd Edition)*. NACE International. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCPSPE00F/cathodic-protection-survey/cathodic-protection-survey>

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- Iannuzzi, M., & Frankel, G. S. (2022). The carbon footprint of steel corrosion. [La huella de carbono de la corrosión del acero.] *NPJ Materials Degradation*, 6(1), 101.
- ISO 8501-1. (2007). Preparation of Steel Substrates Before Application of Paints and Related Products—Visual Assessment of Surface Cleanliness—Part 1: Rust Grades and Preparation Grades of Un-coated Steel Substrates and of Steel Substrates After Overall Removal of Previous Coatings.
- ISO 8502-6. Preparation of Steel Substrates Before Application of Paints and Related Products—Tests for the Assessment of Surface Cleanliness—Part 6: Extraction of Soluble Contaminants for Analysis—The Bresle Method.
- ISO 8044 (1999). Corrosión de metales y aleaciones – conceptos y definiciones básicas. Organización Internacional de Normalización.
- ISO 12944-1. (2011). Paints and Varnishes—Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 1: General introduction.
- ISO 12944-2. (2017). Paints and Varnishes—Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 2: Classification of environments.
- ISO 12944-3. (1998). Paints and Varnishes—Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems—Part 3: Design considerations.
- Koch, G. (2017). Cost of corrosion. Trends in oil and gas corrosion research and technologies [Costo de la corrosión. Tendencias en la investigación y tecnologías de corrosión en petróleo y gas], 3-30.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- Lawal, S. L., Afolalu, S. A., Jen, T. C., & Akinlabi, E. T. (2024). Corrosion Control and its Application in Marine Environment-A Review.[Control de la corrosión y su aplicación en el entorno marino - Una revisión] *Solid State Phenomena*, 355, 61-73.
- Morgan, John. (1987). *Cathodic Protection (2nd Edition) - 7.1 Sea Water Properties.* (pp. 251). NACE International. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt007YCSJ3/cathodic-protection-2nd/sea-water-properties>
- NACE Standard RP0176. (1976). Corrosion Control of Steel-Fixed Offshore Platforms Associated with Petroleum Production.
- Piere, R. R. (2008). Corrosion Engineering-Principles and Practice.[ Ingeniería de Corrosión: Principios y Práctica] Pag 1-33.
- Salazar-Jiménez, J. A. (2015). Introduction to Corrosion Phenomena: Types, Influencing Factors and Control for Material's Protection. [Introducción a los fenómenos de corrosión: tipos, factores influyentes y control para la protección de materiales]. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(3), 127-136.
- Standard, N. (1997). Cathodic protection. m-503, September.
- Shokri, A., & Fard, M. S. (2022). Corrosion in seawater desalination industry: A critical analysis of impacts and mitigation strategies.[Corrosión en la industria de desalinización de agua de mar: un análisis crítico de los impactos y estrategias de mitigación]. *Chemosphere*, 307, 135640.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

- Shkolnikov, V. M. (2014). *Hybrid Ship Hulls: Engineering Design Rationales*. [Casco de buques híbridos: Racionalidades del diseño de ingeniería]. Butterworth-Heinemann.
- Shreir, L. L. (Ed.). (2013). *Corrosion: corrosion control*. [Corrosión: control de la corrosión.] Newnes. Part 1. General Aspects of Corrosion, Corrosion Control, and Corrosion Prevention.
- Valdez, B., Ramirez, J., Eliezer, A., Schorr, M., Ramos, R., & Salinas, R. (2016). Corrosion assessment of infrastructure assets in coastal seas. [Evaluación de la corrosión de los activos de infraestructura en mares costeros] *Journal of Marine Engineering & Technology*, 15(3), 124-134.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

## Apéndices

## Apéndice A: Grados de preparación de la superficie según la norma ISO 8501

Tabla 6.

*Grados de preparación de la superficie según la norma ISO 8501*

<b>Grado de preparación según la norma ISO 8501</b>	<b>Descripción</b>
St2	<b>Limpieza con herramientas manuales:</b> Se eliminan todas las imperfecciones, como cascarillas de laminación, incrustaciones de óxido, pintura suelta, etc.
St3	<b>Limpieza con herramientas eléctricas:</b> Se eliminan todas las imperfecciones, como, pintura suelta, cascarillas de laminación, incrustaciones de óxido.
Sa3	<b>Limpieza con chorro a presión de material abrasivo hasta alcanzar un “metal blanco”:</b> eliminación de las cascarillas de laminación, óxidos, pintura o materias extrañas mediante el uso de abrasivos. El metal blanco se conoce como una superficie de color grisáceo que forma un patrón de anclaje adecuado para el revestimiento.
Sa2	<b>Limpieza comercial con chorro a presión de material abrasivo:</b> Mediante el uso de abrasivos se eliminan óxidos, herrumbre, escamas de laminación o materias extrañas. Las ligeras sombras, rayaduras o decoloración causada por las manchas de óxido o residuos ligeros de pintura pueden permanecer si la superficie esta picada.
Sa1	<b>Limpieza superficial con chorro a presión de material abrasivo:</b> Mediante el uso de abrasivos se eliminan óxidos, herrumbre, escamas de laminación o materias extrañas y se especifican a medida que el proceso avance. No es necesario la

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

	eliminación de todas las imperfecciones, pero si deben estar firmes y la superficie debe ser desgastada para que haya una buena adhesión de la pintura.
<b>Sa2 - 1/2</b>	<b>Limpieza con chorro a presión hasta alcanzar casi un “metal blanco”:</b> Se eliminan casi todas las imperfecciones (óxidos, escamas de laminación, incrustaciones, pintura o materias extrañas) mediante el uso de abrasivos donde al menos un 95 por ciento por cada pulgada cuadrada de superficie este libre de toda imperfección visible y las demás se limitan a la decoloración.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Apéndice B:** Descripción de un sistema de protección con recubrimiento orgánico de tres capas de manera general.

**Tabla 7.**

*Descripción de un sistema de protección con recubrimiento orgánico de tres capas de manera general.*

Capa de recubrimiento (Pintura)	Descripción
<b>Capa base</b>	Esta capa es conocida como “primer” y es la que se encarga para brindar una protección de sacrificio contra la corrosión. Esta protección por sacrificio (protección catódica) se realiza cuando el elemento de la capa base se comporta como un ánodo en presencia del metal que está protegiendo.
<b>Capa intermedia</b>	Esta capa se utiliza como un inhibidor para la corrosión, otorgando una protección adicional a la capa base. También trabaja en conjunto con capas bases que brinden la protección catódica, dejando la oxidación en el ánodo de sacrificio como última opción llegado el caso los otros mecanismos fallen
<b>Capa final</b>	Esta capa brinda el acabado final y es utilizada como una barrera protectora de la superficie del metal y por ende de las demás capas.

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Apéndice C:** criterios principales para la protección del acero contra la corrosión mediante pintura.

**Tabla 8.**

*Rangos de durabilidad estimados para un sistema de recubrimiento según la norma ISO 12944*

<b>Rangos de durabilidad</b>	<b>Tiempo estimado</b>
<b>Durabilidad baja (L)</b>	Hasta 7 años
<b>Durabilidad media (M)</b>	7 a 15 años
<b>Durabilidad alta (H)</b>	15 a 25 años
<b>Durabilidad muy alta (VH)</b>	>25 años

**Tabla 9.**

*Condiciones en las que el material se encuentra sumergido según la norma ISO 12944.*

<b>Condiciones sumergidas</b>	
<b>Im 1</b>	Agua dulce
<b>Im 2</b>	Agua de mar o salobre
<b>Im 3</b>	Tierra
<b>Im 4</b>	Agua de mar o salobre con protección catódica

## CORROSIÓN EN BUQUES DE CARGA

**Tabla 10.**

*Número recomendado de referencia para la medición de espesores secos según la norma ISO 19840.*

<b>Tamaño de estructura (Área pintada) m<sup>2</sup></b>	<b>Número máximo recomendado de áreas de referencia</b>	<b>Porcentaje máximo recomendado de áreas de referencia relativo al total</b>
<b>≤ 5000</b>	1	0.3
<b>&gt;5000 ≤ 10000</b>	2	0.3
<b>&gt;10000 ≤ 25000</b>	3	0.2
<b>&gt;25000 ≤ 50000</b>	4	0.15
<b>&gt;50000</b>	5	0.1