



**Universidad
de La Laguna**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA,
MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL DE LA
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA.**

TRABAJO FIN DE GRADO

Corrosión:

Estudio de protección catódica en un buque

Darío Hernández Machín

Julio 2019

Corrosión:

Estudio de protección catódica en un buque



Directores:

- María Hernández Molina
- María Milagros Laz Pavón

Nombre:

- Darío Hernández Machín

Grado:

- Tecnologías Marinas

Fecha:

- Julio 2019

AGRADECIMIENTO:

A mis **PADRES** por la ayuda y apoyo recibido desde el primer día en que decidí tomar este camino y sin los cuales no habría sido imposible llegar hasta este punto.

A mi tía Marisol y Francisco por la confianza, la ayuda y los ánimos que ha depositado en mí desde el primer día que llegue a Tenerife para realizar los estudios.

A mis directoras de proyecto y resto de profesores que de una manera u otra me han ayudado a formarme, aprender y completar mis estudios durante estos años.

A mis familiares, amigos y resto de personas que han confiado en mí y me han apoyado durante estos años.

A TODOS ELLOS, MUCHAS GRACIAS.

ÍNDICE

1. Resumen	1
2. Definición de corrosión	3
3. Clasificación de la corrosión.....	6
3.1. Clasificación de la corrosión atendiendo al tipo de pila.....	6
3.1.1 Pilas de electrodos diferenciales.....	6
3.1.2 Pilas de concentración.....	6
3.1.3 Pilas de temperatura diferencial.....	6
3.2. Clasificación según el aspecto externo o propiedades físicas.....	7
3.2.1. Ataque uniforme	7
3.2.2. Picadura.....	7
3.2.3. Corrosión selectiva	7
3.2.4. Corrosión intergranular	7
3.2.5. Tensión por corrosión	7
3.2.6. Corrosión por fricción.....	7
4. Tipos de corrosión.....	8
4.1. Corrosión galvánica	8
4.2. Corrosión por aireación diferencial	10
4.2.1. Corrosión en la gota o gota de Evans	11
4.2.2. Ataque en hendiduras.....	11
4.2.3. Corrosión filiforme.....	12
4.2.4. Corrosión en línea de agua	12
4.3. Corrosión selectiva.....	13
4.4. Corrosión por picadura	14
4.5. Corrosión intergranular	15
4.6. Corrosión bajo tensión	16
4.7. Corrosión por fatiga.....	17
4.8. Corrosión por fricción	18
4.9. Corrosión por fragilización de hidrogeno.....	20

4.10. Corrosión microbiológica	21
4.11. Corrosión por corriente vagabunda	22
5. Control de la corrosión	23
5.1. Introducción.....	23
5.2. Protección anódica.....	24
5.2.1. Pinturas antioxidantes	24
5.3. Protección catódica.....	25
5.3.1. Protección catódica mediante ánodos de sacrificio	27
5.3.1.1 Datos a tener en cuenta para calcular la protección catódica del casco de un buque.	27
5.3.1.2. Densidad de corriente necesaria.....	28
5.3.1.3. Vida del ánodo	28
5.3.1.4. Numero de ánodos	28
5.3.1.5. Correcta colocación de los ánodos	29
5.3.2. Protección catódica mediante corriente impresa	32
5.3.2.1. Fuente de corriente.....	33
5.3.2.2. Propiedades de los ánodos auxiliares.....	34
5.3.2.3. Ventajas y limitaciones	39
6. Estudio: Costes de la protección catódica para el “Volcán de Taburiente”	41
6.1. Buque utilizado en el estudio	42
6.2. Ánodos de sacrificio	43
6.2.1. Durabilidad de los ánodos	44
6.2.2. Tipo de ánodos utilizados	46
6.2.3. Cálculo del peso total de los ánodos.....	46
6.2.4. Número de ánodos utilizados	50
6.2.5. Cálculo de costes	51
6.3. Corriente impresa.....	53
6.3.1. Unidad de control.....	55
6.3.2. Ánodos dispersores	55

6.3.3. Cableado.....	55
6.3.4. Cálculo de costes	56
6.3.4.1. Costes totales	58
6.4. Comparación	60
7. Conclusión.....	61
7.1. Conclusión final.....	62
8. Bibliografía	65
8.1. Bibliografía	65
8.2. Enlaces consultados	65
8.3. Figuras	69
9. Anexo	72
9.1. Tipo de ánodos utilizados	77
9.2. Unidad de control	74
9.3. Ánodos dispersores	75
9.4. Buque de estudio	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pila galvánica	3
Figura 2: Diagrama de Pourbaix para Acero	4
Figura 3: índice galvánico de los metales	8
Figura 4: corrosión galvánica en metales diferentes	9
Figura 5: Lugares donde se producen corrosión por aireación diferencia	10
Figura 6: Gota de Evans	11
Figura 7: ataque en una hendidura.	11
Figura 8: Corrosión filiforme.	12
Figura 9: corrosión en línea de agua	12
Figura 10: corrosión selectiva / descincificación del latón	13
Figura 11: Tipos de corrosión por picadura	14
Figura 12: Corrosión por picadura en un metal.	14
Figura 13: Corrosión Intergranular	15
Figura 14: Corrosión intergranular vista en un microscopio	15
Figura 15: Corrosión bajo tensión	16
Figura 16: Ejemplo de corrosión bajo tensión	16
Figura 17: corrosión por fatiga	17
Figura 18: corrosión por erosión	18
Figura 19: corrosión por fricción	18
Figura 20: efectos de la corrosión por cavitación	19
Figura 21: Gas atrapado en el metal	20

Figura 22: Efectos de la corrosión por “H”	20
Figura 23: efectos de la corrosión por microorganismos	21
Figura 24: Corrosión por corriente Vagabunda.	22
Figura 25: Ejemplos de ánodos de sacrificio.	27
Figura 26: Ejemplo de disposición de ánodos.	30
Figura 27: Partes de un ánodo de sacrificio	30
Figura 28: Ejemplo de protección de corriente impresa	32
Figura 29: Esquema de un transformador monofásico	33
Figura 30: Características de los ánodos empleados en Corriente impresa	37
Figura 31: Interferencia producida por tubería próxima.	39
Figura 32: Ventajas y limitaciones corriente impresa.	40
Figura 33: Dimensiones básicas del buque de estudio	42
Figura 34: colocación ánodos en la popa.	43
Figura 35: Zonas donde no se deben colocar ánodos	44
Figura 36: Tabla orientativa para obtener el CB	47
Figura 37: Densidad (J) de corriente para diferentes tipos de barcos.	48
Figura 38: Costes de materiales.	58
Figura 39: Grafica comparativa de costes anuales.	60
Figura 40: Buque de estudio “Volcán de Taburiente”	77
Figura 42: Características “volcán de Taburiente”	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Numero de ánodos	28
Ecuación 2: Peso total de los ánodos.....	29
Ecuación 3: Intensidad (A) necesaria para proteger la estructura	28
Ecuación 4: Superficie mojada.....	46

1. RESUMEN

En el siguiente proyecto se va a realizar un estudio de los costes anuales que conlleva la protección catódica de un buque. Para ellos se han analizado los dos tipos de protección de manera independiente, por un lado, la protección mediante ánodos de sacrificio y, por otro, la protección mediante corriente impresa.

Posteriormente se realizó una comparación de ambas y de esta manera llegar a una conclusión final en cuanto a rentabilidad económica.

Para poder realizar dicho estudio hubo que realizar un aprendizaje que nos respondiera a las siguientes preguntas:

- ¿Qué es la corrosión?
- ¿Por qué se produce?
- ¿Son todas iguales?
- ¿Cómo controlarla?

Por ello la primera parte de este proyecto se basará en este apartado, en conocer las diferentes clasificaciones y tipos de corrosión que puede haber y como se manifiestan, para posteriormente aprender a controlarla.

En este punto podemos encontrar que no solo existe la protección catódica, sino que también podemos protegernos de manera anódica utilizando pinturas especiales que, aunque no sea motivo de este estudio cabe destacar que tiene y cumple un papel importante en la protección.

Una vez documentado y con la información necesaria se procedió a la última parte del proyecto donde se realizó el estudio que nos compete.

ABSTRACT

In the next project, a study of the annual costs involved in the cathodic protection of a ship will be carried out. For them, the two types of protection have been analyzed independently, on the one hand, the protection by sacrificial anodes and, on the other hand, the protection by printed current.

Later a comparison of both was made and, in this way, to reach a final conclusion regarding economic profitability.

In order to carry out this study, we had to carry out a learning process that answered the following questions:

- What is corrosion?
- Why is it produced?
- They're all the same?
- How to control it?

Therefore, the first part of this project will be based on this section, on knowing the different classifications and types of corrosion that may exist and how they manifest themselves, and then learn how to control it.

At this point we can find that not only cathodic protection exists, but we can also protect ourselves anodically using special paints, which, although it is not the reason for this study, it should be noted that it has and plays an important role in protection.

Once documented and with the necessary information, we proceeded to the last part of the project where the study was carried out.

2. DEFINICION DE CORROSION

Entendemos por corrosión la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con el medio produciendo un deterioro de las propiedades metálicas. La corrosión es inevitable, pero existen formas de prevenirlo aplicando un control y una protección sobre el mismo.

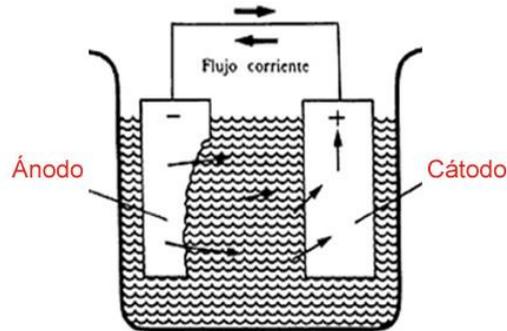
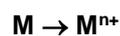


Figura 1: Pila galvánica. Fuente: (1)

Como se muestra en la Figura 1, el proceso de corrosión se produce por una diferencia de potencial entre dos puntos, el ánodo y el cátodo. El ánodo es la parte sacrificada ya que en ella se produce la reacción de oxidación cediendo electrones hacia el cátodo donde se produce una reacción de reducción. Como se muestra en la figura anterior, el par de metales constituye una pila galvánica, en donde se observa que el ánodo se polariza negativamente y el cátodo de forma positiva.

La reacción catódica es una reacción de oxidación por la cual los metales forman iones que pasan a la solución acuosa. En la reacción anódica se producen electrones pertenecientes al metal y los átomos de metal forman cationes.



Las reacciones catódicas es una reacción de reducción en la que los metales (también puede ser un no metal) ve reducida su carga de valencia. En esta situación se produce un consumo de electrones. Las reacciones catódicas más típicas son:

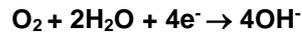
1. La electrodeposición (reducción) de otra especie metálica catiónica en disolución:



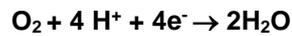
2. La generación de Hidrógeno gaseoso a partir de un medio ácido exento de Oxígeno.



3. En un medio neutro o básico en presencia de Oxígeno, se produce la descomposición del agua:



4. La producción de agua a partir de medios ácidos con Oxígeno:



Para analizar el comportamiento de distintos materiales en medios acuosos es una buena aproximación utilizar el diagrama de Pourbaix (Figura 2) el cual representa el equilibrio entre el incremento de potencial de una pila y el pH de una solución.

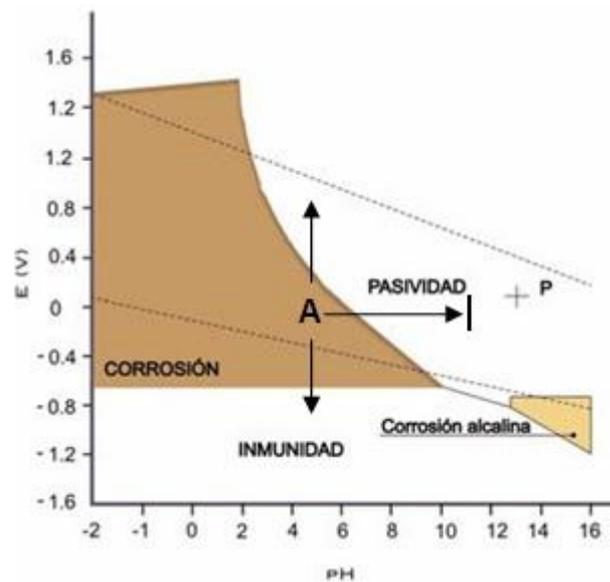


Figura 2: Diagrama de Pourbaix para Acero. Fuente: (2)

Esto determina la reacción espontánea según las condiciones ambientales, estableciendo la composición de los productos de corrosión a un potencial y a un pH determinado.

Cada material tiene su diagrama de Pourbaix específico a una temperatura constante, en este caso la Figura 2 representa un el diagrama para el acero, en el cual podemos diferenciar cuatro zonas diferentes:

- Zona de inmunidad
- Zona de corrosión
- Zona de pasividad del acero
- Zona de corrosión alcalina

Mirando el diagrama nos permite saber según las condiciones de pH del medio y la diferencia de potencial entre la zona del ánodo y el cátodo, si este se encuentra en zona de pasividad o si se está corroyendo, por ejemplo, si el medio que lo rodea tiene un pH inferior a 10, se producirá la corrosión.

3. CLASIFICACIÓN DE LA CORROSIÓN

La corrosión no se limita a la herrumbre de los metales o a la pérdida del brillo. La corrosión puede conducir, por ejemplo, al fallo de un metal por agrietamiento o a la pérdida de resistencia o ductilidad, entre otros. Salvo excepciones, cada uno de los tipos de corrosión se debe a procesos electroquímicos, aunque los productos de corrosión no sean visibles o no se aprecie pérdida de peso apreciable.

3.1 Clasificación de la corrosión atendiendo al tipo de pila

3.1.1 Pilas de electrodos diferenciales:

Se produce cuando existe una diferencia de potencial entre dos electrodos de diferente naturaleza en presencia de electrolitos. Un ejemplo puede ser una hélice de bronce conectada al casco de acero de un barco o dos tramos de tuberías de distintos metales conectados directamente.

3.1.2 Pilas de concentración:

Este tipo de pilas presenta dos electrodos idénticos, cada uno de ellos en contacto con una solución de diferente composición. Se distinguen dos tipos diferentes, las de concentración salina y las de aireación diferencial.

Las de concentración salina presentan la misma solución en ambos electrodos con la diferencia que uno de ellos está diluido y el otro más concentrado.

Las de aireación diferencial presentan misma solución en las mismas concentraciones en ambos electrodos, pero con diferentes niveles de aireación. Esta diferencia de aireación produce una diferencia de la concentración de oxígeno, provocando una diferencia de potencial entre los electrodos. Este es el tipo de corrosión más significativo y es la causante de daños localizados en ranuras y recovecos de estructuras y piezas metálicas.

3.1.3 Pilas de temperatura diferencial

En este caso los electrodos son del mismo material, sumergidos en una solución de la misma composición y concentración con la diferencia que en este caso existe un diferencial de temperatura entre ambos. Suele aparecer en calderas, intercambiadores, etc.

3.2 Clasificación según el aspecto externo o propiedades físicas.

3.2.1 Ataque uniforme:

En ella, la corrosión avanza de forma visible, a una velocidad generalmente constante sobre la superficie, como, por ejemplo, la herrumbre en el hierro.

3.2.2 Picadura:

Es una forma de corrosión localizada que produce pequeños hoyos o agujeros en el metal. Este tipo de corrosión es muy destructivo para estructuras ya que provoca perforaciones en el metal. La velocidad de propagación de la picadura es lenta en sus inicios, pero, una vez iniciado, la velocidad aumenta.

3.2.3 Corrosión selectiva

Consiste en la eliminación preferencial de uno de los elementos presentes en una aleación como puede ser el latón, el cual elimina selectivamente el cinc que esta aleado con el cobre. Se limita generalmente a aleaciones de los metales más nobles.

3.2.4 Corrosión intergranular:

Es la corrosión localizada en los límites del grano de una aleación, produciendo pérdidas en la ductilidad y resistencia mecánicas de los metales. Este tipo de ataque suele ser rápido y penetra con en gran profundidad en los materiales. Se encuentran principalmente en aceros inoxidable que han tenido un tratamiento térmico inadecuado.

3.2.5 Tensión por corrosión

Este tipo de corrosión aparece frecuentemente en pernos, remaches, tornillos o lugares similares. Aparece en diferentes aleaciones como por ejemplo aceros inoxidable, aluminio, cobre, etc. Para que este tipo de corrosión aparezca es necesario que exista alguna grieta o hendidura en el material generalmente de unos pocos micrómetros, lo suficientemente ancha para que entre un fluido y lo suficientemente estrecha para que no salga, manteniendo un lugar lo más estanco posible.

3.2.6 Corrosión por fricción

Se produce por el movimiento relativo como, por ejemplo, las vibraciones entre dos metales ó una sustancia y un metal que están en contacto. Esto conlleva una la formación de picaduras en las caras de contacto del metal. Un ejemplo puede ser la cavitación en las hélices de los barcos (metal) con el agua (liquido).

4 TIPOS DE CORROSIÓN

4.1 Corrosión Galvánica

La corrosión galvánica es la de las más comunes que nos podemos encontrar y la que más problemas de mantenimiento y seguridad ocasiona en estructuras. Este tipo de corrosión se produce entre dos metales en contactos ante la presencia de un electrolito como puede ser el agua o simplemente la humedad ambiental. Uno de ellos se verá deteriorado por la corrosión al actuar como ánodo frente al otro.



Figura 3: índice galvánico de los metales. Fuente: (4)

Los metales los podemos ordenar en una serie galvánica (Figura 4) que representa el potencial que desarrolla en un electrolito frente a un electrodo de referencia. Esta serie galvánica nos indica el grado de nobleza que tiene un metal, es decir, cuanto más noble es un metal frente al otro, más protegido estará frente a la corrosión.

Los metales menos nobles (más electronegativos) tienden más a la corrosión debido al diferencial de potencial con respecto a otros más nobles, pero hay que tener en cuenta que este potencial puede variar, ya que se puede ver alterado en cuanto a su magnitud incluso a la dirección si se alteran o modifican algunas de sus condiciones como puede ser la temperatura, el medio etc.

El potencial de un electrodo o potencial de reducción de un electrodo, lo podemos definir como la diferencia que hay entre una celda formada por un electrodo y un electrodo estándar de hidrogeno (la actividad de los iones que participan en el proceso tiene que ser de 1 mol/L a 25°C y 1 atm.). El potencial normal de un electrodo se representa con la letra E°

Debido a este diferencial de potencial entre dos electrodos se genera electricidad, la cual será equivalente a la diferencia de potencial del electrodo positivo (cátodo) y el electrodo negativo (ánodo). $E_{\text{cel}} = E_{\text{cátodo}} - E_{\text{ánodo}}$

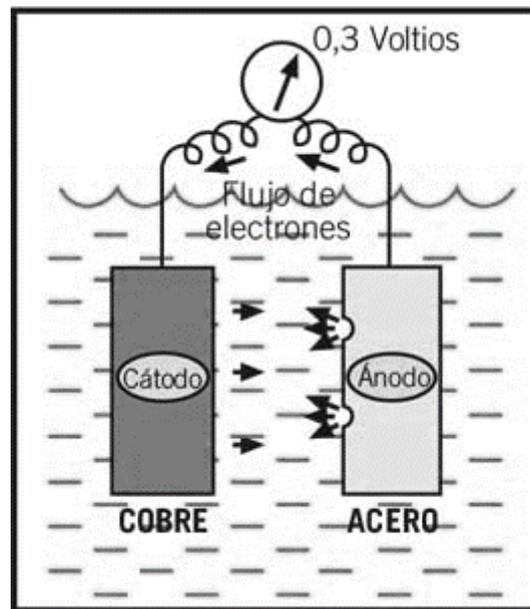


Figura 4: corrosión galvánica en metales diferentes. Fuente: (3)

En el caso de tener que unir piezas con distintos potenciales es aconsejable utilizar los que estén más próximos a su índice o bien utilizar algún tipo de aislante que evite que se forme una pila galvánica entre ambos.

4.2 Corrosión por aireación diferencial

Este tipo de corrosión aparece en lugares donde existe una diferencia en el grado de oxígeno como, por ejemplo, Resquicios, grietas, etc.

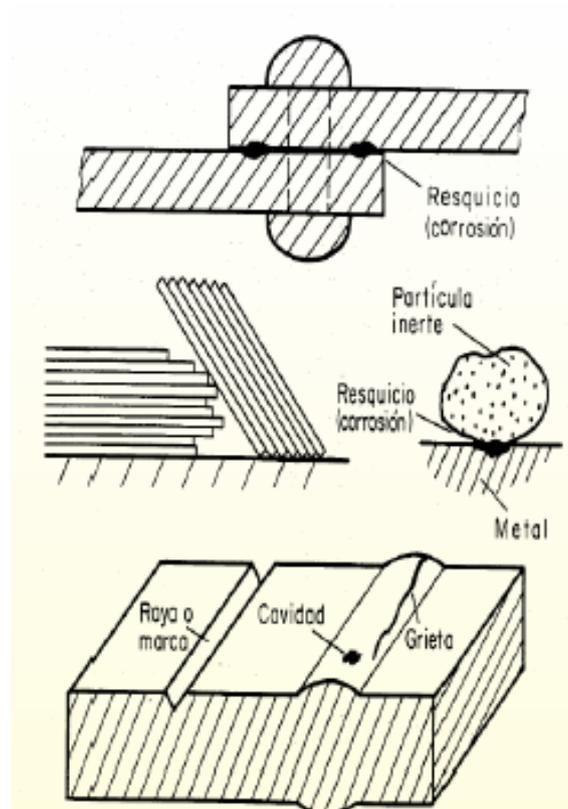


Figura 5: Lugares donde se producen corrosión por aireación diferencial. Fuente: (5)

Las partes que están más aireadas tienen una concentración de oxígeno mayor, por lo que se comportarán como el cátodo, mientras que las partes más aisladas se producirá un agotamiento del oxígeno impidiendo su renovación debido a la falta de accesibilidad. Esto provoca una acidificación en la zona y provocará un ataque al material.

Para evitar este tipo de corrosión la mejor manera es realizar un buen diseño de componentes o sistemas para que de esta manera se eviten lugares o espacios confinados en los cuales no circule bien el aire o se puedan acumular fluidos, dando pie a futuros ataques sobre el material.

Los tipos de aireación diferencial pueden ser:

4.2.1 Corrosión en la gota - gota de Evans

Este tipo de corrosión es localizada y consiste en la corrosión de la zona menos aireada cuando una gota de agua salada se coloca sobre una placa metálica. La parte periférica de una gota está más aireada que el centro por lo que el exterior actuará como cátodo, mientras que el interior será el ánodo.

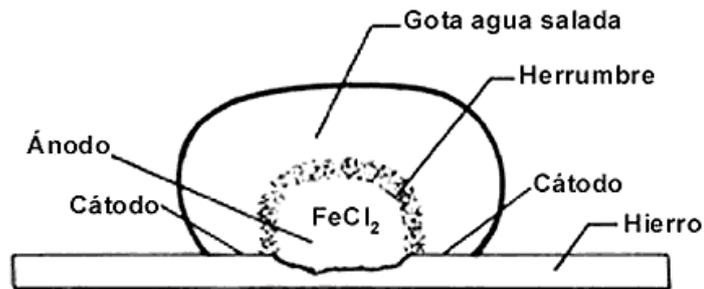


Figura 6: Gota de Evans. Fuente: (6)

4.2.2 Ataque en hendiduras

Se produce en grietas o en la unión de piezas en la que al menos una de ellas es metálica debido a que en el interior de hendidura el suministro de oxígeno es pobre, formando una zona anódica en su interior y una catódica en el exterior

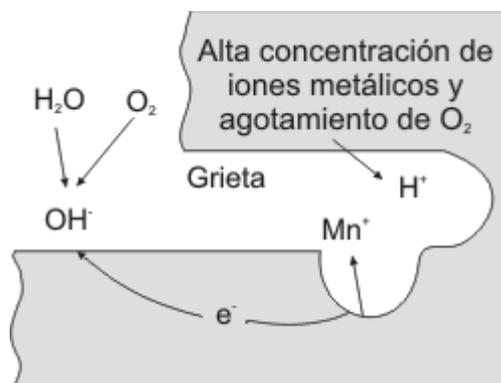


Figura 7: ataque en una hendidura. Fuente: (7)

4.2.3 Corrosión filiforme

Este tipo de corrosión puede afectar a algunos metales pintados como pueden ser aceros, aluminios y magnesio. Suele ocurrir en piezas que están expuestas a ambientes marinos, el cual da lugar al deterioro del recubrimiento protector. Tiene forma de filamentos que avanzan sobre la superficie del metal base, a partir de un defecto en la capa de pintura, extendiéndose bajo la misma.

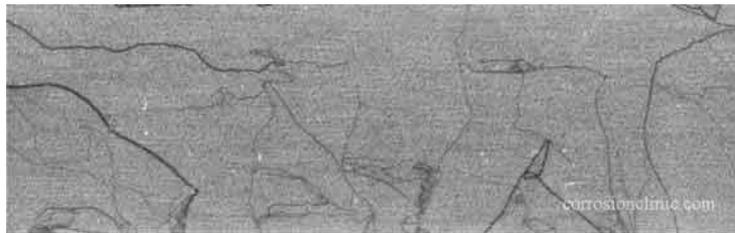


Figura 8: Corrosión filiforme. Fuente: (8)

4.2.4 Corrosión en línea de agua

Se produce una disminución de la concentración de oxígeno en la parte sumergida debido a la corrosión, actuando como ánodo. Esta pérdida de oxígeno puede ser compensada en la línea de agua (cátodo), creando una diferencia de potencial.

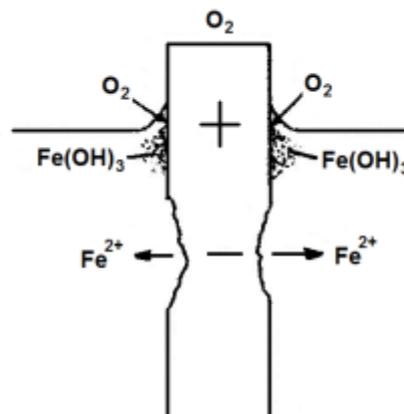


Figura 9: corrosión en línea de agua. Fuente: (9)

4.3 Corrosión selectiva

Este tipo de corrosión afecta a uno o más componentes de una aleación, provocando la debilitación de la estructura, haciéndola más porosa lo que conlleva a una pérdida de resistencia y de ductilidad.

Aunque mantenga el mismo aspecto, una forma de detectarlo puede observando el brillo de la superficie, ya que cuando se produce este tipo de corrosión suele detectarse un pequeño empañado de la superficie.

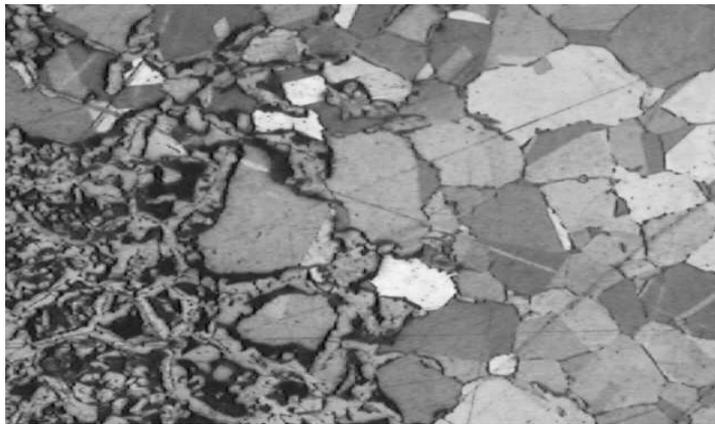


Figura 10: corrosión selectiva / descincificación del latón. Fuente: (10)

Un ejemplo típico es la descincificación del latón (Figura 10), donde podemos ver una superficie rica en cobre, debido a que el cinc se elimina preferente en el latón.

Una manera de prevenir este tipo de ataque es utilizar aleaciones con menor contenido en cinc, es decir, con un porcentaje de cinc sobre el 15% o inferior.

4.4 Corrosión por picadura.

Este tipo de ataque es localizado y se concentra en áreas reducidas. Normalmente las picaduras se inician cuando las condiciones del medio son propicias para ello y existe algún tipo de imperfección o daño en la película protectora del metal.

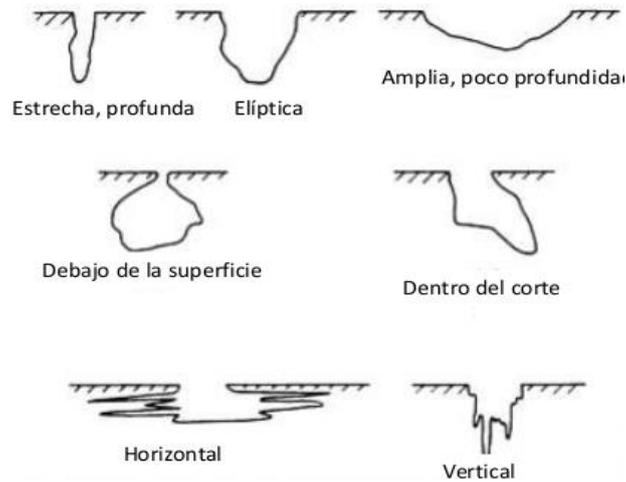


Figura 11: Tipos de corrosión por picadura. Fuente: (11)

En las picaduras la reacción catódica se produce en la superficie del metal, mientras que la reacción anódica se produce en un punto concreto, lo que conlleva a unos daños considerables en un tiempo relativamente cortos, produciendo con frecuencia fallos en las estructuras afectadas.

Para reducir la corrosión por picadura es necesario una superficie lo más limpia y homogénea posible, es decir, un metal homogéneo, puro y con una superficie muy pulida deberá ser más resistente que una superficie con defectos o rugosidades



Figura 12: Corrosión por picadura en un metal. Fuente: (12)

4.5 Corrosión intergranular.

La corrosión intergranular se caracteriza por la disolución del metal en las zonas próximas al grano del mismo. Esto produce una alteración en la microestructura de la aleación, provocando la formación de precipitados en el borde del grano.

Este tipo de corrosión es muy peligrosa que puede aumentar en gran medida sin ser detectada.

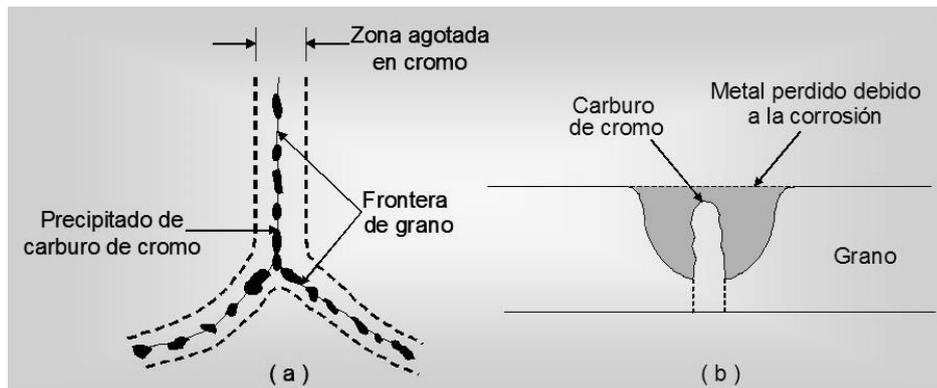


Figura 13: Corrosión Intergranular. Fuente: (13)

Generalmente está causada por segregación de impurezas en el borde del grano o por enriquecimiento o agotamiento de uno de los elementos de la aleación.

Suele estar presentes en aleaciones que forman capa pasivada, como pueden ser los aceros inoxidables y puede ser controlada mediante:

- Utilización de tratamientos térmicos adecuados
- Añadiendo elementos que puedan combinarse con el carbono para evitar formas carburo de cromo.
- Bajar el contenido de carbono en la aleación.

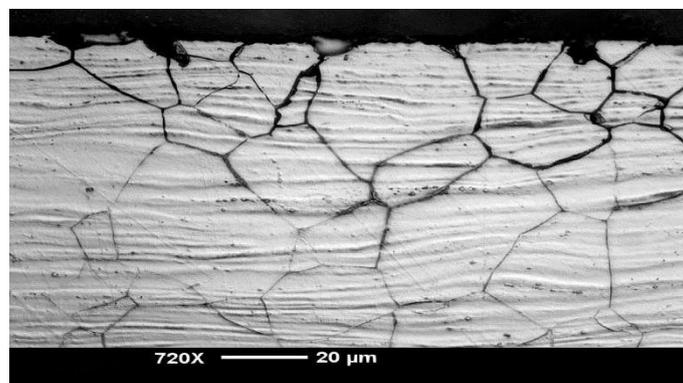


Figura 14: Corrosión intergranular vista en un microscopio. Fuente: (14)

4.6 Corrosión bajo tensiones.

Este tipo de corrosión requiere de unos efectos de tensiones internas combinado con una corrosión específica que actúa en el entorno del metal.

El ataque sobre el metal no es muy cuantioso, pero, las grietas aparecen claramente localizadas y se propagan a lo largo de una sección del metal.

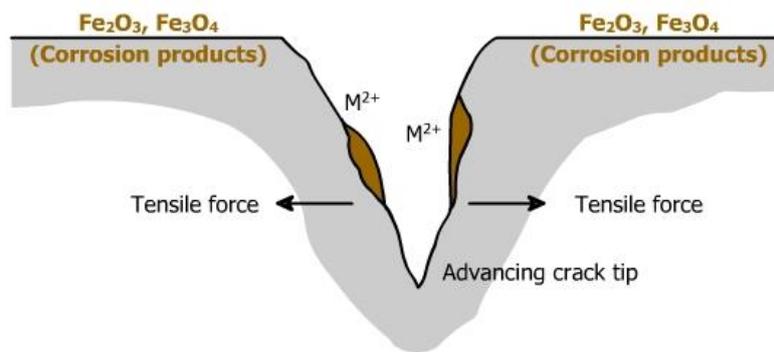


Figura 15: Corrosión bajo tensión. Fuente: (15)

Estas grietas aparecen súbitamente en dirección normal al del esfuerzo provocando fallos importantes en la estructura del elemento, pero para que esto suceda es necesario que se cumplan una serie de requisitos como pueden ser:

- El material debe tener una composición específica y determinada.
- Debe existir un ataque del medio sobre el metal.
- El material debe estar bajo una tensión, ya sea interna o externa.



Figura 16: Ejemplo de corrosión bajo tensión. Fuente: (16)

4.7 Corrosión por fatiga.

La corrosión por fatiga está causada por los efectos combinados de esfuerzos cíclicos y corrosión



Figura 17: corrosión por fatiga. Fuente: (17)

La aplicación de cargas repetitivas a un metal en ambiente corrosivo produce una reducción de sus resistencias y es muy peligroso pues afecta a piezas de responsabilidad que son las que normalmente están sometidas a esfuerzos de fatiga.

Estos daños se producen en dos fases:

- En una primera fase la acción combinada de corrosión y esfuerzos originan picaduras y pequeñas grietas sobre la superficie
- En la segunda fase y una vez producido un foco de corrosión, la picadura continúa profundizando hasta que la pieza esta tan debilitada que puede llegar al punto de rotura.

Este tipo de corrosión se concentra en los defectos que puedan tener las piezas. La propagación de las grietas se produce a raíz de la corrosión sobre esos defectos.

4.8 Corrosión por fricción

La corrosión por fricción se produce cuando un líquido corrosivo actúa mediante movimientos relativos sobre un metal.

Estos ataques aparecen donde el fluido se mueve a mayor velocidad y/o presenta un movimiento turbulento, haciendo que aparezcan en el metal surcos o cavidades en dirección del flujo.

Se puede diferenciar entre erosión, fricción o cavitación:

- La erosión está producida por pequeñas partículas que son arrastradas por el fluido y que al impactar contra la superficie metálica levanta las capas protectoras del material al mismo tiempo que desprende pequeños trozos de este.

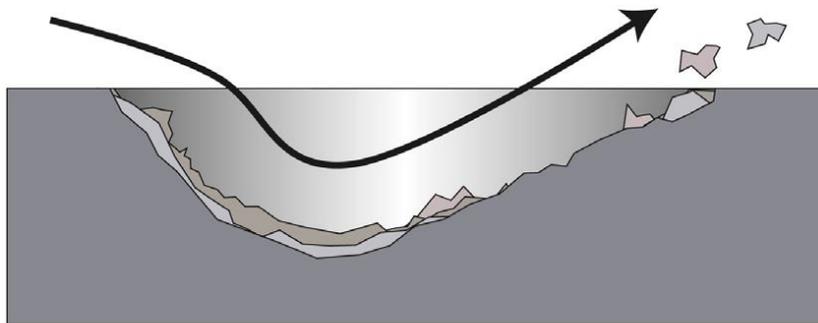


Figura 18: corrosión por erosión. Fuente: (18)

- La fricción se produce por el contacto y movimiento relativamente pequeño de dos piezas, en la que al menos una de ellas es metálica, en presencia de un electrolito como puede ser agua líquida o simplemente la humedad. Este movimiento produce picaduras en la superficie en contacto.



Figura 19: corrosión por fricción. Fuente: (19)

- La cavitación se produce por la implosión de burbujas de un fluido debido a un cambio brusco de presión sobre una superficie metálica como, por ejemplo, las producidas en una hélice de un barco, la cual debido a la gran velocidad de movimiento genera grandes fluctuaciones de presión, generando burbujas en las zonas de menor presión que son forzadas a implosionar al entrar en una zona de mayor presión. Este proceso hace que las capas protectoras del metal desaparezcan y se produzca un proceso corrosivo muy intenso el cual genera una serie conglomerao de picaduras.



Figura 20: efectos de la corrosión por cavitación. Fuente: (20)

4.9 Corrosión por fragilización de hidrogeno

Se forman Hidrogeno en la superficie del metal y parte de este, es absorbido a una alta velocidad de difusión debido a su tamaño atómico.

Este Hidrogeno al introducirse provoca la deformación de la estructura cristalina del metal, provocando microfisuras en el interior del metal y formando ampollas en la superficie.

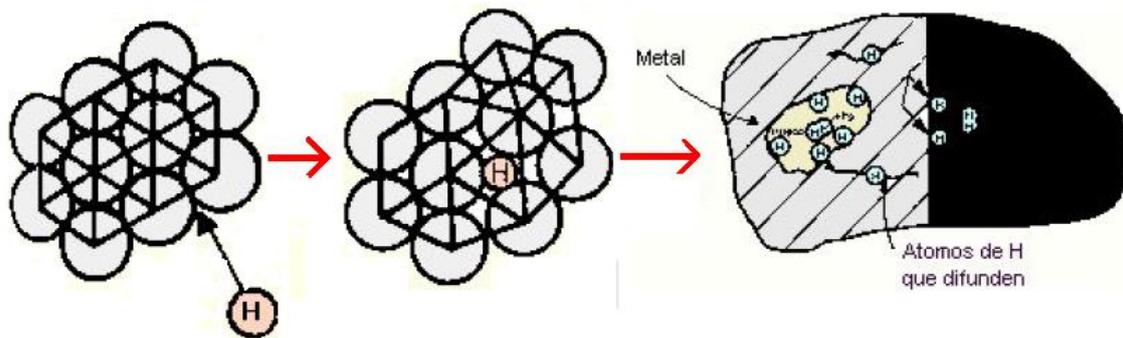


Figura 21: Gas atrapado en el metal. Fuente: (21)

Las grietas interiores se propagan de forma discontinuamente ya que primero se produce una deformación plástica y posteriormente el Hidrogeno se difunde, fragilizando el material.

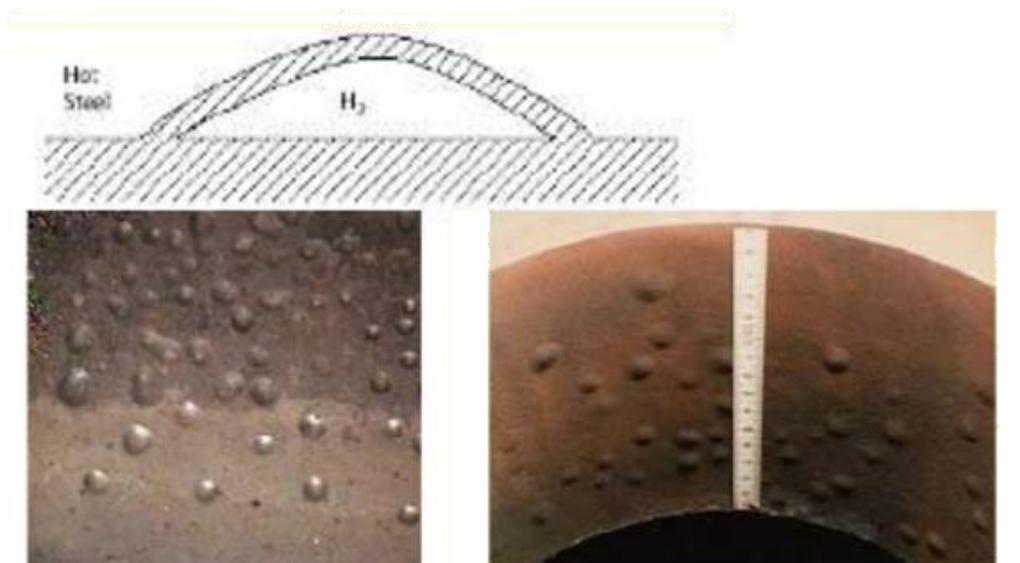


Figura 22: Efectos de la corrosión por "H". Fuente: (22)

4.10 Corrosión microbiológica

Este tipo de corrosión está producida por algunos microorganismos que habitan en el agua y son capaces de producir corrosión en metales sumergidos.

Este tipo de microorganismos tienen en común que todos forman parte de algún modo en los ciclos de azufre de la naturaleza, en el cual existen bacterias aerobias (oxidantes) y anaerobias (reductora). Estos microorganismos pueden ser:

- **Algas** mediante la fotosíntesis aportan O^2 , despolarizando catódicamente y aportando compuestos agresivos
- **Hongos**, los cuales son aerobios y generan compuestos agresivos.
- **Bacterias** como, por ejemplo, las *Pseudomonas*, las cuales generan mercaptanos, que son agresivos para el hierro o las *Ferrobacterias* que son aerobias y oxidantes del hierro ya que transforman el Fe^{2+} en Fe^{3+} generando precipitados de hidróxido férrico.

Estas bacterias se desarrollan en medios acuosos con altas concentraciones en sales, por lo que los mares y océanos son idóneos para ellas.

A la hora de proteger contra la corrosión a estructuras submarinas como, por ejemplo, plataformas o barcos hay que tener en cuenta este tipo de corrosión, ya que una vez producida la contaminación bacteriana no es necesario que permanezca en el agua para favorecer la corrosión, ya que la materia orgánica aun seguirá presente.



Figura 23: efectos de la corrosión por microorganismos. Fuente: (23)

4.11 Corrosión por corriente vagabunda

Este tipo de corrosión aparece en metales/estructuras las cuales son atravesadas por la corriente continua perteneciente a un circuito externo. La corriente más dañina es la continua, ya que viaja en un sentido único.

Para que esto ocurra es necesario la presencia de un electrolito que las conecte.

Algunas fuentes de corriente parasita pueden ser, por ejemplo, las vías y los raíles electrificados de un tranvía, líneas de corriente enterradas o máquinas de soldar, entre otras.

Un ejemplo puede ser la corrosión que sufre una tubería de agua que está afectada por una corriente parasita

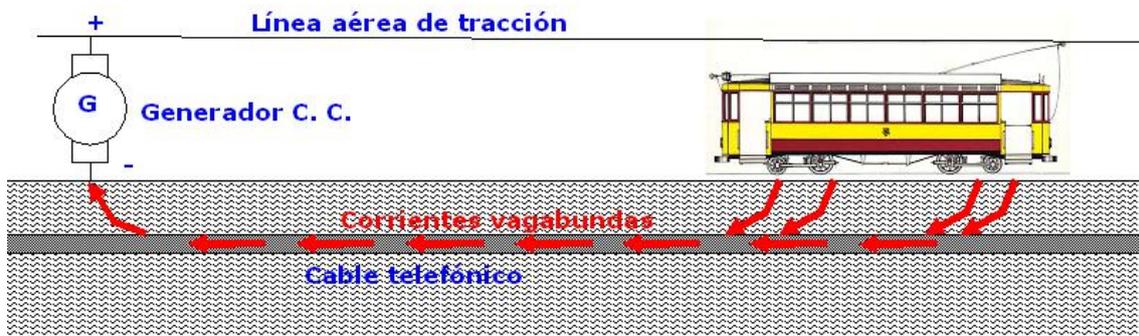


Figura 24: Corrosión por corriente Vagabunda. Fuente: (24)

Debido a que el metal conduce mucho mejor la electricidad la electricidad, el interior de la tubería no se ve afectado en comparación con el exterior

5 CONTROL DE LA CORROSION

5.1 Introducción

Después de analizar los tipos de corrosión es el momento de ejercer un control sobre ella para prevenirla.

Una de las formas de prevención es la “**Protección Catódica**” que ocurre cuando forzamos a un metal a ser el cátodo de la celda corrosiva como, por ejemplo, adhiriéndole un metal que se corroa más fácilmente que él.

Este tipo de protección catódica se puede aplicar a metales como acero, cobre, latón, plomo y aluminio. De esta manera también se puede eliminar el agrietamiento por corrosión bajo tensión, corrosión intergranular, picaduras, etc. Para que la estructura esté protegida es necesario que tanto el objeto a proteger como el metal sacrificado estén en contacto eléctrico o inmersos en un electrolito.

Podemos implementar la protección catódica de dos maneras, mediante la utilización de ánodos de sacrificio (breve explicación párrafo anterior) o mediante la utilización de corriente impresa, las cuales explicaremos más adelante.

Por otro lado, encontramos la “**Protección Anódica**” que consiste en recubrir el metal para evitar la corrosión de igual manera que hace el aluminio, el cual es capaz de crear rápidamente una fina capa de óxido en contacto con el aire que lo hace resistente a la corrosión.

La capa de óxido no puede ser cualquiera, tiene que ser una capa firme y adherente. Dentro de la protección anódica encontramos las pinturas.

5.2 Protección anódica

5.2.1 Pinturas antioxidantes

Las pinturas antioxidantes son esmaltes para metales féreos como el hierro, acero o la fundición. Estos esmaltes llevan incorporados componentes que evitan la oxidación y corrosión al mismo tiempo que interponen una delgada película entre el metal y el ambiente agresivo que lo rodea.

En la actualidad estas pinturas se aplican directamente sobre el metal, incluso oxidado sin necesidad de utilizar previamente una imprimación antioxidante, no obstante, en situaciones más extremas como las marinas si se recomienda aplicar una imprimación previa para reforzar la pintura.

Estas pinturas están constituidas por un producto líquido, ciertos pigmentos en forma de polvo y algunos aditivos en pequeñas proporciones. Para fabricar una pintura es necesario mezclar de forma homogénea estos elementos en las proporciones adecuadas.

Las materias primas de las pinturas las podemos separar en grupos según el papel que juegan en el producto final:

- Ligantes o resinas:

Son la parte no volátil de la pintura y se encarga de la adherencia de la pintura al sustrato y de la cohesión de la película de pintura seca.

- Disolventes:

Se utilizan para diluir la resina y de esta manera obtener una viscosidad adecuada para su aplicación sobre la superficie. El disolvente es la parte volátil, la cual se evapora tras su aplicación quedando como resultado final una película seca.

- Pigmentos:

Polvos sólidos que dan color y opacidad a la pintura. Existen pigmentos especiales que se encargan de evitar o retardar la corrosión (pigmentos inhibidores) y otros que evitan las incrustaciones marinas (pigmentos bio-activos).

- **Extendedores:**

Son utilizados para dar cuerpo o relleno a la película de pintura y para mejorar sus propiedades mecánicas.

- **Aditivos:**

Utilizados para determinadas propiedades puntuales de la pintura como, por ejemplo, prologar la vida en el almacén, contrarrestar la tendencia al lagrimeo, reducir el secado, etc.

5.3 Protección catódica

Cuando tenemos metales o estructuras en contacto mediante un electrolito, se crea un diferencial de potencial entre ellos denominada corriente galvánica. Esto produce que el metal más anódico o electronegativo se destruya con el tiempo.

Aprovechando este concepto si forzamos a la estructura a ser el cátodo, estaremos protegiéndola de la corrosión.

Esto se puede realizar fijándonos en la serie electroquímica de los metales, es decir, poniendo en contacto nuestras estructuras con un metal más electronegativo, mediante un electrolito. Esto se denomina protección catódica mediante ánodos de sacrificio

También podemos forzar a la estructura a ser el ánodo si hacemos circular una corriente continua en dirección contraria, forzando al metal más electronegativo la parte catódica. Este concepto se denomina corriente impresa.

5.3.1 Protección Catódica mediante Ánodos de Sacrificio

En la protección por ánodos de sacrificio, la corriente polarizante la suministra un ánodo de un metal menos noble acoplado a la estructura, que se deteriorará a su favor permaneciendo así de forma inalterable.

Los materiales utilizados para esta técnica son diversos, pero los más comunes son las aleaciones de Magnesio, Zinc y aluminio. Concretamente el Magnesio sin aleación no puede ser utilizado para la protección catódica en ambientes marinos, debido a su deterioro excesivamente rápido (se emplean algunas de sus aleaciones).

La ventaja de los ánodos de Aluminio es su peso, ya que al ser más ligeros reducen el peso muerto de la estructura, pero sin lugar a duda, los más utilizados son los de Zinc.

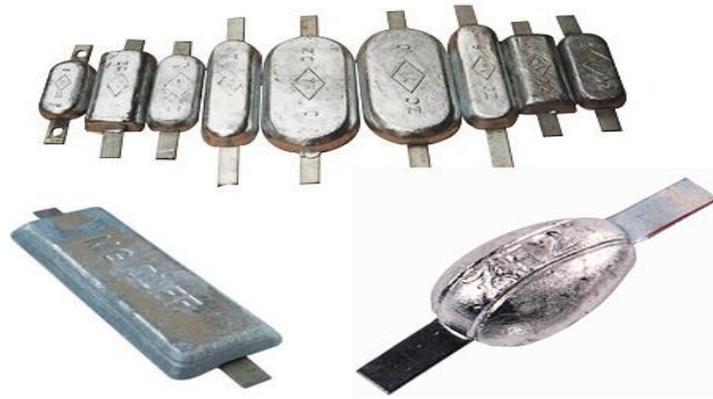


Figura 25: Ejemplos de ánodos de sacrificio. Fuente: (25)

Los ánodos de Zinc nunca producen sobretensiones evitando de esta forma dañar la pintura. Esto se debe a su potencial frente al acero del buque (0,20 V aproximadamente).

5.3.1.1 Datos a tener en cuenta para calcular la protección catódica del casco de un buque.

Para calcular la protección de un casco es necesario el conocimiento de los siguientes datos:

- **Disposición** general del buque.
- **Obra viva** o superficie mojada.

- Especificaciones de la **pintura** de la obra viva.
- **Tiempo** previsto para entrada en dique.

5.3.1.2 Densidad de corriente necesaria

Las condiciones electroquímicas y mecánicas son de gran importancia en el diseño de los sistemas de protección catódica, pero, hay otras condiciones que debemos considerar como, por ejemplo:

- Temperatura.
- Salinidad
- Resistencia a la disolución de oxígeno.

El objetivo es calcular la densidad de corriente eléctrica requerida para dar a la superficie a proteger un potencial suficiente.

Una densidad de corriente estándar para el casco de un buque puede variar generalmente entre **10 mA/m²** y **30 mA/m²** (datos orientativos).

5.3.1.3 Vida del ánodo

Es necesario saber cuánto tiempo permanecerán instalados antes de su sustitución, para de este modo realizar los cálculos oportunos con la mayor exactitud posible.

Por lo general los ánodos de Zinc permanecen entre uno y tres años, mientras que los de aluminio para 4.

5.3.1.4 Número de ánodos

El número de ánodos se calcula dividiendo el peso de todo el conjunto de ánodos, entre el peso individual de cada uno de ellos.

$$\text{N.º de Ánodos} = \frac{\text{Peso Total}}{\text{Peso individual}}$$

Ecuación 1: Número de ánodos

Para poder calcular el número de ánodos previamente debemos conocer el peso total del conjunto (Kg). Para ello debemos multiplicar la corriente necesaria para proteger la estructura (A) por la vida útil del ánodo (horas) (durabilidad del ánodo calculado en horas) y dividirla entre la capacidad del material.

$$\text{Peso Total Ánodos(Kg)} = \frac{\text{Corriente (A)} * \text{vida del ánodo (años)} * 8.760}{\text{Capacidad del material (A Hora/Kg)}}$$

Ecuación 2: Peso total ánodos

Para la ecuación de del peso total también debemos conocer la Intensidad necesaria para proteger la estructura. Para ello debemos multiplicar la superficie de metal (m²) que se encuentra sumergida en el electrolito por la densidad de corriente (mA/m²) y dividirla por 1000.

$$\text{Intensidad (A)} = \frac{\text{Area (m}^2\text{)} * \text{Densidad de corriente (} \frac{\text{mA}}{\text{m}^2}\text{)}}{1000}$$

Ecuación 3: Intensidad (A) necesaria para proteger la estructura

5.3.1.5 Correcta colocación de los ánodos:

Hay que distribuir los ánodos alrededor de la obra viva, aumentando el número de ellos en la zona de popa, ya que allí existe una alta densidad de corriente originada por la hélice. Otro lugar donde se recomienda su colocación es en las tomas de mar.

La colocación puede variar según la geometría del buque, su sistema de pintado, etc.



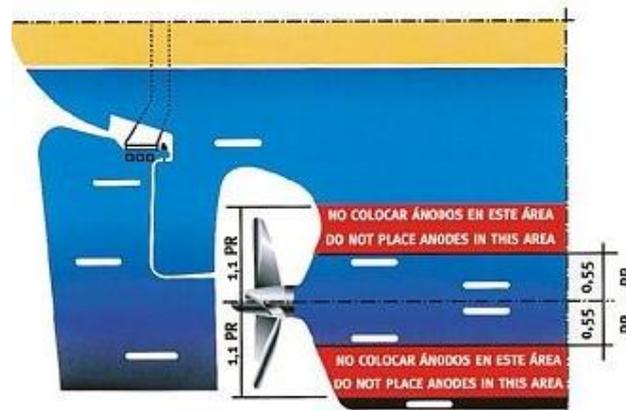


Figura 26: Ejemplo de disposición de ánodos. Fuente: (26)

Los ánodos van sujetos a la estructura gracias al “alma” que las atraviesa, la cual suele ser de acero.

Los extremos que sobresalen del alma pueden doblarse ligeramente y soldarse al casco, aunque también se utilizan con frecuencias sistemas de grapas, espárragos o simplemente se atornillan.

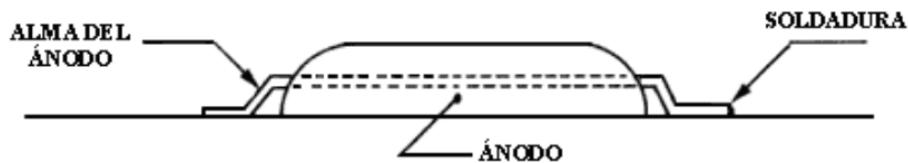


Figura 27: Partes de un ánodo de sacrificio. Fuente: (27)

Otro aspecto importante a la hora de colocarlo es tener en cuenta su orientación, teniendo en cuenta que han de quedar en el sentido longitudinal del barco ya que de esta manera se consigue un rendimiento superior. Los ánodos y los puntos de contacto no han de ser pintados en ningún caso.

Entre los elementos que precisan mayor protección se destacan:

- **Hélice y eje de transmisión**

En el caso de ejes volante hay que usar un ánodo especial para ejes y situarlo a unos 3 o 4 mm del cojinete de apoyo de la hélice, en cambio, si la bocina es metálica hay que situarlo cerca de está, pero, si fuese de un material no conductor, las sujeciones del ánodo han de estar conectadas con el bloque motor.

- **Timones metálicos**

Se le coloca un ánodo circular y plano en el centro de la pala.

- **Quillas**

Se le coloca un ánodo en cada costado de la quilla sujetos directamente sobre la misma

5.3.2 Protección Catódica mediante corriente impresa

La protección por corriente impresa utiliza la corriente suministrada por una fuente continua que imprime un potencial al metal/estructura para su protección.

El procedimiento consiste en la unión eléctrica de la estructura al polo negativo de nuestra fuente de alimentación (DC) y el positivo con el ánodo auxiliar que cierra el circuito. Es imprescindible la existencia de un electrolito.

Estos ánodos se hacen generalmente de chatarra de hierro, aleaciones de ferrosilicio, grafito, titanio platinado, etc.

Este sistema utiliza ánodos metálicos que en mayor o menor medida se van consumiendo con el paso de la corriente. El intercambio de corriente con el electrolito se produce a través de reacciones electroquímicas, las cuales depende del material anódico, el ambiente que lo rodea y la densidad de corriente suministrada.

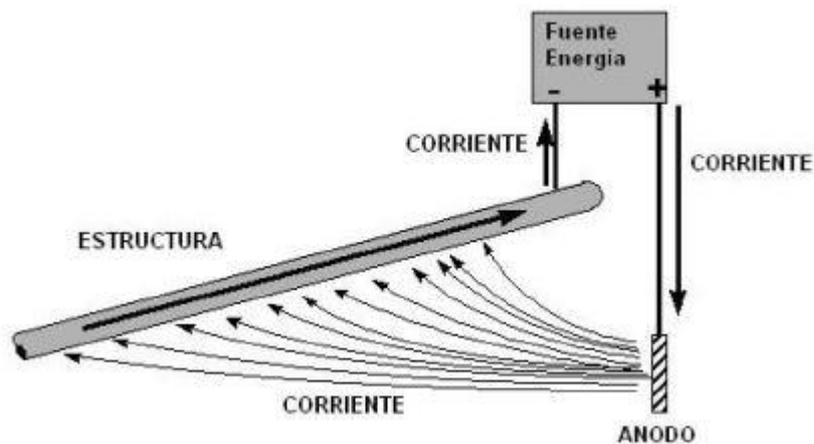


Figura 28: Ejemplo de protección de corriente impresa. Fuente: (28)

5.3.2.1 Fuente de corriente.

Este sistema requiere la utilización de una fuente de corriente continua que funcione de manera ininterrumpida durante al menos diez años.

Rectificadores de la señal.

Cuando tenemos una fuente de corriente alterna es necesario su transformación a corriente continua, de ello se encargan los rectificadores.

Si se trata de un rectificador monofásico, estará formado por un transformador monofásico "T", alimentado por 110 o 220 voltios. La tensión de salida puede ser ajustada según la necesidad.

Un puente monofásico reductor "P", compuesto por 4 diodos o por un grupo de diodos de selenio o silicio reduce las dos alternancias de la corriente monofásica.

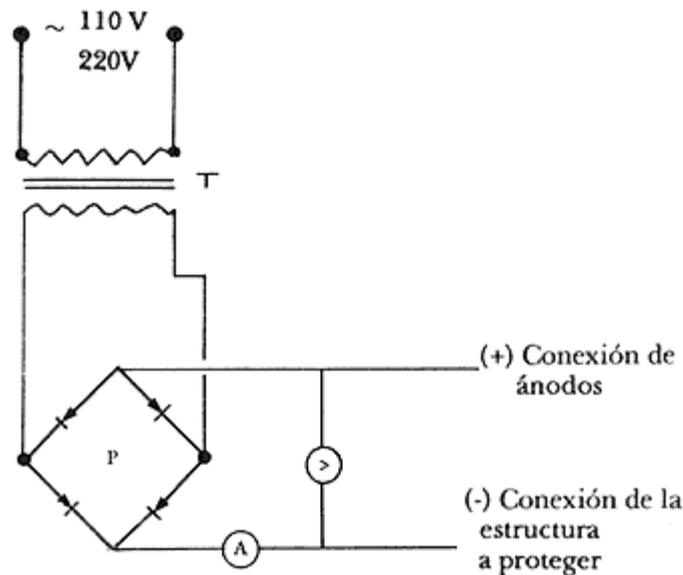


Figura 29: Esquema de un transformador monofásico. Fuente: (29)

Mediante un voltímetro podemos controlar la tensión de salida y mediante un amperímetro la intensidad.

5.3.2.2 Propiedades de los ánodos auxiliares

Todos los ánodos, en mayor o menor velocidad, se consumen con el paso de la corriente.

Los diversos materiales que se utilizan para fabricar los ánodos se escogen básicamente en función de sus prestaciones y del medio donde serán instalados.

Algunos ejemplos de ellos pueden ser:

- Chatarra de hierro.

Se caracteriza por el más económico. Se aconseja utilizar en terrenos de elevada resistividad.

El consumo medio de los perfiles de acero es de 5 Kg/A año y de 8-10 Kg/ A año para tuberías de fundición.

- Grafito

Se utiliza en terrenos con una resistividad media y un relleno de grafito o carbón coque.

Sus dimensiones varían entre 1000 y 2000 mm de largo y entre 60 y 100 mm de diámetro.

La salida máxima de corriente que poseen es de 3 a 4 A por ánodo y su desgaste varía entre 0.5 y 1 Kg/A año.

Es muy frágil y por ello hay que tener especial cuidado en el transporte.

- Ferrosilicio

Se recomiendan en terrenos de media y baja resistividad. Normalmente va rodeado de un relleno de carbón coque.

Cuando la intensidad de corriente es inferior a 1 A. su vida es prácticamente ilimitada.

La capacidad máxima de salida de corriente es de entre 12 y 15 Amperios por ánodo.

Su consumo oscila entre 0.1 y 0.3 Kg/ A año (para intensidades altas).

Sus dimensiones suelen ser de 1500 mm de largo y 75 mm de diámetro, con un peso aproximado de 60 Kg (más pesado que el grafito)

Es muy frágil, por lo que hay que tener cuidado en el transporte.

- Titanio platinado

Esta especialmente indicado para instalaciones marinas, aunque también se utiliza en agua dulce o incluso en el suelo.

Su mayor característica es que con un pequeño voltaje de 12 V se puede sacar intensidades elevadas sin apenas desgaste aparente

En el agua de mar presenta algunas limitaciones en cuanto a tensión que se le puede aplicar (máximo 12 V). En agua dulce libre de cloruro pueden actuar a 40 o 50 V.

La salida máxima de corriente es de 3000 A/m² y el desgaste en las condiciones más adversas es mínimo, 0.01g/A año.

Su forma formas es variada ya sea en chapa, tubo, alambres, etc.

La vida de un ánodo de 2.5 micras de espesor de platino es de aproximadamente 10 años y los de 5 micras entre 20 y 25 años.

Tiene una resistencia mecánica muy pequeña por lo que hay que tener cuidado.

- Tántalo platinado

Es muy similar al de titanio platinado, con la diferencia que este si puede trabajar en situaciones marinas a altas tensiones, 50 a 60 Voltios.

Mas difícil de conseguir y con un precio más elevado.

- Plomo-Plata

Esta aleación de plomo está formada por 1 % de Plata y una pequeña parte de antimonio.

Se forma una capa de peróxido de plomo cuando funciona anódicamente que favorece al buen funcionamiento y duración del ánodo.

Se utiliza en ambientes marinos donde la corriente máxima de salida no supera los 270 A/m².

Su desgaste es aproximadamente entre 50 y 200 g/A año.

Su forma es plana y evitando cualquier posible arista en los bordes, ya que ahí la capa de peróxido no se forma correctamente y puede dar lugar a corrosión.

- Titanio-óxido de titanio y óxido de rutenio

Está formado por una combinación de óxido de titanio y de rutenio, adherido a un soporte de titanio. Como resultado se obtiene una estructura cristalina, dura y de superficie rugosa.

Su máxima capacidad de corriente es de 1100 A/m².

Está a la altura de los ánodos de titanio platinado, pero su coste es menor.

Por regla general, un buen ánodo para esta técnica debe tener las siguientes propiedades:

- Bajo consumo.
- Elevada densidad de corriente erogada.
- Reducido tamaño.
- Baja resistividad.
- Gran resistencia mecánica.
- Elevado potencial de ruptura.

Los ánodos para corriente impresa pueden clasificarse en cuanto a su consumo

- Ánodos solubles
- Semi-inertes
- Inertes

Hoy en día es más común el uso de los inertes debido a que sus prestaciones son mayores, a pesar de que su coste sea más elevado.

A continuación, se mostrará un cuadro en el que se muestran las propiedades de los ánodos utilizados para la corriente impresa clasificados según el consumo. (figura 30)

TIPO	Peso específico g/cm ²	Consumo KG/A*año	Densidad de corriente A/m ²		Utilización
			Máxima	Practica	
Acero Chatarra	7.8 7.0	~ 9 4.5-1	5	1	Todos
Grafito	1.6	0.1-1	10-100	2.5-40	Terreno, agua de mar (Excluido fondo marino y agua dulce)
Ferro-silicio: 0.95%C 16%Si, 0.75% Mn	~7	0.25-1	30-40	10-100	Agua dulce, terreno
Fe-Cr-Si: 0.95%C, 0.75% Mn 4.5%Cr, 14%Si	7	0.25-1	270		Terreno, agua de mar, fondo marino
Pb-Ag (2% Ag)	11.3	~0.2	300	30-65	Sólo agua de mar (excluido fondo marino)
Pb-Ag-Sb (1% Ag, 6%Sb)	11	~0.5	300	50-200	
Titanio platinado	45	8.10 ⁻⁶	400 Por cada micra de platino de espesor	500-1000	Terreno no salino con backfill, agua de mar (excluido fondo marino y agua dulce)
Niobio platinado	8.4			500-700	
Tántalo platinado	16.6			800-1100	
Titanio-óxido de rutenio (DSA)	4.5	5.10 ⁻⁷	1100	700-1100	Todos

Figura 30: Características de los ánodos empleados en Corriente impresa

Fuente: (30)

A la hora de elegir un ánodo no se hace única y elusivamente en base al consumo o a la densidad de corriente, nos tenemos que fijar en otros aspectos como pueden ser las propiedades mecánicas, resistencia a la erosión, disponibilidad en el mercado, etc.

Sobre el terreno los ánodos se pueden instalar sobre lechos de bentonita o polvo de cobre, creando de esta manera un medio homogéneo, húmedo y con una baja resistividad. De esta forma se disminuye la resistencia ánodo-suelo, se evitan problemas de corrosión y se reduce el consumo del mismo.

5.3.2.3 Ventajas y limitaciones

La instalación de un sistema de corriente impresa es más sencilla que el de ánodos de sacrificio, ya que no es necesario optimizar el tamaño de los ánodos.

Una vez determinada la corriente total de protección, debemos elegir el tipo de ánodo en base que más de ajuste a nuestras necesidades como puede ser la intensidad máxima de corriente, etc.

A la hora de proteger una instalación hay que valorar que nos resultara más económico, si la instalación de pocos ánodos, pero muy potentes o viceversa, la instalación de muchos ánodos, pero más pequeños.

Hay que tener en cuenta que posiblemente instalar pocos ánodos de mayor tamaño puede ser más económico, pero al mismo tiempo, más peligroso, ya que si por algún motivo uno de estos ánodos quedase fuera de servicio la protección de la estructura se verá gravemente afectada.

Otro aspecto a tener en cuenta es conocer otras estructuras cercanas que podrían interferir en la estructura a proteger, por ejemplo, a la hora de proteger una tubería debemos saber si hay alguna cercana que pueda interferir en nuestro circuito, ya que en las zonas donde tengamos un contacto con otra estructura se produciría corrosión.

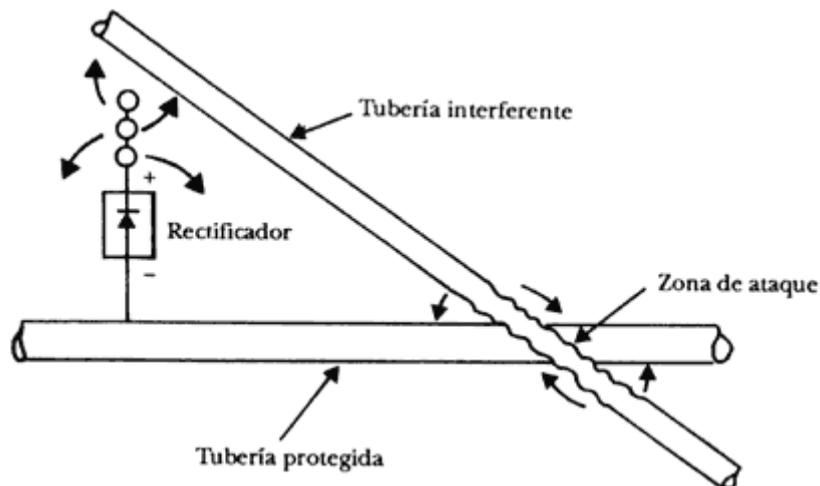


Figura 31: Interferencia producida por tubería próxima. Fuente: (31)

Este sistema de protección es más adecuado que el de ánodos de sacrificio, sobre todo a la hora de proteger estructuras más grandes que requieren una demanda de corriente elevada o la cuando la resistividad del ambiente (suelo) es elevada.

Algunas ventajas y limitaciones pueden ser:

VENTAJAS	LIMITACIONES
Puede diseñarse para un amplio intervalo de potencial y corriente	Puede causar problemas de interferencia
Un ánodo o lecho anódico puede suministrar una gran corriente	Este sujeto a rotura de la fuente de corriente
Con una sola instalación se puede proteger superficies muy grandes	Requiere de una inspección periódica y de mantenimiento
Potencial y corriente variable	Posibilidad de condiciones de sobreprotección con daños a recubrimientos y problemas de fragilización por la acción de hidrogeno
Se puede utilizar en ambientes de resistividad elevada	Conexiones y cables sujeto a rotura
Eficaz para proteger estructuras no recubiertas o mal recubiertas	Tiene un costo elevado
	Requiere de una fuente de corriente continua

Figura 32: Ventajas y limitaciones corriente impresa. Fuente: (32)

6 ESTUDIO: COSTES DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA PARA EL “VOLCÁN DE TABURIENTE”

A continuación, se realizó un estudio de los costes que conllevan la protección catódica mediante ánodos de sacrificio o corriente impresa para un ferry RO-PAX.

Para el siguiente estudio se han tenido en cuenta algunas hipótesis:

1. El estudio está basado en la protección externa del buque, por lo que se ha obviado la protección en el interior (Desconocimiento de la estructura y equipamiento interior del buque).
2. Los ánodos utilizados son de Zinc (Son los más comunes para ambientes marinos y son fáciles para documentar)
3. No se ha tenido en cuenta la hélice. (No disponemos de la información necesaria)
4. No se han tenido en cuenta otros métodos de protección, como por ejemplo la protección anódica. (El estudio está centrado en la protección catódica)
5. **Los datos están sujetos a variaciones** debido a (se especifica más adelante):
 - Por falta de información hay algunos datos que se han puesto de manera orientativa utilizando tablas genéricas y valores de buques similares,
 - Los precios de los productos seleccionados son orientativos ya que hay multitud de marcas, modelos y proveedores diferentes.
 - Hay que tener en cuenta que la vida útil de los ánodos de sacrificio y del sistema de corriente impresa está sujeto a variaciones por multitud de factores como pueden ser averías, fallos de fabricación, condiciones de navegación etc.

6.1 Buque utilizado en el estudio

Para el estudio de costes se utilizó un ferry RO-PAX, de la empresa “Naviera Armas”, concretamente el “Volcán de Taburiente”.

Algunas de las características que nos interesan para este estudio son las siguientes:

VOLCAN DE TABURIENTE	
Eslora máxima (sin apéndices)	126,10 m
Eslora entre perpendiculares (Lpp)	115,45 m
Manga (B)	21,50 m
Calado (T)	5,70 m

Figura 33: Dimensiones básicas del buque de estudio. Fuente: (33)

Para obtener mayor información consultar el anexo, en el podemos encontrar información detallada del buque, así como planos e imágenes del mismo.

6.2 Ánodo de sacrificio:

A la hora de colocar los ánodos en el casco hay que tener en cuenta una serie de requisitos:

La cantidad de ánodos que se necesitan para proteger el casco se debe calcular en base a diversos factores como puede ser el tipo de embarcación, el tamaño, las condiciones de servicio, el estado del casco o si se trata de un barco en funcionamiento o de nueva construcción.

Una vez calculado el número de ánodos necesarios para conseguir una distribución de corriente efectiva, se suele colocar aproximadamente el 60% de estos en la mitad de popa, ya que, en esta zona, debido a la hélice, se crean grandes zonas de perturbaciones y por ello es necesario la colocación de un mayor número de ánodos cerca de ella.

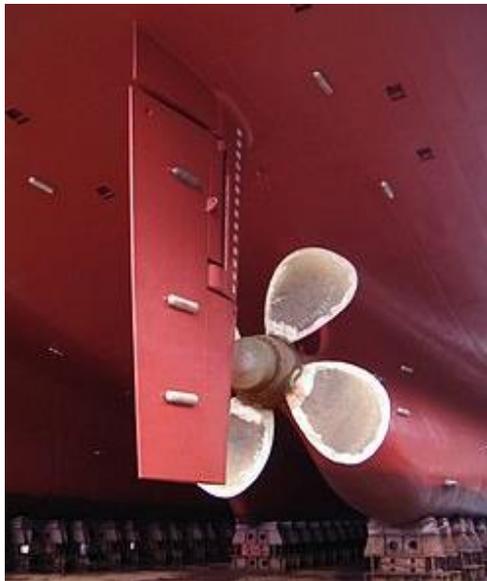


Figura 34: colocación ánodos en la popa. Fuente: (34)

Se debe tener en cuenta que hay zonas en las que no está permitido la instalación de ánodos ya que estos producirían problemas de cavitación y en consecuencia disminuir el rendimiento de la hélice.

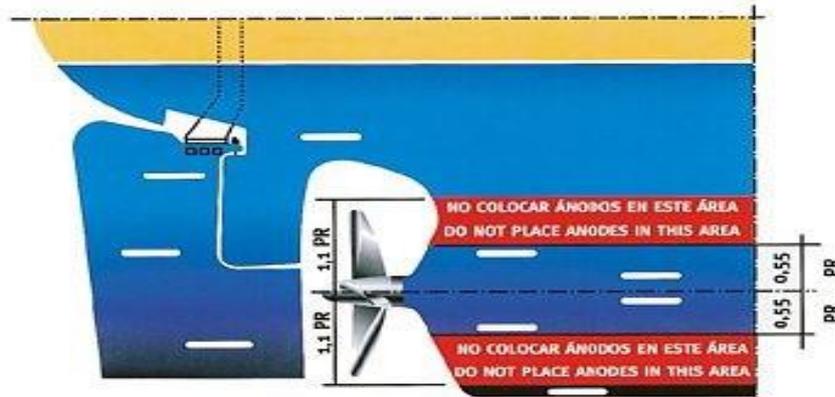


Figura 35: Zonas donde no se deben colocar ánodos. Fuente: (35)

6.2.1 Durabilidad de los ánodos

Por regla general se recomienda sustituir los ánodos de Zinc cuando estos han reducido su tamaño a la mitad, lo cual suele suceder aproximadamente al año de su instalación.

Aunque aproximadamente la mayoría de los ánodos de Zinc en condiciones normales consumen el 50% de su masa en durante un año, hay que realizar inspecciones periódicas cada 6 meses, para verificar que no existan ánodos que por diversos motivos tuviesen un desgaste mayor al resto, los cuales deberían ser reemplazados de inmediato.

Estos suceden ya que existen perturbaciones internas que pueden afectar a la corriente galvánica y aumentar el desgaste, como puede ser fugas de corriente, fallas en el sistema de descarga eléctrica, etc.

También existen perturbaciones externas que pueden afectar al consumo del ánodo como puede ser, entre otros, una elevada salinidad o contaminantes metálicos en el agua, fugas eléctricas de barcos cercanos e incluso la proximidad de los mismos siempre que su casco sea metálico.

Para colocar y mantener los ánodos de forma correcta hay que tener en cuenta una serie de pautas:

- La colocación de los ánodos se realiza mediante un diseño previo, por ejemplo, no se pueden colocar ánodos en el fondo ya que esto puede ocasionar problemas a la hora de entrada y salida del dique.

- Los ánodos deberán tener unas pletinas para su correcta soldadura al casco.
- Utilizar solo los tornillos que nos provee el fabricante.
- Nunca deben ser pintados.
- Cada vez que el buque entra en dique seco, hay que eliminar la corrosión de los ánodos.
- Se debe llevar un control del desgaste, ya que nunca deben llegar a consumirse completamente.
- Si un ánodo no está desgastado, no cumple con su cometido.

6.2.2 Tipo de ánodos utilizados

Debido a su fiabilidad se utilizarán ánodos de Zinc los cuales están indicados en ambientes de baja resistividad como es el marino.

En el Anexo podemos encontrar los ánodos utilizados en el estudio, los cuales se obtuvieron a través de la empresa "PROPULSORA S.A."

En la ficha podemos ver las especificaciones técnicas del producto, como puede ser la composición, capacidad real, etc.

En la segunda ficha del anexo encontramos el tipo y modelo de ánodo que hemos seleccionado, así como su peso. Para este estudio se ha utilizado el que ellos denominan como "Tipo 55", el cual cuenta con un peso de 5.5 KG

6.2.3 Cálculo del peso total de los ánodos:

Para calcular el peso de los ánodos de sacrificio es necesario calcular la superficie mojada del casco, es decir, la masa de metal que se encuentra justo por debajo de la línea de flotación.

Para calcular la superficie mojada debemos multiplicar 1.8, la eslora entre perpendiculares y el Calado para luego sumarle el resultado de multiplicar la eslora entre perpendiculares, el coeficiente de bloque y la manga. De esta manera obtenemos la siguiente formula:

$$S_m = (1,8 * L_{pp} * T) + (L_{pp} * CB * B)$$

Ecuación 4: Superficie mojada

Sm	Superficie mojada (m ²)
Lpp	Eslora entre perpendiculares (m)
T	Calado (m)
CB	Coeficiente de bloque (m)
B	Manga (m)

Como ya se comentó en apartados anteriores por falta de información hay algunos datos con los que no contamos, en este caso el coeficiente de bloque (CB), pero para solventar este problema nos hemos guiado de tablas genéricas para diferentes tipos de embarcaciones y coeficientes de bloque de buques similares como, por ejemplo:

Lpp	B	T	D	Lpp/B	B/T	Lpp/T	Lpp/D	C _B	L/Displ. vol. ^{1/3}
m	m	m	m	-	-	-	-	-	-
102.01	18.10	5.14	12.28	5.63	3.53	19.86	8.31	0.694	5.44
122.08	20.68	5.74	13.14	5.90	3.60	21.28	9.29	0.663	5.74
136.35	22.36	6.12	14.00	6.10	3.65	22.27	9.74	0.653	5.92
150.45	23.62	6.41	14.86	6.37	3.69	23.47	10.12	0.644	6.14
162.38	24.66	6.56	15.72	6.59	3.76	24.75	10.33	0.649	6.31
172.83	25.54	6.71	16.58	6.77	3.81	25.76	10.42	0.653	6.44
182.19	26.30	6.86	17.44	6.93	3.83	26.56	10.45	0.656	6.55

Figura 36: Tabla orientativa para obtener el CB. Fuente: (36)

En conclusión, basándonos en la información recopilada de otros barcos similares y de las tablas, hemos obtenido unos CB de oscilan entre 0.55 para buque de pasaje y 0.75 para buques de carga y ya que nuestro barco es del tipo RO-PAX utilizaremos una media entre ambos valores, es decir, utilizaremos un CB= 0.65.

Por lo tanto, la superficie mojada obtenida es la siguiente:

$$S_m = (1,8 * 115.45 * 5.70) + (115.45 * 0.65 * 21.50)$$

$$S_m = 2797.9 \approx 2798 \text{ m}^2$$

A continuación, necesitamos conocer la corriente necesaria para proteger el casco, para utilizaremos la ecuación 3 vista con anterioridad.

$$I_r = (S_m * J) / 1000$$

I _r	Intensidad requerida (A)
S _m	Superficie mojada (m ²)
J	Densidad de corriente (mA/m ²)

La densidad de corriente es la corriente por unidad de área y para obtenerla se necesita saber el tipo de barco y si es de nueva construcción o por el contrario lleva tiempo funcionando.

	Nueva construcción	En servicio
	mA/m ²	mA/m ²
Oceánicos	10	15
Costeros	14	20
Ferries	14	20
Arrastreros	22	24
Remolcadores nozzles	22	24
Dragas	24	27
Rompe hielos	25	30
Remolcadores	18	22

Figura 37: Densidad (J) de corriente para diferentes tipos de barcos. Fuente: (37)

En nuestro caso se trata de un ferry del año 2006 por lo que el valor estipulado para nuestro barco es aproximadamente de $J = 20 \text{ mA/m}^2$

Por lo tanto, se requiere una corriente de:

$$I_r = (2798 * 20) / 1000$$

$$I_r = 55.96 \text{ A}$$

El peso total de los ánodos lo calculamos siguiendo la ecuación 2 vista en apartados anteriores:

$$P = (I * Vu) / Cm$$

P	Peso (Kg)
Ir	Intensidad requerida (A)
Vu	Vida útil (horas)
Cm	Capacidad del material (A*h/Kg)

Basándose en que la vida útil de un ánodo de zinc es de 1 año obtenemos que la Vu es 8760 horas:

$$Vu = 1 \text{ año} = 365 \text{ días} = \mathbf{8760 \text{ horas}}$$

La capacidad del material viene especificada en la ficha técnica de los ánodos seleccionados, y es un valor comprendido entre 740 y 780 A*h/Kg, por lo tanto, el valor seleccionado es:

$$Cm = (740 + 780) / 2$$

$$Cm = \mathbf{760 \text{ A*h/Kg}}$$

Después de los cálculos pertinentes obtenemos que el peso total de los ánodos es:

$$P = (55,96 * 8760) / 760$$

$$P = \mathbf{645 \text{ Kg}}$$

6.2.4 Número de ánodos utilizados

Una vez calculado el peso total del conjunto de todos los ánodos aplicamos la ecuación 1 vista con anterioridad para obtener el número de ánodos.

$$N = P / P_u$$

N	Número de ánodos (unidades)
P	Peso total de los ánodos (Kg)
P _u	Peso unitario de cada ánodo (Kg)

$$N = 645 / 5.5$$

$$N = 117.27 \approx 117 \text{ ánodos}$$

6.2.5 Cálculo de costes:

A la hora de calcular el coste total de una instalación de ánodos de sacrificio lo primero que tendremos que tener en cuenta es el precio aproximado de cada ánodo o el precio de cada Kg de Zinc, ya que, dependiendo de la cantidad de Kg que compraremos, el precio puede variar.

En nuestro caso todos los ánodos que formarían parte de la instalación van a tener las mismas dimensiones y formato tipo "Pez", es por ello que, si buscamos el precio aproximado de un ánodo de 5.5 Kg varía entre 40€ y 55€.

Teniendo en cuenta que es una instalación de tamaño considerable y son ánodos de buena calidad, he supuesto que el coste individual sería 1/3 con respecto al precio máximo, es decir 45€ aproximadamente.

Precio individual ánodos = 45 €

Precio total = 45 *117

Precio total = 5262 €

Otro factor que tenemos que tener en cuenta es el precio de la mano de obra del / los soldadores que hagan la instalación. Según información proporcionada por un empleado de "Tenerife Shipyard" el precio aproximado de la mano de la mano de obra es:

Precio soldador = 15 € hora

Suponiendo que se tarde aproximadamente entre 20 y 30 min para preparar la zona y colocar cada ánodo en su posición correcta, se obtuvo que:

- En cada ánodo se emplean unos 25 min de media
- El precio de la hora de trabajo son 15€ por lo que el precio por minuto será de 0.25 cent el minuto

Precio individual por ánodo = Tiempo (min) * Precios (cent. min.)

$$\text{Precio individual por ánodo} = 25 * 0.25 = 6.25 \text{ €}$$

Ahora que sabemos el precio de colocar cada ánodo solo necesitamos multiplicarlo por el número total de ellos.

Mano de obra total = N * Precio individual

$$\text{Mano de obra total} = 117 * 6.25 = 731.25 \text{ €}$$

Después de obtener todos estos resultados podemos obtener el precio final de lo que costaría aproximadamente el material y la instalación de una protección catódica mediante ánodos de sacrificio para un año de servicio.

Hay que tener en cuenta que todos los ánodos han sido seleccionados del mismo tamaño, es decir, un tamaño medio, ya que si escogiésemos ánodos de un tamaño más pequeño posiblemente el coste de mano de obra aumentase, mientras que si por el contrario escogemos ánodos más grandes se reduciría el coste de lo que sería la instalación.

Con todo ello el cálculo total de los resultados obtenidos ha sido de:

Coste total = Total mano de obra + Total precio ánodos

$$\text{Coste total} = 731.25 + 5265$$

$$\text{Coste total} = 5995.25 \text{ €}$$

Suponiendo que exista un error del 10% obtenemos unos costos aproximados que oscilan entre los **5395,73 €** y los **6.594.77 €**.

6.3 CORRIENTE IMPRESA

Para la protección mediante corriente impresa debemos tener en cuenta que nos basaremos en un supuesto en el que el buque no contaría con este sistema incorporado desde fábrica, es decir, no contaría con la unidad rectificadora y de control del sistema, por lo que el estudio estará basado en la compra e instalación de todo el equipamiento necesario para implementar este sistema en el buque.

Para ello lo primero que debemos obtener es la corriente necesaria que debe suministrar nuestro equipo para que de esta forma esté protegido y poder seleccionar una unidad de control adecuada a nuestras necesidades.

La intensidad requerida se obtiene con la superficie de obra viva y densidad de corriente, del mismo modo que lo hicimos en el apartado anterior.

De esta forma y siguiendo la ecuación 3 obtenemos que:

$$I_r = (S_m * J) / 1000$$

$$I_r = (2798 * 20) / 1000$$

$$I_r = 55.96 \text{ A}$$

En este caso como se trata de un dispositivo que podemos regular fácilmente se le aplicará un margen de seguridad del 25%, obteniendo una intensidad de:

$$I_r = 69.9 \approx 70 \text{ A}$$

El sistema de corriente impresa estará compuesto por los siguientes elementos fundamentales:

- Unidad de control de potencia:

Es la parte principal del sistema, ya que suministra la corriente necesaria para la protección del casco.

Este sistema suele contar con diferentes indicadores que nos proporcionan información del sistema en todo momento.

- Ánodos dispersores:

Estos ánodos son los encargados de dispersar la corriente al casco del buque, en este caso solo se colocarán dos

Estos ánodos pueden ser sustituidos por un buzo sin necesidad de hacer varada.

- Cables:

Para realizar las conexiones.

- Pasta dieléctrica:

Se aplica en los alrededores de los ánodos dispersores para evitar corrosiones y penetración de humedades.

- Electrodo de referencia:

Tienen como función la medición del potencial eléctrico entre el agua y el casco, esto nos permite variar la entrega de corriente hacia los ánodos.

Como se dijo anteriormente se colocarán dos ánodos dispersores de corriente y dos electrodos de referencia que irán colocados uno en cada banda del buque el cual tomara lecturas del potencial en el casco.

Cuando colocamos una instalación de corriente impresa no se necesita colocar ánodos extras en las zonas de mayor turbulencia, como puede ser la hélice, ya que esto redundaría sistemas y no sería lo más óptimo y eficaz.

6.3.1 Unidad de control

La corriente necesaria será obtenida mediante la corriente alterna que genera el buque y la ayuda de un transformador-rectificador que la transformará en corriente continua.

Para seleccionar la unidad de control se ha contactado con la empresa “WWI PROCAT S.L.” la cual nos proporcionó las características de producto que se adecua a nuestras necesidades.

En el anexo podemos encontrar la ficha técnica en la que aparecen los datos técnicos.

6.3.2 Ánodos dispersores

Para los ánodos dispersores también se contactó con “WWI PROCAT S.L.” y se han seleccionado dos ánodos de titanio activado Ti-MMOX o según las normas europeas Ti-DSA con forma rectangular para colocar a ambas bandas del buque.

En el anexo también podemos encontrar la ficha técnica en la que aparecen las características.

6.3.3 Cableado

El cable utilizado para la instalación será de tipo EPR-CSPE ya que lo recomienda la empresa proveedora de los ánodos (lo podemos ver en la ficha técnica de los ánodos dispersores ubicada en el anexo) para este tipo de instalaciones en ámbitos marinos.

6.3.4 Cálculo de costes:

Unidad de control

Según la información proporcionada por la empresa “WWI PROCAT S.L.” el precio del sistema de transformación y control de potencia podría oscilar entre los 5.500 € y los 7.500 € todo ello dependiendo de los la calidad de fabricación del producto y los extras que se le pudiesen añadir, como, por ejemplo, control remoto por telemando, entre otros.

En nuestro caso y siguiendo la línea del proyecto seleccionaremos un punto intermedio, por lo que se ha determinado que el precio de la unidad de control será 6.500€.

Coste unidad de control = 6.500 €

Ánodos dispersores de corriente

Los ánodos dispersores seleccionados anteriormente tendrán un coste por unidad de aproximadamente 3300€ por lo que el coste total de los ánodos será de:

Coste Ánodos dispersores = 6.600 €

Cableado

Este tipo de cable lo he podido encontrar por unos \$ 2,20 ft (comprando bobinas de 500 ft) lo que viene siendo unos 6,35 € el metro.

Teniendo en cuenta que:

- Los generadores están en la popa del buque
- La unidad de control de potencia está en la sala de máquinas (en popa)
- Los ánodos dispersores irán colocados en la parte central a ambas bandas del buque.
- Las dimensiones del buque

Obtenemos que la mejor manera de reducir costes es comprar una bobina de 500 ft (152 metros aproximadamente) para beneficiarnos la reducción de precio por cantidad.

$$\text{Coste cablea} = 2.20 \$ * 500 \text{ ft} = 1100 \$$$

$$\text{Coste cablea} = 1100 \$ = 966 € \text{ aprox.}$$

Electrodos de referencia

Los electrodos de referencia necesarios para la instalación rondaran aproximadamente los 850€ dependiendo las marcas y modelos seleccionados, por ello el coste de ambos electrodos rondara los:

$$\text{Coste electrodos referencia} = 1700 € \text{ aprox.}$$

Pasta dieléctrica

La pasta dieléctrica para usos marino y de una buena calidad la podemos encontrar por unos 228,50 \$, teniendo en cuenta que necesitaremos dos recipientes, el coste sería de 457 \$

$$\text{Coste pasta dieléctrica} = 457 \$ = 402 € \text{ aprox.}$$

Mano de obra

Debido al supuesto de que este sistema no viene incorporado de fábrica, se necesitara un equipo que realice la instalación de dicho sistema y lo deje a pleno funcionamiento para ser utilizado por los operarios a bordo.

Este proceso solo se deberá realizar la primera vez, pero a cambio, como cualquier otro sistema requerirá de un mantenimiento periódico para evitar el deterioro y alargar su vida útil.

Por lo tanto y teniendo en cuenta que no tengo manera de saber el tiempo exacto de instalación del sistema ni tampoco los costes que conllevara el mantenimiento durante su vida útil, he llegado a la conclusión que, basándome en el precio del equipamiento y que los costes aproximados de instalación de los ánodos de sacrificio fueron en torno al 10 – 12 % del coste total de los materiales, se utilizara como costes de mano de obra el 10% de la suma económica de los materiales.

Coste de los materiales = 16168 €

Coste mano de obra = 16168 * 10% = 1616 €

6.3.4.1 Costes totales

	Precio (€)
Coste unidad de control	6.500
Coste ánodos dispersores	6.600
Coste cable	966
Coste electrodos referencia	1700
Coste pasta dieléctrica	402
Coste mano de obra	1616
SUMA DE COSTES	17784

Figura 38: Costes de materiales. Fuente (38)

Este coste total estará sujeto a un mantenimiento periódico durante su vida útil por lo habrá un incremento del 10% del coste en concepto de mantenimiento, ya sea preventivo y/o correctivo.

$$\text{Coste mantenimiento} = \text{SUMA DE COSTES} * 10\%$$

$$\text{Coste mantenimiento} = 1778 \text{ €}$$

Por lo tanto, el precio total de la implantación del sistema de corriente impresa y el mantenimiento durante su vida útil costará aproximadamente:

$$\text{Coste Total} = \text{SUMA DE COSTES} + \text{Mantenimiento}$$

$$\text{Coste Total} = 19562 \text{ €}$$

Teniendo en cuenta que la vida útil del sistema deberán ser aproximadamente unos 15 años obtenemos que el coste promedio anual será de unos:

$$\text{Coste anual} = \text{Coste Total} / 15$$

$$\text{Coste anual} = 1304 \text{ €}$$

Suponiendo que exista un error del 10% obtenemos unos costos anuales aproximados que oscilan entre los **1174 €** y los **1434 €**.

6.4 Comparación

Si comparamos ambos métodos obtenemos que la corriente impresa es 4691€ menor al año para el buque seleccionado.

Hay que tener en cuenta que los cálculos se realizaron basándose en una aproximación de su vida útil y que están sujetos a variaciones por lo que estos datos son de forma orientativa.

Coste anual ánodos de sacrificio = 5995 €

Coste anual corriente impresa = 1304 €



Figura 39: Grafica comparativa de costes anuales. Fuente: (38)

7 CONCLUSIÓN

En el presente proyecto se ha estudiado la protección catódica mediante ánodos de sacrificio y corriente impresa para un buque estudio como es el “Volcán de Taburiente”.

Ánodos de sacrificio:

Para el análisis mediante ánodos de sacrificio se han propuesto 117 ánodos de 5,5 Kg lo cual nos ha derivado a unos costes totales de puesta en funcionamiento de aproximadamente 5995 € anuales

Cabe destacar que todos los ánodos poseen el mismo peso y que los costes finales pueden variar en función del tamaño y número de ánodos seleccionados, ya que un aumento o reducción del peso conlleva unas ventajas y desventaja inversamente proporcionales una de la otra como, por ejemplo:

Un aumentamos en el peso de cada ánodo conlleva:

- ✓ Ventajas
 - Reducción en el número total de ánodos.
 - Disminución de costes de instalación.
 - Pequeña reducción en el precio del Kg de Zinc.
- ✓ Desventajas
 - Ánodos más grandes y pesados
 - Reducción del rendimiento del casco a la hora de navegar

Estas ventajas y desventajas se ven invertidas si, en vez de seleccionar ánodos más grandes, seleccionamos unos más pequeños.

Por todo ello habría que analizar dichas ventajas y desventajas para llegar a una combinación de tamaños y pesos adecuada a cada buque. En este caso, al ser un estudio orientativo para la comparación de ambos métodos, se ha utilizado un peso medio para todo el buque y de esta manera pueda ser aplicado no solo al “Volcán de Taburiente” sino también de forma general

Corriente impresa:

Para analizar la corriente impresa se ha propuesto la instalación de una unidad de control que transforma la energía obtenida del barco en una corriente continua la cual será suministrada a la obra viva a través de unos ánodos dispersores.

Esta corriente será regulada y controlada por la unidad de control gracias a unos electrodos de referencia que proporcionan la información necesaria al sistema.

En cuanto a los costes anuales de este sistema son de aproximadamente unos 1304 €. Estos costes incluyen los costes normales de mantenimiento, pero como cualquier sistema,

siempre estará sujeto a averías más graves que pueden interrumpir temporalmente el servicio y aumentar los costes normales.

7.1 Conclusión final:

Después de realizar el estudio y de este análisis previo hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- ✓ Si comparamos los costes anuales de ambos métodos observamos que en cuanto a costes/año sale mucho más rentable la protección por corriente impresa.
- ✓ Si lo analizamos a largo plazo también sale más rentable el método de corriente impresa, pero hay que tener en cuenta que el desembolso inicial será mayor y también estaremos expuestos a posibles fallos del sistema.
- ✓ Otra de las ventajas de la corriente impresa es que “no necesitamos” detener nuestra actividad para reemplazar los ánodos, ya que los ánodos de titanio instalados en este sistema duran aproximadamente unos 15 años.
- ✓ Si nos fijamos en buques de otras dimensiones podemos observar que el sistema de corriente impresa se hace más rentable cuanto mayor sea su tamaño, es decir, el sistema de corriente impresa se puede instalar en todos aquellos buques que tenga una fuente de corriente alterna disponible y esta lo permita, pero, independientemente de la obra viva los costes de instalación y mantenimiento no tendrán mucha variación, mientras que en embarcaciones más pequeñas los costes por ánodos de sacrificio se ven reducidos proporcionalmente al tamaño de la obra viva.

Una vez concluido con esto se ha determinado que sale mucho más rentable la instalación de corriente impresa, siempre y cuando se realicen adecuadamente las labores de mantenimiento preventivos que puedan evitar posibles fallos graves en el sistema

CONCLUSION

In the present project, cathodic protection has been studied through sacrificial anodes and current for a study vessel such as the "Volcán de Taburiente".

Anodes of sacrifice:

For the analysis by sacrificial anodes, 117 anodes of 5.5 Kg have been proposed, which has derived us to total operating costs of approximately 6000 € per year

It should be noted that all anodes have the same weight and those that are reduced. You can get a function in the other way, for example.

An increase in the weight of each anode entails:

- ✓ Advantages
 - Reduction in the total number of anodes.
 - Decrease in installation costs.
 - Small reduction in the price of Zinc Kg
- ✓ Disadvantages
 - Larger and heavier anodes.
 - Reduced helmet performance when navigating.

These advantages and disadvantages will be reversed if we select a few smaller ones.

On the contrary, I have taken into account the advantages and disadvantages to obtain a combination of sizes and weights. In this case, it is an orientative study for the comparison of both methods, an average weight has been used for the whole ship and in this way, it cannot be applied only to the "Volcán de Taburiente" but also in a general way.

Printed current:

To analyze the printed current, it has been proposed to install a control unit that transforms the energy is maintained in the ship in a direct current which is supplied to the bottomthrough dispersing anodes.

This is a rule of control and control of the control unit thanks to reference electrodes that provide the necessary information to the system.

As for the annual costs of this system are approximately 0000 €. These are, however, the normal maintenance constants, but like any other system, it is always subject to one more medium.

Final conclusion:

After carrying out the study and this analysis, I have reached the following conclusions:

- ✓ If we compare the annual costs of both methods, we observe that in terms of costs / year sale much more profitable protection by printed stream.
- ✓ If we analyze it in the long term, we also sell the printed flow method more profitably, but we do not have to take into account that the delivery system.
- ✓ Another advantage of the current is that "we do not need" to stop our activity to replace the anodes, since the titanium anodes in this system last approximately 15 years.
- ✓ If we look at ships of other dimensions, we can observe the printed current system becomes more profitable the larger its size, that is, the printed power system can be installed on all those ships that have an available AC power source and this time, however, regardless of the living work.

Once concluded with this it has been determined that the sale is much more profitable the installation of the printed stream, as long as the preventive maintenance tasks are carried out so that possible tombs failures in the system can be avoided

8 BIBLIOGRAFÍA

8.1 Bibliografía

- 1) Manual básico de corrosión para ingenieros - Félix Cesáreo Gómez de León Hijes,
Diego J. Alcaraz Lorente. Año 2004, Editorial: EDITUM
- 2) Teoría y práctica de lucha contra la corrosión – José A. Gonzales Fernández. Año
1984, Editorial/Imprenta: Grafimad.
- 3) Corrosión y degradación de materiales – Enrique Otero Huertas. Año 1997. Editorial:
Síntesis

8.2 Enlaces consultados

Periodo de visita: 15 de Julio de 2018 – 19 de julio de 2018

- 4) <https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>
- 5) <http://jdmoreno3.blogspot.com/2013/11/pasivacion-de-las-armaduras.html>
- 6) https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pourbaix
- 7) <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13709/Construcci%C3%B3n%20diagramas%20de%20Pourbaix.pdf>

Periodo de visita: 22 de Julio de 2018 – 26 de Julio de 2018

- 8) https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n#Corrosi%C3%B3n_qu%C3%ADmica
- 9) http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo1.pdf
- 10) https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_3.html
- 11) <https://mx.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/uniform-corrosion.html>
- 12) <http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>

Periodo de visita: 29 de julio de 2018 – 2 de Agosto de 2018

- 13) http://docencia.udea.edu.co/cen/electroquimicaII/practicas/practicas_3.php?p=3
- 14) <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8233/1/CorrTema6.pdf>
- 15) https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish16/may16/03-corrosion.pdf
- 16) https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwik_r_v6ilbdAhWryIUKHchQDdMQFjAAegQICRAC&url=http%3A%2F%2Frevistademetalurgia.revistas.csic.es%2Findex.php%2Frevistademetalurgia%2Farticle%2Fdownload%2F899%2F912&usg=AOvVaw0kiBGHlmgqPYx2SRLQafrx
- 17) <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2015/04/corrosion-selectiva-bacteriana-e.html>

Periodo de visita: 13 de Agosto de 2018 – 17 de Agosto de 2018

- 18) https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n_intergranular#Efecto_de_la_sensibilizaci%C3%B3n
- 19) https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_5.html
- 20) http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la_corrosi_n/scc/scc_1.jsp
- 21) <https://es.wikipedia.org/wiki/Fretting>
- 22) <https://es.scribd.com/document/274215821/Corrosion-Microbiologica>
- 23) https://www.google.es/search?ei=HUCFW_azBobClwSg_Jn4Dg&q=corrosion+por+corriente+parasita&oq=corrosion+corriente+parasita&gs_l=psy-ab.3.0.0i7i30k1.2415.3512.0.4757.10.9.0.0.0.0.251.970.0j5j1.6.0....0...1c.1.64.psy-ab..6.4.658...0i13k1j0i8i7i30k1j0i13i30k1j0i13i5i30k1.0.HygKdmr3ffY
- 24) <https://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/proteccion>

Periodo de visita: 20 de Julio de 2018 – 26 de Julio de 2018

- 25) <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Decoraci%C3%B3n/Qu%C3%A9-es-una-pintura-antioxidante-y-qu%C3%A9-tipos-existen/ta-p/11478>
- 26) https://es.wikipedia.org/wiki/Protecci%C3%B3n_cat%C3%B3dica
- 27) http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo2.pdf

- 28) http://www.repuestosbarcos.com/articulo_corrosion.htm
- 29) http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo4.pdf
- 30) <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/proteccioncatodica.pdf>
- 31) <https://www.google.com/search?q=Corrosi%C3%B3n+Met%C3%A1lica+%28Escuela+polit%C3%A9cnica+Superior+de+Ferrol%2FDep.Ciencias+de+los+Materiales%29&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab>
- 32) http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo2.pdf
- 33) <http://www.docentes.unal.edu.co/napinzonc/docs/Proteccion%20catodica.pdf>

Periodo de visita: 27 de Mayo de 2019 – 28 de Junio de 2019

- 34) https://www.navieraarmas.com/es/flota_volcan_de_taburiente/10
- 35) <https://www.nauticadvisor.com/blog/2016/06/22/que-son-y-que-funcion-cumplen-los-anodos-de-sacrificio-en-las-embarcaciones/>
- 36) https://www.fleetmon.com/vessels/volcan-de-taburiente_9348558_10452/
- 37) <https://www.zineti.com/es/informacion-tecnica/metodos-para-calcular-la-proteccion-del-casco-de-un-buque/>
- 38) <https://www.slideshare.net/nicomdq/proteccion-catodica-de-buques>
- 39) <http://propulsora.com.co/wp-content/uploads/2015/12/FICHA-TECNICA-ANODOS-DE-ZINC.pdf>
- 40) http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2750/2952/html/23_densidad_de_la_corriente_elctrica.html
- 41) <http://www.incorr.com/impcorr.htm>
- 42) http://ingenieros.es/files/proyectos/Proteccion_Catodica.pdf
- 43) http://www.wwiprocat.com/productos2/1/descargas/%C3%A1nodos_de_ti_activado_ds_a_en_forma_de_pletina.pdf
- 44) <http://wwiprocat.com/productos-wwiprocat-proteccion-catodica.php>
- 45) <http://www.incorr.com/ficte171.htm>
- 46) <https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=2ahUKEwinOHHo83iAhUCfxoKHQDpBT0QFjAGegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.roroseca.tr>

ansport.dtu.dk%2F-
%2Fmedia%2FSubsites%2Froroseca%2FDisseminationpapers%2FPublic-
Deliverables%2FTask-2-3-Report-2-Analysis-of-technical-data-of-Ro-Ro-ships-12-July-
2016.ashx%3Ffla%3Dda%26hash%3DD7582A1F12AF948772957166EB482CA2D923
D1E8&usg=AOvVaw2BLx58OJsZCp7IClIya2T-P

8.3 Figuras

Todas las imágenes y figuras que aparecen en este proyecto se han obtenido de internet en los periodos correspondiente a Julio – Septiembre de 2018 y Mayo – Julio de 2019

- 1) https://www.google.es/search?biw=1920&bih=930&tbm=isch&sa=1&ei=sZV-W7aYJdD8gAb1vDw&q=corrosion+electrolito&oq=corrosion+electrolito&gs_l=img.3...98735.102818.0.102993.11.11.0.0.0.0.146.1265.0j10.10.0....0...1c.1.64.img..1.9.1156...0j0i67k1j0i30k1j0i8i30k1j0i24k1j0i5i30k1.0.GFtkp_3Z48l#imgsrc=DHhL1iYpdsVPM:
- 2) http://2.bp.blogspot.com/-Gle-iM18fw8/Uni_4-1HMLI/AAAAAAAAALQ/qINU0e3mBpE/s1600/diagrama+de+Pourbaix.jpg
- 3) <http://www.rmmcia.es/blog/laton-y-cobre/compatibilidad-de-metales-la-corrosion-galvanica>
- 4) <https://mlaz.webs.ull.es/TEMARIO/T11CORROSIONyOXIDACION/Diapositiva20.JPG>
- 5) https://www.google.es/search?biw=911&bih=769&tbm=isch&sa=1&ei=DyqAW-SCJsmua5mHqOAD&q=corrosion+por+hendidura&oq=corrosion+hendi&gs_l=img.3.0.0i8i30k1.19714.21520.0.23035.15.13.0.0.0.0.272.1753.0j7j3.10.0...0...1c.1.64.img.5.10.1745...0j0i67k1.0.8XNOd6OKSOM#imgsrc=1DVgE3YgeOu77M:
- 6) http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/filiform_corrosion_underfilm_corrosion.htm
- 7) https://www.google.es/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjxsvflh4jdAhUR-YUKHVhsC_MQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FFigura-II6-Corrosion-de-una-pieza-de-hierro-en-contacto-con-una-disolucion-de-NaCl-En_fig4_263353284&psig=AOvVaw0wFbCnVWzQCMoqpkETEtPb&ust=1535281597788628
- 8) http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/filiform_corrosion_underfilm_corrosion.htm
- 9) www.researchgate.net
- 10) https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_10.html

- 11) https://www.google.es/search?q=corrosion+por+picadura&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiF-fPk0Z7jAhUI8-AKHXSDBjwQ_AUIECgB&biw=1920&bih=930#imgrc=4I4r2nhJHByuAM:
- 12) <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/06/corrosion-por-picadura.html>
- 13) https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_5.html
- 14) https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n_intergranular#/media/File:Intergranular_corrosion.JPG
- 15) https://www.google.es/search?q=corrosion+bajo+tension&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjrWJeYyljdAhUDbBoKHSveDWIQ_AUICigB&biw=1014&bih=923#imgrc=FZsKn9EVK4_knM:
- 16) https://www.google.es/search?biw=1014&bih=923&tbn=isch&sa=1&ei=rg-EW9_jAseYgAbn0bvYBg&q=efectos+cavitacion+helice&oq=efectos+cavitacion+helice&gs_l=img.3...27873.29204.0.29339.7.7.0.0.0.169.514.0j4.4.0....0...1c.1.64.img..3.1.133...0i8i30k1j0i24k1.0.QaFmgSlsgRY#imgrc=MEZ_kawWuy1Z7M:
- 17) <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-fatiga.html>
- 18) https://es.grundfos.com/Servicio_mantenimiento_bombas/buscar_enciclopedia/erosion-corrosion.html
- 19) <https://www.ms-motorservice.com/es/tecnipedia/post/danos-en-cojinetes-de-friccion-corrosion/>
- 20) <https://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2016/07/corrosion-por-cavitacion.html>
- 21) http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la_corrosi_n/fragilizacion_por_hidrogeno/fragilizacion_por_hidrogeno.
- 22) <https://es.slideshare.net/izairis1/tipos-de-corrosin-33308777>
- 23) <https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n>
- 24) <http://plantaexternatelefonica.blogspot.com/2013/08/>
- 25) https://www.google.es/search?q=anodos+de+zinc&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjgXK300JLdAhUGCCwKHdg-DyYQ_AUICigB&biw=1014&bih=923#imgrc=ZjOe0osvl4TISM:
- 26) www.zineti.com
- 27) <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/proteccioncatodica.pdf>

- 28) https://ingenieromarino.com/corrosion-por-corrientes-vagabundas/#.XR_UJo97mUk
- 29) http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_8.htm
- 30) <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>
- 31) https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Ejemplo-de-interferencia-provocada-por-una-tuberia-extrana-situada-en-la_fig20_31633494
- 32) <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx>
- 33) www.navieraarmas.com
- 34) https://www.wikiwand.com/es/Protecci%C3%B3n_cat%C3%B3dica
- 35) www.zineti.com
- 36) <https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=2ahUKEwin-OHHo83iAhUCfxoKHQDpBT0QFjAGegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.roroseca.transport.dtu.dk%2F-%2Fmedia%2FSubsites%2Froroseca%2FDisseminationpapers%2FPublic-Deliverables%2FTask-2-3-Report-2-Analysis-of-technical-data-of-Ro-Ro-ships-12-July-2016.ashx%3Ffla%3Dda%26hash%3DD7582A1F12AF948772957166EB482CA2D923D1E8&usg=AOvVaw2BLx58OJsZCp7IClYa2T-P>
- 37) <https://www.google.es/search?ei=9esfXe3JPMSU8gLFiaPYAQ&q=Estudio+de+la+protecci%C3%B3n+contra+la+corrosi%C3%B3n>
- 38) Fuente propia
- 39) https://www.navieraarmas.com/es/flota_volcan_de_taburiente/10
- 40) https://www.navieraarmas.com/es/flota_volcan_de_taburiente/10
- 41) [www. Hjbarreras.es](http://www.Hjbarreras.es)

9 ANEXO

9.1 Tipo de Ánodos utilizados (Fuente: Propulsora S.A.)



FICHA TECNICA DE PRODUCTO

ÁNODOS DE ZINC

SECCIÓN 1. IDENTIFICACION Y COMPOSICION:

Nombre: **ÁNODOS DE ZINC.**

Normas Equivalentes: US MIL-A-18001J, ASTM B-418 TIPO 1, ASTM F 1182-90, UNS - Z32120.

Composición Nominal:	Aluminio (Al):	0.250%
	Cadmio (Cd):	0.050%
	Hierro (Fe):	0.004% máx.
	Cobre (Cu):	0.003% máx.
	Plomo (Pb):	0.004% máx.
	Otros:	0.100% máx.
	Zinc (Zn):	Resto

SECCIÓN 2. PROPIEDADES FISICAS

Descripción: Piezas fundidas sobre herrajes de acero según su aplicación.

Eficiencia: 90 - 95%

Densidad: 7.14 g/cm³

Capacidad real: 740 – 780 Amperio Hora/ Kg

Potencial anódico (Cu/CuSO₄): -1090 a -1100 mV

Punto de ebullición: 907 °C.

SECCION 3. USOS:

Aleaciones especiales, utilizadas como elementos de sacrificio en la protección catódica contra la corrosión de: cascos de buques, tuberías y tanques de almacenamiento.

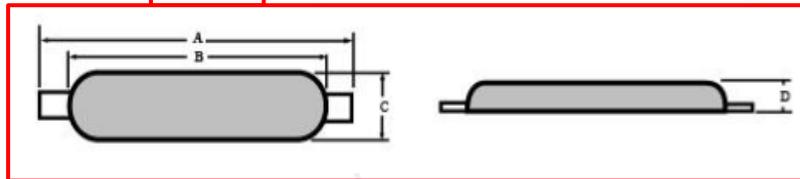


PROPULSORA S.A., está en capacidad de producir cualquier tipo de aleación, cumpliendo normas internacionales o particulares del cliente.
 “Nuestros productos son elaborados bajo los controles establecidos por un Sistema de Gestión de Calidad que cumple con los requisitos de ISO 9001:2008 los cuales han sido certificados independientemente por Bureau Veritas Certification, bajo el Certificado Número CO 239941”

SECCION 5. PRESENTACIÓN:

Cada Ánodo lleva acuñado el número de colada y el nombre de la aleación en la parte superior; en la base lleva el logo de **BERA** y el tipo de Ánodo en bajo relieve.

TIPO 35 – **TIPO 55** – TIPO 150



TIPO	Dimensiones, mm				Herraje, mm	Peso, Kg
	A	B	C	D		
35	295	215	98	28	295 x 25 x 6	3.5
55	350	260	110	32	350 x 25 x 6	5.5
150	500	295	200	40	500 x 38 x 6	15.0

9.2 Unidad de control (Fuente: WWI PROCAT S.L.)



Hoja de producto

WWI PROCAT; S.L.

Transfo-rectificador manual automático

* DENOMINACIÓN: “transfo - rectificador manual-automático”.

* CÓDIGO: “TR-V/A-M/A”

1) APLICACIONES

Son fuentes de alimentación de corriente continua alimentada por alterna (120 /220 /380, 440 V a 50 o 60 Hz).

Se utilizan como fuentes de alimentación de corriente continua, para equipos de corriente impuesta de protección catódica

3) CARACTERÍSTICAS

El rectificador puede funcionar con regulación manual o con automática:

Funcionamiento manual: El control se realiza por medio del circuito limitador de intensidad máxima y del mando de ajuste manual situado en el panel frontal.

Funcionamiento automático: El control se realiza mediante el circuito limitador de intensidad máxima y la señal del potencial de referencia.

Estos equipos tienen las siguientes características:

- a) Alimentación la designada por el cliente a 50 o 60 Hz.
- b) Tensión máx. de trabajo (a seleccionar entre 10, 12 35,y 50 V)
- c) Intensidad máx. de trabajo, la nominal del equipo.
Intensidad máx. 20 % por encima de la nominal. (puente rectificador y transformador).
- d) Temperatura
 - * máx. de trabajo +60 °C.
 - * mín. de trabajo -10 °C.

La temperatura nunca deberá sobrepasar los 80 °C en el interior del equipo y a pleno rendimiento.



Hoja de producto

WWI PROCAT; S.L.

Transfo-rectificador manual automático

- e) Rendimiento mínimo a pleno funcionamiento 70%
- f) Protecciones:
 - * Interruptor magnetotérmico en la alimentación.
 - * Diferencial de 300 mA en la alimentación.
 - * Fusibles en la salida de corriente continua
 - * Vía de chispas en la salida de corriente continua.
 - * Varistor en la alimentación del equipo.
 - * Descargador de 230 V/20 KA en la salida de corriente y en la protección de la señal de entrada a la tarjeta de control.

9.3 Ánodos dispersores (Fuente: WWI PROCAT S.L.)



WWI PROCAT; S.L.

Ficha de producto

Ánodos de titanio activado DSA en forma de pletina

* DENOMINACIÓN: “**Ánodos de Ti activado DSA en forma de pletina**”.

* CÓDIGO: “**Ti-DSA STRIP**”

1) APLICACIONES

Estos ánodos pueden instalarse, como dispersores de corriente de sistemas de **protección catódica por corriente impresa**, enterrados con relleno de coque, en agua dulce. En aguas sucias o fangales y en **agua de mar**

También se los suele llamar Ti-MMOX (Titanio activado o recubierto de mezcla de óxidos de metales), pero nosotros adoptamos la norma Europea que los designa como DSA (aunque en ocasiones, para hacernos entender mejor escribamos Ti-MMOX)

2) CARACTERÍSTICAS

Los ánodos serán de titanio activado con mezcla de óxidos de metales nobles, de dimensiones 20 x 3 x 1.000 mm (esta es la longitud más corriente pero se pueden fabricar en longitudes de 250, 500, 750, 1.000, 1.500, 2.000 y 3.000 mm).

Los ánodos estarán formados por pletina de titanio revestida con una mezcla de óxidos de rutenio, iridio y otras sales de los metales del Grupo VIII. Este revestimiento es aplicado por proyección en caliente sobre el sustrato de titanio, y tiene propiedades electroquímicas para mantener su función como ánodo. El titanio soporte es de grado 1 (ASTM B 348-83) con un espesor de 3 mm.

PROPIEDADES DEL REVESTIMIENTO ELECTROCATALÍTICO

- Tiene una estructura cristalina con una densidad entre 6 y 12 g/cm³
- Resistencia específica de 0,00001 Ω*cm
- Presenta una gran área superficial debido a su rugosidad (20 a 50 m²/g)
- Presenta una curva de Tafel con una inclinación que se encuentra entre 0,03 y 0,05 voltios para la generación de cloro y de 0,04 a 0,06 voltios para la formación de oxígeno.

DENSIDAD DE CORRIENTE Y DURACIÓN DEL ÁNODO

Con relleno de grafito o coque de petróleo alrededor del ánodo, la máxima densidad de corriente anódica recomendada para una duración de 20 años, es de 100 A/m². En agua dulce y lodos la densidad de corriente anódica es 50 A/m² y **en agua de mar es de 600 A/m², para una duración de 15 a 20 años** (según la salida de corriente y el medio)

PESO DE CADA ÁNODO: **0,27 Kg (para el de 1 m de longitud).** Densidad de corriente del titanio 4,5 kg/dm³.



WWI PROCAT; S.L.

Ficha de producto

Ánodos de titanio activado DSA en forma de pletina

RANGO DE TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO: 5° C a 50° C

CARACTERÍSTICAS DEL CABLE DE LOS ÁNODOS Y DE SU CONEXIÓN (cable estándar)

- Resistencia específica (20° C) de $0,388 \times 10^{-3} \Omega \times \text{cm}$
- Resistencia de aislamiento (20° C) 0,6/1KV
- Construido con conductor flexible
- Capa externa de aislamiento de polietileno reticulado de alto peso molecular.
- Capa interna de PVC.
- Resistencia eléctrica de la conexión cable-ánodo 0,01 Ω
- Sección del conductor de cobre: 10 mm².
- Longitud: 2 m (esta longitud puede variar en el diseño o bajo pedido cuando se trate de llegar con el cable de cada ánodo a una caja de conexiones o equilibrio sin empalmes por medio)

Otros cables que se pueden utilizar:

En los casos de que el cable vaya a instalarse en un medio especialmente agresivo o pozos profundos (normalmente por su acidez o contenido en cloruros) se recomienda la utilización de acales de tipo Kynar o EPR-CSPE (éste último más recomendable)

4) VENTAJAS

- La principal ventaja de este tipo de ánodo es su poco peso y facilidad de manejar, además de la gran capacidad de salida de corriente que tiene comparado con los otros tipos de grafito o Fe/SI y Fe/Si/Cr.
- Otra ventaja que tiene, comparado con los anteriormente citados, es que no son quebradizos.
- Por último la mayor ventaja es que no sufren el llamado efecto terminal, por el cual, los otros tipos de ánodos se descabezan en suelos de baja resistividad y especialmente si dan una salida de corriente medianamente alta.

9.4 Buque de estudio



Figura 40: Buque de estudio “Volcán de Taburiente”. Fuente: (39)

Datos generales - “VOLCÁN DE TABURIENTE”	
Eslora - con apéndices	130.45 m
Eslora	126.10 m
Eslora entre perpendiculares	115.45 m
Manga	21.5 m
Calado	5.7 m
Número de cubiertas	8
Velocidad de servicio	23 nudos
Rango de servicio	2000 millas aprox.
Fabricación	Junio de 2006

Figura 41: Datos generales “Volcán de Taburiente”. Fuente: (40)



Classification:

Bureau Veritas: I-HULL MACH, RO-RO PASSENGER SHIP, UNRESTRICTED NAVIGATION, AUT-UMS

Propulsion & Manoeuvring Equipment:

Main Engines: 4 x 4500 kW at 600 rpm
Generating Sets: 2 x 1080 kW at 1000 rpm
Emergency Genset: 1 x 310 kW at 1500 rpm
 2 x CP Main Propellers, 4 Blades, 3700 mm Diameter
 2 x 720 kW CP Bow Tunnel Thrusters

Cargo Capacity:

Max. Capacity (crew + passengers): 1500 people
Number of Cargo Decks: 2 + 1 cardeck
Cargo Capacity with Cars and Trailers:
Cars Capacity: 213 / *Trailers Capacity:* 16
Max. Cargo Capacity for Trailers of 16 m and Cars:
Trailers Capacity: 28 / *Cars Capacity:* 103
Max. Cargo Capacity with Only Cars:
Capacity for Cars: 305

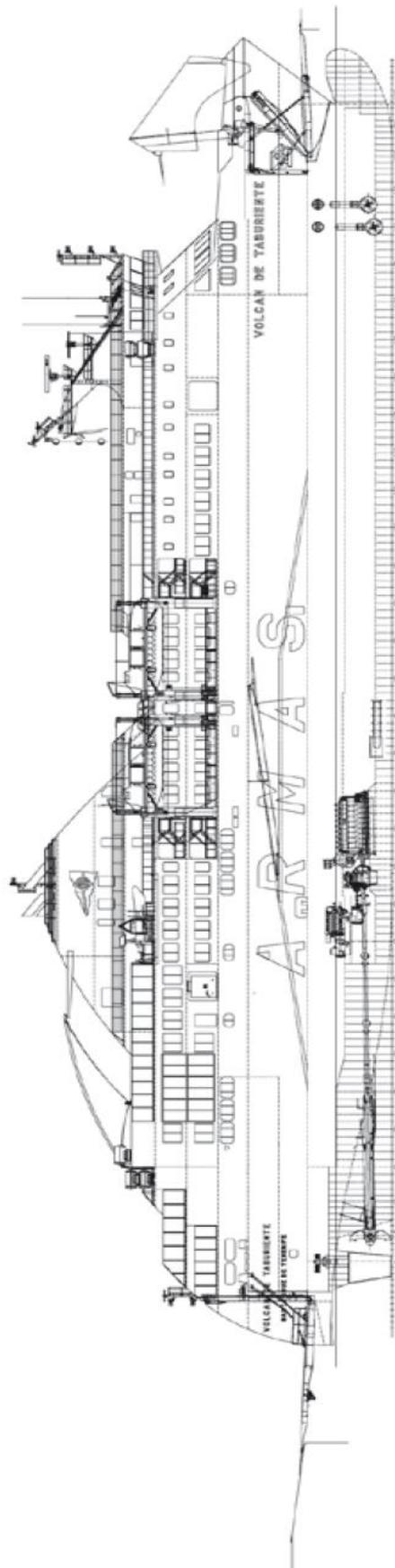
Cargo Equipment:

2 *Stern Ramp Doors:* 9.5 m length x 6.0 m width
 Tilting Ramp for Access to Upper Deck
 Fore Ramp-door with Bow Visor for the Access of Cars from Dock
 A Movable Ramp (cardeck) in Garage between upper Deck No. 3 and 5 for transport of cars of 2 T weight

Tanks Capacity:

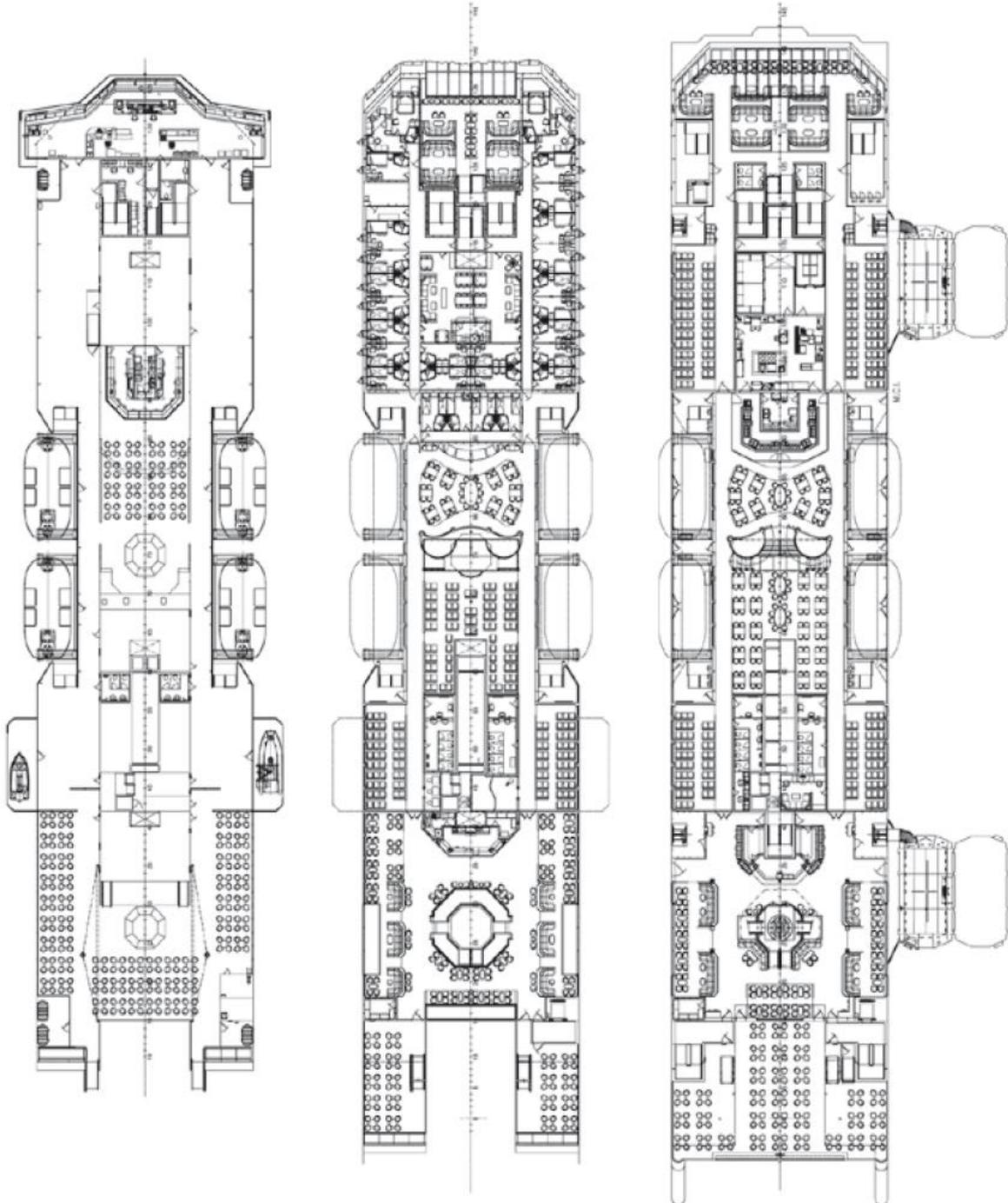
Fuel Capacity (Fuel-oil): 358 m³ / *Fuel Capacity (Diesel-oil):* 47 m³
Lub. Oil Capacity: 42 m³
Fresh Water Capacity: 66 m³
Ballast Water Capacity: 1130 m³

Figura 42: Características “volcán de Taburiente”. Fuente: (41)



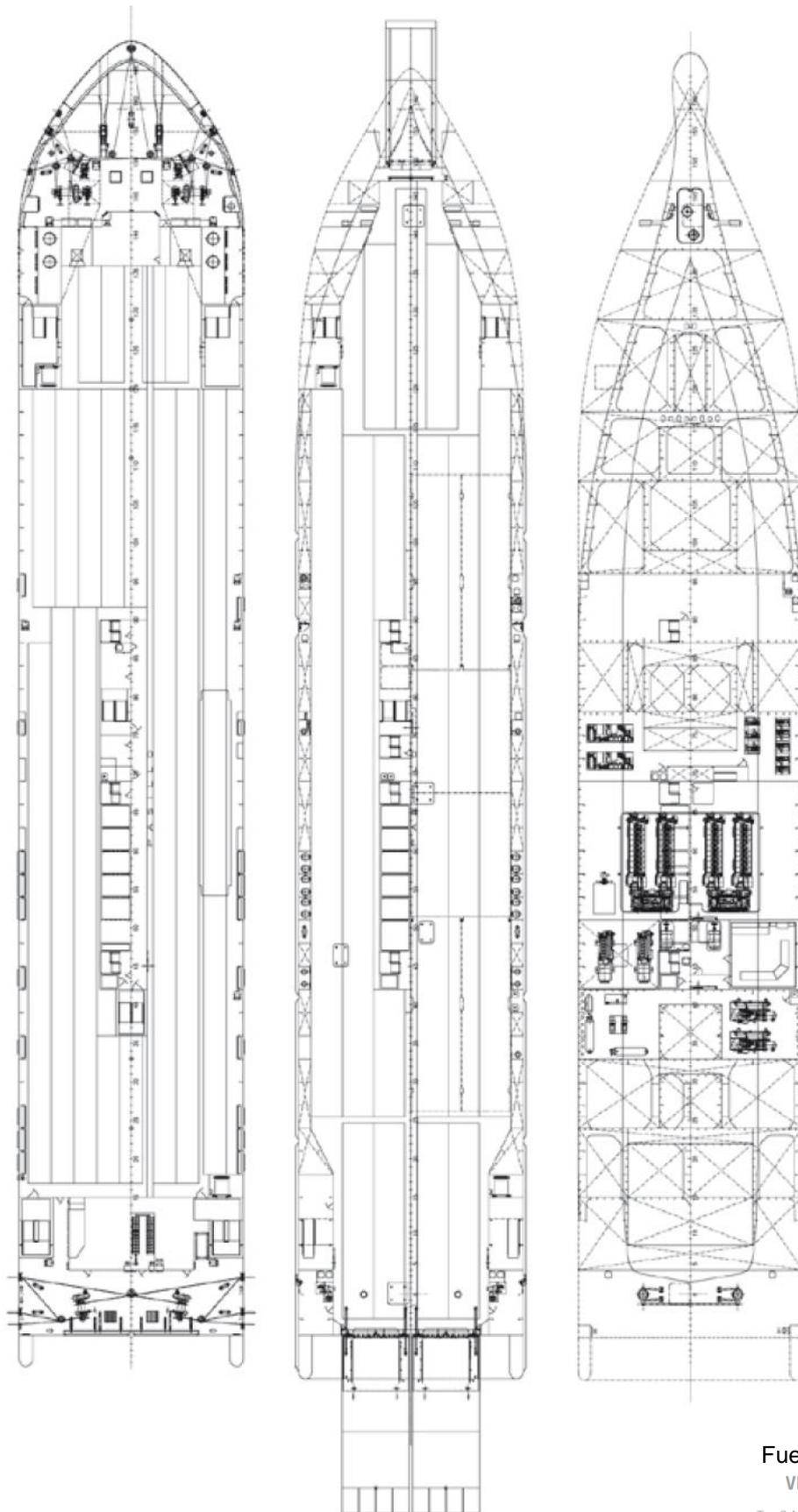
Fuente: (41)
VIGO/SPAIN

T: +34 986 213 297
astillero@hjbarreras.es
www.hjbarreras.es



Fuente: (41)
VIGO/SPAIN

T: +34 986 213 297
astillero@hjbarreras.es
www.hjbarreras.es



Fuente: (41)
VIGO/SPAIN

T: +34 986 213 297
astillero@hjbarreras.es
www.hjbarreras.es

