

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

---

TRABAJO FIN DE GRADO  
**TFG-E-30-17**

QUE LLEVA POR TÍTULO

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN  
CATÓDICA”**

---

DEFENDIDO ANTE TRIBUNAL EN LA SESIÓN DE

JUNIO-2017

**ESTEBAN LÓPEZ RIVERA**

DIRECTOR: ALBERTO DE MIGUEL CATOIRA

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**

**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

631G02460 - TRABAJO FIN DE GRADO

D. ALBERTO DE MIGUEL CATOIRA, en calidad de Director, autorizo al alumno D. ESTEBAN LÓPEZ RIVERA, con DNI nº 32.708.043-L a la presentación del presente Trabajo de Fin de Grado con el código titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN  
CATÓDICA”**

DEFENDIDO ANTE TRIBUNAL EN LA SESIÓN DE

**JUNIO-2017**

Fdo. El Director

Fdo. El Alumno

ALBERTO DE MIGUEL CATOIRA

ESTEBAN LÓPEZ RIVERA

# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

631G02460 - TRABAJO FIN DE GRADO

## CONVOCATORIA DE

ENERO     FEBRERO     JUNIO     SEPTIEMBRE

**D. ESTEBAN LÓPEZ RIVERA**

**DNI. 32.708.043-L**

Deposita en la Secretaría de la E.T.S. de Náutica y Máquinas dos (2) copias en papel y cuatro (4) en formato digital (CD) del **Trabajo Fin de Grado T F G / G T M / E - 30 - 17**

Asimismo autoriza expresamente a la E.T.S. DE NÁUTICA Y MÁQUINAS a publicarlos electrónicamente en el repositorio de la Universidad de A Coruña si así lo considera o en su caso en la Biblioteca del Centro para uso docente y consulta.

En La Coruña a 21 de Junio de 2017

Fdo. El Alumno

**A/A. BIBLIOTECA DE LA ETS DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

## ÍNDICE GENERAL

<b>MEMORIA.....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>12</b>
<b>2. MEMORIA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. DESARROLLO DE LA MEMORIA .....</b>	<b>18</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL BUQUE Y DEL EQUIPO DE ICCP .....</b>	<b>55</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN EL BUQUE.....</b>	<b>57</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE ICCP .....</b>	<b>62</b>
<b>CÁLCULOS E INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE ICCP.....</b>	<b>71</b>
<b>1. CÁLCULOS .....</b>	<b>75</b>
<b>2. INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE ICCP .....</b>	<b>85</b>
<b>PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>95</b>
<b>1. PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>PLANOS .....</b>	<b>102</b>
<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>106</b>

## ÍNDICE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-Sistema electrolítico .....</b>	<b>20</b>
<b>Ilustración 2-Ánodos y cátodos locales.....</b>	<b>21</b>
<b>Ilustración 3-Tabla serie galvánica.....</b>	<b>24</b>
<b>Ilustración 4-Corrosión uniforme o generalizada.....</b>	<b>25</b>
<b>Ilustración 5-Corrosión localizada.....</b>	<b>25</b>
<b>Ilustración 6-Corrosión intergranular o intercristalina .....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 7-Corrosión por picadura .....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 8-Fase inicial del proceso .....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 9-Fase intermedia del proceso.....</b>	<b>27</b>
<b>Ilustración 10-Fase final del proceso .....</b>	<b>27</b>
<b>Ilustración 11-Corrosión galvánica .....</b>	<b>28</b>
<b>Ilustración 12-Corrosión selectiva.....</b>	<b>29</b>
<b>Ilustración 13-Corrosión biológica general .....</b>	<b>29</b>
<b>Ilustración 14-Corrosión por fatiga .....</b>	<b>30</b>
<b>Ilustración 15-Corrosión bajo tensión (CBT).....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 16-Corrosión por erosión .....</b>	<b>31</b>
<b>Ilustración 17-Corrosión por fricción, rodamiento.....</b>	<b>32</b>
<b>Ilustración 18-Corrosión en resquicios.....</b>	<b>33</b>
<b>Ilustración 19-Corrosión por cavitación, bomba de refrigeración coche..</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 20-Corrosión por cavitación, hélice .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 21-Gráfica de la cinética de la corrosión .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 22-Escala de pH.....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 23-Diagrama de Pourbaix 1 .....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 24-Diagrama de Pourbaix 2 .....</b>	<b>40</b>

---

<b>Ilustración 25-Preparación superficie del casco 1</b> .....	41
<b>Ilustración 26-Preparación superficie del casco 2</b> .....	42
<b>Ilustración 27-Aplicación de protección pasiva 1</b> .....	45
<b>Ilustración 28-Aplicación de protección pasiva 2</b> .....	46
<b>Ilustración 29-Aplicación de pintura al casco del buque</b> .....	46
<b>Ilustración 30-Superficie sin protección catódica</b> .....	47
<b>Ilustración 31-Superficie con protección catódica</b> .....	48
<b>Ilustración 32-Eschema de funcionamiento de ánodos de sacrificio</b> .....	50
<b>Ilustración 33-Ánodo de Zinc</b> .....	51
<b>Ilustración 34-Ánodo de Magnesio</b> .....	51
<b>Ilustración 35-Ánodo de Aluminio</b> .....	52
<b>Ilustración 36-Ánodos en la obra viva del casco</b> .....	52
<b>Ilustración 37-Ánodos en túnel de la hélice de proa</b> .....	53
<b>Ilustración 38-Ánodos en toberas y palas de los timones</b> .....	53
<b>Ilustración 39-Eschema de funcionamiento de corrientes impresas</b> .....	54
<b>Ilustración 40-Buque "Alonso de Chaves"</b> .....	57
<b>Ilustración 41-Motor principal de babor</b> .....	59
<b>Ilustración 42-Motores auxiliares</b> .....	60
<b>Ilustración 43-Motor de emergencia</b> .....	61
<b>Ilustración 44-Motor de puerto</b> .....	62
<b>Ilustración 45-Eschema con las principales partes del equipo de ICCP...</b>	63
<b>Ilustración 46-Unidad de control de potencia</b> .....	64
<b>Ilustración 47-Porta escobillas con escobillas de grafito</b> .....	64
<b>Ilustración 48-Anillo de cobre, con banda de rodadura de plata</b> .....	65
<b>Ilustración 49-Sistema de conexión a masa de los ejes, completo</b> .....	65

<b>Ilustración 50-Eschema del sistema de corrientes impresas .....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 51-Electrodo de referencia .....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 52-Colocación ánodo de inyección 1 .....</b>	<b>68</b>
<b>Ilustración 53-Aplicación del escudo dieléctrico al ánodo.....</b>	<b>68</b>
<b>Ilustración 54-Ánodo de inyección, circular .....</b>	<b>69</b>
<b>Ilustración 55-Ánodo de inyección, lineal.....</b>	<b>69</b>
<b>Ilustración 56-Ánodo de inyección, elíptico .....</b>	<b>70</b>
<b>Ilustración 57-Eschema de distribución de la corriente a los ánodos .....</b>	<b>81</b>



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
NÁUTICA Y MÁQUINAS

# “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA”

---

## MEMORIA

---



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: JUNIO 2017

AUTOR: El alumno

Fdo.: Esteban López Rivera



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b> .....	12
<b>2. MEMORIA</b> .....	13
<b>2.1 Objeto</b> .....	13
<b>2.2 Alcance</b> .....	13
<b>2.3 Antecedentes</b> .....	14
<b>2.4 Normas y referencias</b> .....	14
2.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.....	14
2.4.2 Bibliografía .....	15
2.4.2.1 Páginas web .....	15
2.4.2.2 Otras fuentes .....	16
<b>3. DESARROLLO DE LA MEMORIA</b> .....	18
<b>3.1 Diferencias entre corrosión y oxidación</b> .....	18
<b>3.2 Fenómeno de la corrosión</b> .....	18
<b>3.3 Corrosión electroquímica</b> .....	19
<b>3.3.1 Sistema electrolítico</b> .....	19
<b>3.3.2 Series galvánicas</b> .....	22
<b>3.4 Tipos de corrosión</b> .....	25
<b>3.4.1 Corrosión uniforme o generalizada</b> .....	25
<b>3.4.2 Corrosión localizada</b> .....	25
<b>3.4.3 Corrosión intergranular o intercristalina</b> .....	25
<b>3.4.4 Corrosión por picadura (“pitting”)</b> .....	26
<b>3.4.5 Corrosión galvánica o bimetálica</b> .....	27
<b>3.4.6 Corrosión selectiva</b> .....	28
<b>3.4.7 Corrosión biológica general</b> .....	29

---

<b>3.4.8 Corrosión por fatiga</b> .....	30
<b>3.4.9 Corrosión bajo tensión (CBT)</b> .....	30
<b>3.4.10 Corrosión por erosión</b> .....	31
<b>3.4.11 Corrosión por fricción</b> .....	32
<b>3.4.12 Corrosión en resquicios</b> .....	33
<b>3.4.13 Corrosión por cavitación</b> .....	34
<b>3.5 Cinética de la corrosión</b> .....	35
<b>3.5.1 Factores que favorecen la corrosión</b> .....	36
3.5.1.1 La superficie .....	36
3.5.1.2 La temperatura .....	36
3.5.1.3 El oxígeno .....	36
3.5.1.4 Cloruros .....	36
3.5.1.5 La velocidad.....	36
<b>3.5.2 Ambientes corrosivos e influencia del PH</b> .....	37
<b>3.5.3 Fenómeno de la pasivación</b> .....	38
3.5.3.1 Concepto .....	38
3.5.3.2 Mecanismos de pasivación .....	38
<b>3.5.4 Diagrama de Pourbaix</b> .....	39
<b>3.6 Control de la corrosión</b> .....	41
<b>3.6.1 Protección de los metales</b> .....	41
3.6.1.1 Protección mediante recubrimientos .....	42
3.6.1.2 Otros medios de protección .....	45
3.6.1.2.1 Inhibidores: .....	45
3.6.1.2.2 Protección pasiva: .....	45
3.6.1.2.3 Pinturas “Antifouling”:.....	46
<b>3.6.2 Protección catódica</b> .....	47

---

3.6.2.1 Principios de la protección catódica .....	47
3.6.2.2 Potencial mínimo de protección .....	48
3.6.2.3 Densidad de corriente .....	48
3.6.2.4 Sistema de ánodos de sacrificio.....	49
3.6.2.4.1 Materiales de los ánodos.....	50
3.6.2.5 Sistema de corrientes impresas (ICCP).....	53

## 1. INTRODUCCIÓN.

Cómo indica el título del proyecto “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA”, este trabajo se centrará principalmente en el fenómeno de la corrosión y en los medios para combatirla. Hay que tener en cuenta la corrosión desde el diseño del buque y no después de ponerlo en operación.

El término de protección catódica está ligado a la corrosión (que es la causante de su existencia). La corrosión se define como la destrucción de un metal por reacción química o electroquímica con el medio ambiente. Es casi imposible eliminar este fenómeno, por lo que es preferible centrarse más en su control.

En el estudio de la corrosión, no sólo es importante investigar la tendencia a la corrosión de los diferentes materiales en diferentes ambientes, sino la velocidad del proceso, para poder controlar este fenómeno y determinar la vida media del material en cada ambiente.

El profesional que trabaja con problemas de corrosión necesita saber dónde empezar y tener un conocimiento básico para reconocer este proceso, saber cómo se produce, cómo impedir que evolucione, qué herramientas son necesarias, técnicas de inspección, selección de materiales...

A modo de curiosidad, cuando se habla de protección catódica, hay que mencionar a “Sir Humphry Davy” como el pionero en la utilización de este sistema, pues lo aplicó por primera vez en 1824, para proteger la envoltura de cobre de los buques de guerra británicos utilizando bloques de Zinc. Con esta medida se lograba disminuir la corrosión del forro de cobre pero a la vez se reducía el poder anti incrustante del casco del buque. Por ello la propuesta fue rechazada por el Almirantazgo Británico.

## **2. MEMORIA**

### **2.1 Objeto**

La finalidad de este trabajo de fin de grado es el diseño de un sistema de protección catódica con el fin de evitar la corrosión en el casco del buque.

La corrosión en la superficie mojada del casco, hélices y timones, es inevitable a pesar de los avances de las pinturas que se aplican en el casco de los barcos. Desde el mismo momento en que el casco entra en contacto con el agua del mar, se empiezan a producir corrosiones galvánicas en la superficie del casco, debido a imperfecciones de la pintura, poros, y otras causas que generan la formación de micro células galvánicas en el acero del casco. Al formarse, hacen que una parte se convierta en zona anódica y la otra parte de la célula en zona catódica, creándose un par galvánico y originándose la corrosión.

Con la instalación de un sistema de protección catódica en un buque se espera que aumente considerablemente la vida útil de su casco. Para ello se debe elegir correctamente el sistema, pero se tiene que tener en cuenta una serie de requerimientos cómo fiabilidad, mantenimiento y control.

### **2.2 Alcance**

Como consecuencia de los grandes problemas y de las enormes pérdidas económicas que conlleva la corrosión, en este proyecto se realizará un estudio de las bases teóricas de la corrosión, de los tipos de protección existentes así como de su aplicación a un buque determinado.

El proyecto en sí se divide principalmente en dos partes. En la primera se explican una serie de conceptos a modo de introducción del fenómeno de la corrosión para así poder centrarse en la segunda parte que es la propia esencia del proyecto, que son los mecanismos de control del fenómeno corrosivo.

## 2.3 Antecedentes

Este proyecto surge a raíz de la falta de un sistema adecuado de protección catódica en el buque "ALONSO DE CHAVES" de Salvamento Marítimo (botado en el año 1987). Ya que solo consta de protección mediante ánodos de sacrificio en el casco.

Como este tipo de buques suele realizar una varada cada dos años, se realizará el correcto mantenimiento de los ánodos y se aprovechará para la instalación de un sistema de protección catódica por corrientes impresas (ICCP).

## 2.4 Normas y referencias

### 2.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

A continuación se muestran algunos estándares británicos relacionados con el ámbito de este proyecto:

- **"BS ISO 20313"** (Navegación y tecnología marina. Protección catódica de los buques).
- **"BS EN ISO 12696:2016"** (Protección catódica del acero en concreto).
- **"ASTM F1182 - 07(2013)"** (Especificación estándar para ánodos de sacrificio de aleación de Zinc).
- **"BS ISO 27831-1:2008"** (Revestimientos metálicos y otros revestimientos inorgánicos. Limpieza y preparación de superficies metálicas.)

Otra normativa a mencionar sería:

- **"UNE-EN 12473:2014"** (Principios generales de la protección catódica en agua de mar)
- **"UNE-EN 13509:2003"** (Técnicas de media en protección catódica)
- **"UNE-EN 12499:2003"** (Protección catódica interna de estructuras metálicas)

También es importante, la reglamentación que aparece en la sociedad de clasificación LLOYD'S REGISTER:

- ❖ Información general sobre las normas y reglamentos para la clasificación de los buques (Julio 2009):
  - Parte 3, Estructuras navales (En general):
  - Capítulo 2, Materiales:
    - **Sección 3, Protección contra la corrosión.**

## 2.4.2 Bibliografía

### 2.4.2.1 Páginas web

Consultadas en Mayo de 2017

- <http://www.llalco.com/es/division-naval/proteccion-catodica>
- [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4912/html/34\\_proteccion\\_por\\_diferencia\\_de\\_potencial.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4912/html/34_proteccion_por_diferencia_de_potencial.html)
- [http://docencia.udea.edu.co/cen/electroquimica/practicas/practicas\\_3.php?p=3](http://docencia.udea.edu.co/cen/electroquimica/practicas/practicas_3.php?p=3)
- <https://es.slideshare.net/marinarr/oxidacion-y-corrosion>
- [http://www.repuestosbarcos.com/articulo\\_corrosion.htm](http://www.repuestosbarcos.com/articulo_corrosion.htm)
- <https://www.nauticadvisor.com/blog/2016/06/22/que-son-y-que-funcion-cumplen-los-anodos-de-sacrificio-en-las-embarcaciones/>
- <https://www.aiu.edu/spanish/publications/student/spanish/131-179/Corrosion-Engineering-Catodic-Protection.html>
- <http://emcsindustries.com/marine-solutions/marelco-anti-corrosion/>
- <http://www.incorr.com/impcorr.htm>
- <http://www.proytec.com/sunmatic.html>
- <http://www.incorr.eu/2011/08/corriente-impresa.html>
- <http://tecnologiatotal.net/aci/>
- [https://books.google.es/books?id=LfpP\\_DOfdG4C&pg=PA47&lpg=PA47&dq=calculo+superficie+mojada&source=bl&ots=Pbfre5iek&sig=09wu6E4j2uYNiHgDJL15MqpTiNM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjSxY7rhZjUAhXIPRoKHU-pCi4Q6AEIMTAC#v=onepage&q=calculo%20superficie%20mojada&f=false](https://books.google.es/books?id=LfpP_DOfdG4C&pg=PA47&lpg=PA47&dq=calculo+superficie+mojada&source=bl&ots=Pbfre5iek&sig=09wu6E4j2uYNiHgDJL15MqpTiNM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjSxY7rhZjUAhXIPRoKHU-pCi4Q6AEIMTAC#v=onepage&q=calculo%20superficie%20mojada&f=false)
- [http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020146885/1020146885\\_011.pdf](http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020146885/1020146885_011.pdf)
- <https://es.scribd.com/doc/188722289/CORROSION-Y-PROTECCION-DE-METALES>
- [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgd/hernandez\\_m\\_js/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo1.pdf)
- [https://books.google.es/books?id=mShw6d\\_su3oC&pg=PA593&lpg=PA593&dq=humphry+davy+PROTECCION+CATODICA&source=bl&ots=lyheyUXg3Z&sig=ASnuFBp5U5Gnb\\_5AB7zsQRHxImU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKE](https://books.google.es/books?id=mShw6d_su3oC&pg=PA593&lpg=PA593&dq=humphry+davy+PROTECCION+CATODICA&source=bl&ots=lyheyUXg3Z&sig=ASnuFBp5U5Gnb_5AB7zsQRHxImU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKE)

[wib4OX8wdHTAhWL2hoKHWaqDkAQ6AEIWDAl#v=onepage&q=humphry%20davy%20PROTECCION%20CATODICA&f=false](http://wib4OX8wdHTAhWL2hoKHWaqDkAQ6AEIWDAl#v=onepage&q=humphry%20davy%20PROTECCION%20CATODICA&f=false)

- <http://www.cathelco.com/>
- <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000000245228>
- <http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>
- <http://www.jotun.com/es/es/b2b/paintsandcoatings/>

#### 2.4.2.2 Otras fuentes

- Libro: Corrosión y protección (Bilurbina-Liesa-Iribarren/ EDICIONS UPC)
- Apuntes de la asignatura de química de primer año (631G02107)
- Apuntes de la asignatura de ciencia e ingeniería de los materiales de tercer año (631G02206)
- Manual de instrucciones del sistema AQUAMATIC de WILSON WALTON INTERNATIONAL
- “Corrosión por picadura: Caso particular de estudio del “Puente Juan José Arenas” de Santander”. Andrés Prieto Alba (2014)
- “Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas”. Ismael Díez Ortega (2008)
- “Preparación de superficies, protección anticorrosión y mantenimiento de estructuras navales”. Ramón Traverso Domouso y Juan José Pineda Delgado (2011)
- “Corrosión y degradación de los metales”. EF Navarrete Cueva (2007)
- “Introducción a la corrosión”. Senén Hernández Suarez, Cina Jiménez Alfaro, Ascensión Patricio Gómez, Martín Roberto Picado Aldana Y Benjamín Reyes Noriega. (1987)



- Manual para sistema “Proytec”. PG PROGENER
- “Protección catódica: ánodos de sacrificio”. Adonay Méndez Pérez (2016)
- “Cálculo, diseño e instalación de los ánodos de sacrificio en una embarcación pesquera. Sara Báñez García (2012)
- “Mantenimiento preventivo de la corrosión aplicado a la obra viva del buque”. Eduardo Sesé Rodríguez (2014)
- “Ingeniería Marina: Sistemas de protección catódica a bordo”. Alberto Javier Fraga Rivas (2016)
- “Sistemas de protección catódica”. Jorge Rial Dieste (2017)

### **3. DESARROLLO DE LA MEMORIA**

#### **3.1 Diferencias entre corrosión y oxidación**

La oxidación es un ataque destructivo que sufren los metales al reaccionar con el medio ambiente, es decir, es la reacción de un metal con el oxígeno sin la presencia de líquido. El producto que se obtiene de esta reacción es un óxido, y si es estable, se forma una capa en la superficie llamada "INTERFASE EXTERNA".

La corrosión es también la reacción de un metal con el ambiente pero con la presencia de una solución acuosa (electrolito) e intervienen a mayores una serie de factores. Es principalmente un proceso electroquímico.

#### **3.2 Fenómeno de la corrosión**

Es un efecto que sufren inevitablemente todos los metales y aleaciones, y que representa una enorme pérdida económica. Cabe destacar que también se pueden corroer otros materiales como la madera, cerámica, plástico... No tienen por qué existir cambios visibles en el material, pero se pueden producir alteraciones en su estructura interna.

Principalmente se distinguen dos tipos de corrosión, la química y la electroquímica, también denominadas corrosión seca y húmeda. La corrosión seca, se trata de un tipo de una corrosión que se produce por una reacción química, sin que exista una corriente eléctrica durante el proceso. Se denomina húmeda cuando su naturaleza es electroquímica, es decir, existe una corriente eléctrica dentro del medio corrosivo. La corrosión húmeda tiene mayor impacto sobre buques, debido a que las superficies metálicas de estos están sumergidas y a los tanques interiores de los buques.

A excepción de la corrosión por altas temperaturas, que es un proceso meramente químico, la mayoría de los procesos restantes son del tipo electroquímico, con la formación de una pila, con una corriente eléctrica que circula entre dos zonas de la superficie del metal, ánodo y cátodo (la oxidación se produce en el ánodo y la reducción en el cátodo), y mediante una solución denominada "electrolito" que conduce esa corriente. El funcionamiento de la pila origina la corrosión de las zonas anódicas.

### **3.3 Corrosión electroquímica**

La corrosión, como proceso electroquímico, consiste en la reacción de un metal en un medio agresivo que se transforma en un óxido u otro compuesto termodinámicamente estable en aquellas condiciones por medio de una reacción de oxidación-reducción en un medio conductor de electricidad.

Este tipo de corrosión se caracteriza por el medio en el que suele producirse, ya que el agua de mar es el electrolito por excelencia que tiene la naturaleza. El alto contenido salino del agua de mar, la convierte en un electrolito perfecto para el buen funcionamiento de la pila de corrosión, estableciendo el contacto eléctrico entre los posibles ánodos y cátodos.

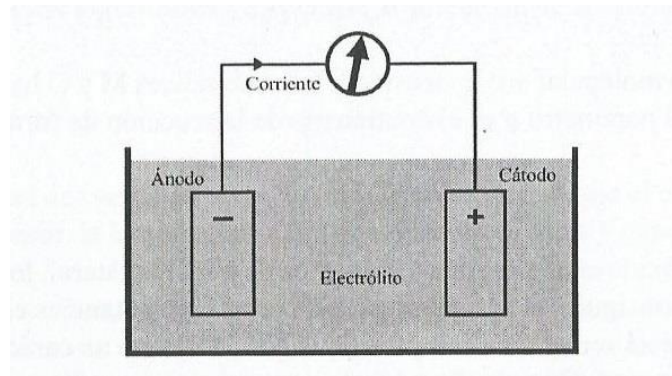
La zona anódica es la que sufre los efectos de la corrosión, por lo que se deduce que la corriente se establece desde el ánodo hacia el cátodo. Ambas zonas, tanto la anódicas como la catódica existen en la estructura del casco del buque debido a diversas condiciones, como la unión de metales de diferentes potenciales, diferencias físicas en los grados de composición del metal que forma el casco, deterioro o discontinuidad del revestimiento de pintura...

#### **3.3.1 Sistema electrolítico**

Es aquel donde se lleva a cabo un fenómeno electroquímico, que es un cambio químico producido por la aplicación de corriente directa, es decir, una electrólisis, e inversamente, la producción de corriente directa como consecuencia de una reacción química, como es la pila.

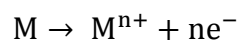
Una pila básicamente consiste en una varilla de carbón o grafito inmerso en una sustancia conductora de la electricidad (electrolito). La varilla y el electrolito están rodeados de un recipiente de Zinc. Tanto la varilla como el recipiente de Zinc tienen puntos de conexión para cables eléctricos (polos). La pila está emitiendo una corriente eléctrica. Pasado algún tiempo, esta emisión cesará, ya que el recipiente de Zinc (el ánodo) se habrá consumido por disolución (corrosión).

Este sistema consta de: ánodo, cátodo y una disolución eléctricamente conductora (electrolito):



**Ilustración 1-Sistema electroquímico**

El ánodo (electrodo negativo): es el lugar donde se produce la corrosión. En él se producen las reacciones de oxidación y existe desprendimiento de electrones. Hacia él se dirigen los aniones y de él parten los electrones.



El electrolito: es el medio que transporta los electrones. En su interior se encuentran disueltos iones positivos y negativos que se verán afectados por las reacciones de oxidación y reducción. Las sales que contiene el electrolito son las que conducen la corriente, por ello su concentración afecta a la conductividad.

El cátodo (electrodo positivo): se consume durante el proceso. En él tienen lugar las reacciones de reducción y existe absorción de electrones. Hacia él se dirigen los cationes y a él llegan los electrones.

El flujo de electrones que causan las reacciones de oxidación y reducción, se realiza por medio de un conductor eléctrico.

La diferencia de potencial eléctrico entre ánodo y cátodo se denomina potencial de celda, fuerza electromotriz o voltaje de celda. Su valor depende del tipo de electrodo, de las concentraciones de iones y de la temperatura.

Las reacciones que se producen en este sistema son las llamadas "REDOX" las cuales realizan una transferencia de electrones de una sustancia a otra. A

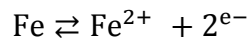
diferencia del resto de reacciones químicas, las reacciones REDOX pueden realizarse sin contacto físico entre las sustancias reaccionantes, bastando que entre ellas se produzca contacto eléctrico. La corriente de electrones fluye del ánodo al cátodo porque hay una diferencia de energía potencial eléctrica entre los electrodos.

Ejemplo: En una corrosión del hierro en contacto con cobre.

Reacción de oxidación:

También llamada reacción anódica. Se caracteriza por la pérdida de electrones (o aumento del número de oxidación).

Las regiones locales en la superficie de los metales donde ocurre la reacción de oxidación, se denominan “ánodos locales”.



Reacción de reducción:

También llamada reacción catódica. Se caracteriza por la ganancia de electrones (o disminución del número de oxidación) Las regiones locales en la superficie de los metales donde ocurre esta reacción, se denominan “cátodos locales”.

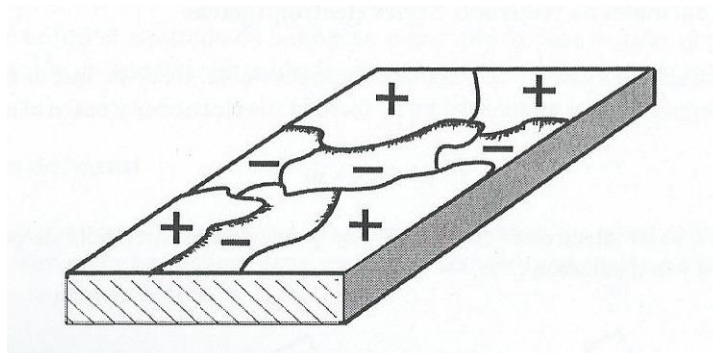
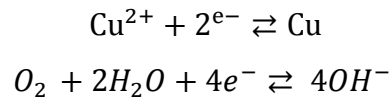


Ilustración 2-Ánodos y cátodos locales

Ambas reacciones se producen simultáneamente.

Básicamente el proceso que ocurre en un sistema electrolítico se puede resumir en que cuando se unen eléctricamente dos metales de distinto potencial electroquímico, y estando ambos rodeados del mismo electrolito (agua de mar, agua dulce, soluciones salinas o incluso la humedad) se establecerá entre ellos una pila galvánica, en la que el metal con carácter más electronegativo (ánodo) cederá electrones al metal más electropositivo, protegiéndose éste de la corrosión del primero.

La superficie del metal con mayor tendencia a la corrosión, la llamada zona anódica, es corroída en un proceso en el que los átomos metálicos dejan sus electrones en el interior del metal pasando a la solución como ion positivo. Sin embargo la zona del metal con menor tendencia a la disolución, es decir la zona catódica, permanece en todo momento inmune al ataque corrosivo. Ésta recibe a través de la masa metálica, los electrones liberados en el ánodo, que son suministrados a un captador u oxidante presente en el electrolito en los procesos de reducción catódica. (Cómo captador de electrones puede actuar cualquier oxidante, normalmente el  $O_2$  en medios neutros y alcalinos ( $pH \geq 7$ ) y el  $H^+$  en medios ácidos ( $pH < 7$ )).

### **3.3.2 Series galvánicas**

La resistencia de un metal a la corrosión es la capacidad de ese metal de oponerse a la corrosión en un ambiente determinado.

Tanto los metales como las aleaciones contienen una cierta cantidad de energía residual, la cual se puede medir en voltios. Estas mediciones se denominan potencial o mediciones de voltaje eléctrico. La diferencia de potencial entre metales se puede calcular mediante un voltímetro, pero si se quiere medir el potencial de un metal solo o con otros, se necesita un electrodo de referencia (también llamado electrodo de hidrógeno estándar), que tiene un potencial real de cero voltios en un electrolito determinado y a una temperatura de  $0^\circ$ .

A modo de ejemplo, en el caso del agua de mar se utilizan los siguientes electrodos de referencia:

ELECTRODO	ELECTROLITO	POTENCIAL
<b>Ag/AgCl</b> Plata/Cloruro de Plata	Agua de mar	Apróx: +0,25V
<b>Cu/CuSO<sub>4</sub></b> Cobre/Sulfato de Cobre	Agua de mar	Apróx: + 0,30V

En las series galvánicas se pueden clasificar los metales y aleaciones metálicas en función de su resistencia a la corrosión. Para ello se mide el voltaje o potencial de un metal o aleación en un medio determinado. Las series galvánicas más comunes son las de metales inmersos en agua de mar, y mediante ellas podemos determinar que metal se corroerá al unirse a otro metal.

Un metal con un potencial menor a otro metal se dice que es más innoble que este último. Si no se pudiera aislar los metales entre sí evitando el contacto directo, se elegirían los metales de manera que sus potenciales tuviesen valores muy próximos. Cuanto mayor sea la diferencia en el potencial, mayor será la corrosión del metal más innoble.

Un metal se considera noble cuando tiene un potencial de oxidación alto (electronegatividad). Este potencial es la tendencia a oxidarse (perder electrones) del metal. Por lo tanto cuanto más noble, mayor dificultad para oxidarse.

La corrosión debido a diferencias de potenciales entre metales o con la propia aleación se le denomina corrosión galvánica o bimetálica.

Algunos metales o aleaciones pueden tener potenciales variables. Debido a que se recubren de una fina capa de óxido protector.

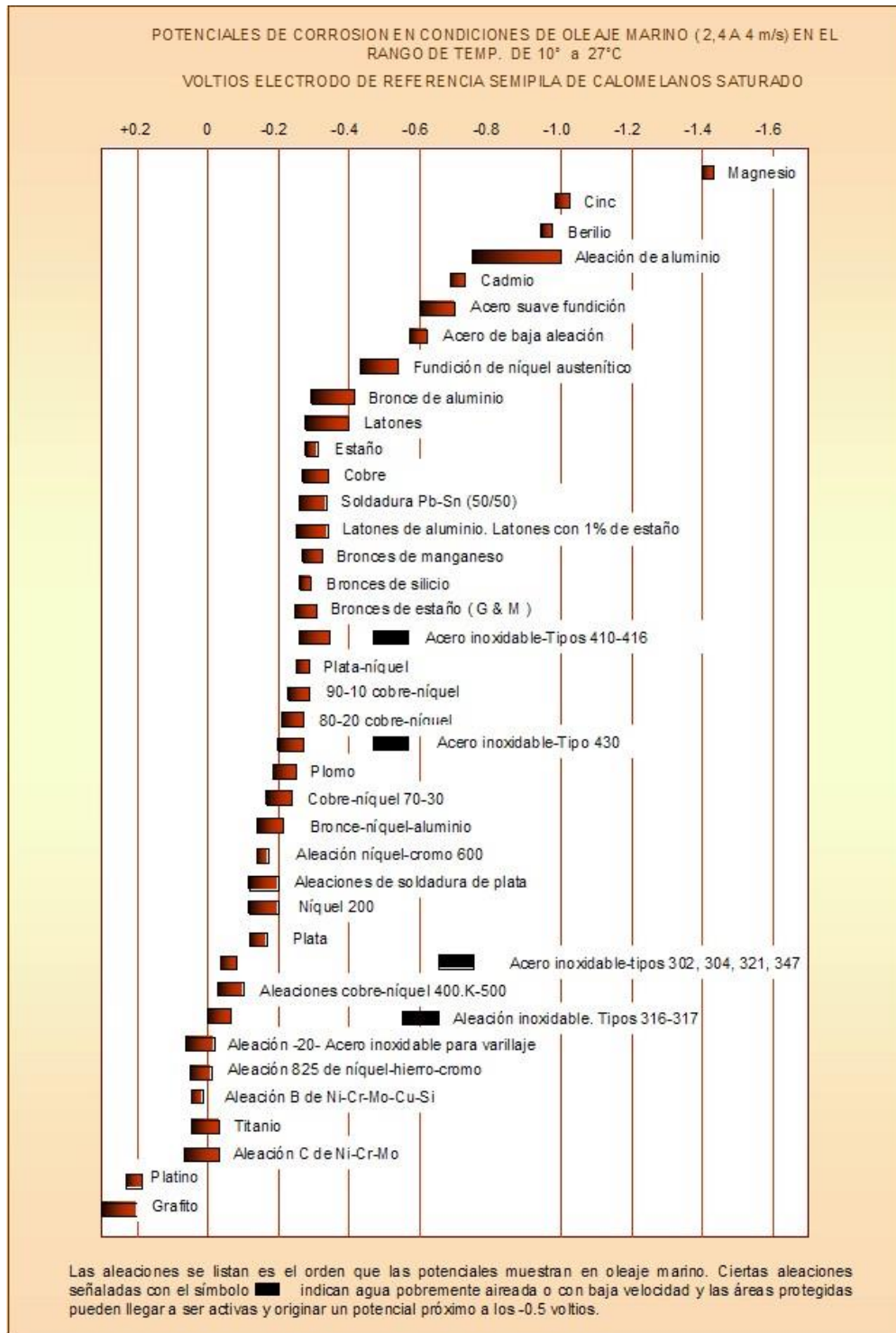


Ilustración 3-Tabla serie galvánica

Esta tabla representa las series galvánicas en agua de mar para ciertos materiales metálicos de uso comercial. Están clasificados de mayor a menor potencial de oxidación.



### 3.4 Tipos de corrosión

#### 3.4.1 Corrosión uniforme o generalizada

En este tipo de corrosión, el ataque se extiende por igual sobre la superficie afectada y su penetración es la misma en todos los puntos de ésta. Por ello se puede calcular fácilmente la cinética de pérdida de material de la superficie, lo cual, facilita el dimensionamiento de una pieza y el cálculo dimensional de estructuras metálicas. Por lo que se puede calcular la vida útil de los materiales afectados.

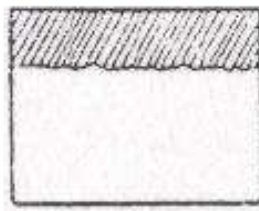


Ilustración 4-Corrosión uniforme o generalizada

#### 3.4.2 Corrosión localizada

Es un proceso muy parecido al anterior ya que ataca la superficie en general pero se extiende más en algunas zonas.

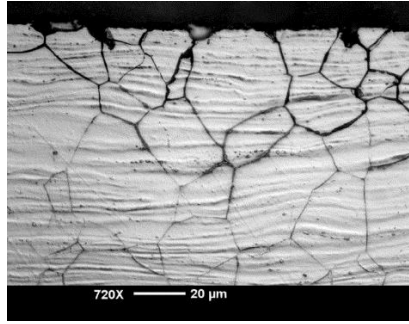


Ilustración 5-Corrosión localizada

#### 3.4.3 Corrosión intergranular o intercrystalina

Se trata de la destrucción del metal o aleación a lo largo de los límites de los granos (ataque a nivel microscópico), ya que son zonas propensas al ataque electroquímico debido a que los átomos metálicos están débilmente empaquetados en la red cristalina y también porque es donde se acumulan impurezas. Como ánodo actúan los bordes/límites y como cátodo los granos.

La corrosión se propaga a gran profundidad sin ocasionar grandes cambios en la superficie y esto puede producir averías imprevistas.



**Ilustración 6-Corrosión intergranular o intercrystalina**

#### **3.4.4 Corrosión por picadura (“pitting”)**

Son ataques localizados a metales en forma de cavidades que se propagan hasta el interior del mismo, en ciertos casos forman túneles microscópicos. Las picaduras suelen ser difíciles de detectar ya que están cubiertas por los productos de la corrosión.



**Ilustración 7-Corrosión por picadura**

Este tipo de proceso normalmente se produce en las superficies de metal las cuales están protegidas por revestimientos de óxido como el acero inoxidable, aluminio... Al comenzar a corroerse, aparecen pequeños puntos en la superficie (marrones en el caso del acero), que se van extendiendo con el paso del tiempo, tanto en número como en diámetro de picadura.



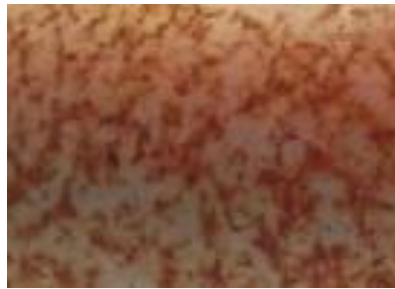
**Ilustración 8-Fase inicial del proceso**

A continuación, cuando el ataque sobre la superficie metálica está muy avanzado, se pueden ver “hilos” de óxido a lo largo de la superficie, hasta que el volumen de los óxidos acabe cubriéndola por completo.



**Ilustración 9-Fase intermedia del proceso**

El proceso continúa, hasta que la picadura afecta a toda la pieza:



**Ilustración 10-Fase final del proceso**

Las picaduras por lo tanto, suelen aparecer en defectos de los metales o debido a la rotura local de las capas de pasivación. Para poder evitar este tipo de corrosión, se debe elegir un material que no va a ser atacado en su ambiente de servicio o, uno más resistente a este tipo de corrosión (como por ejemplo aceros con Cr, Mo y Ni).

### **3.4.5 Corrosión galvánica o bimetálica**

Este tipo de corrosión se debe a la corriente generada cuando se encuentran en contacto dos metales con potenciales diferentes.

Los metales de los barcos se ven afectados por este fenómeno por el simple hecho de estar sumergidos en el agua. La diferencia de potencial existente entre los distintos metales hace que uno de ellos actúe como ánodo. Cuanto más bajo sea el potencial de un metal, más rápidamente será corroído o disuelto y, al mismo tiempo cuanto mayor sea la diferencia de potencial existente entre dos metales,

mayor será la corrosión galvánica producida entre ellos, por lo que el que tiene el potencial mucho más bajo se verá afectado.

El potencial de un metal o una aleación depende de: la composición química del medio, películas de óxido, productos de corrosión que pueden existir o desarrollarse sobre la superficie metálica y la temperatura.

Para evitar este tipo de corrosión se suelen emplear medidas como:

- Evitar en lo posible el uso de materiales diferentes.
- Evitar una relación de áreas desfavorables. (Es decir, un pequeño ánodo conectado a un gran cátodo).
- Aislar eléctricamente un material del otro cuando se tienen que usar materiales diferentes. En caso de no ser posible, la parte más anódica debe ser diseñada para un fácil reemplazo.
- Proteger el cátodo y el ánodo cerca de la unión de los mismos mediante revestimientos evitando el contacto.

En resumidas cuentas, si se tienen que unir distintos metales y se quiere evitar que se deteriore alguno de ellos, hay que intentar usar materiales lo más próximos en la tabla galvánica o serie electroquímica (para que la oxidación sea lo más lenta posible) o, aislarlos eléctricamente.



Ilustración 11-Corrosión galvánica

### 3.4.6 Corrosión selectiva

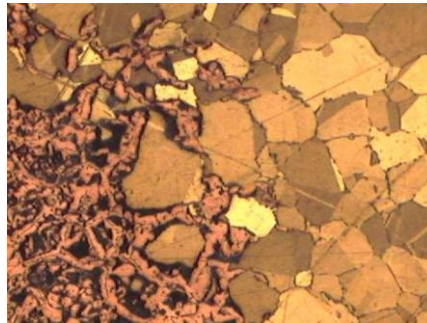
Dentro de este tipo, se pueden encontrar varios casos, como la “descincificación” que consiste en la separación del Zinc del Latón en soluciones acuosas, particularmente en agua. El Zinc se disuelve y el cobre permanece en la aleación en forma de masa porosa, de poco espesor, por lo que la estructura metálica fallaría con el más mínimo esfuerzo mecánico.

La disolución del zinc solo ocurrirá cuando el latón tenga un contenido de más del 15% de Zinc. A niveles más bajo de Zinc, su disolución puede evitarse mediante la adición de mínimas cantidades de otros materiales a la aleación, como por ejemplo el 0.05% de Arsénico.

El proceso de “descincificación” puede ser de dos formas:

- Una disolución de Zinc selectiva que deje un residuo de cobre poroso.
- Una disolución simultánea del Zinc y Cobre con un depósito posterior de este último sobre el Latón.

Para prevenir este tipo de corrosión, se deberá reducir la cantidad de Zinc en los Latones, o añadir elementos aleantes que eviten que el Zinc se disuelva, y pueda mezclarse con ellos.



**Ilustración 12-Corrosión selectiva**

### **3.4.7 Corrosión biológica general**

Los microorganismos debido a sus procesos metabólicos reconcentran el oxígeno en la superficie metálica y también el ácido sulfhídrico, que es uno de los productos de su descomposición.



**Ilustración 13-Corrosión biológica general**

### 3.4.8 Corrosión por fatiga

Los metales que dependen de variables como por ejemplo, curvaturas, flexibilidades o vibración y que al mismo tiempo pueden corroerse, pueden llegar a la rotura por menos esfuerzos mecánicos de lo habitual.



Ilustración 14-Corrosión por fatiga

La fatiga por corrosión se puede evitar mediante:

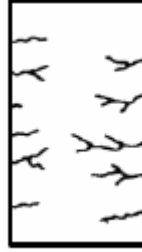
- La eliminación de influencia mecánica.
- Refuerzos de la estructura, de modo que las influencias mecánicas no pasen la fatiga umbral.

### 3.4.9 Corrosión bajo tensión (CBT)

La corrosión bajo tensión, o CBT, provoca que un material se fisure y se rompa muy por debajo de la tensión de diseño, y aparece únicamente en metales sometidos a un estado tensional elevado, o tensiones residuales en un ambiente específico para ese material.

Esta corrosión se produce cuando simultáneamente la pieza está sometida a un estado tensional y se encuentra en un medio corrosivo (específico para el metal). En el caso de que una de estas condiciones no se dé, no aparecerá esta corrosión.

En este tipo de corrosión aparecen fisuras superficiales que se extienden hacia el interior de la pieza y se ramifican dentro de esta.



**Ilustración 15-Corrosión bajo tensión (CBT)**

Para reducir este tipo de corrosión tendremos que disminuir la tensión sobre la pieza y las tensiones residuales que tenga. También se pueden aplicar revestimientos superficiales y eliminar cualquier electrolito agresivo sobre la superficie. Otra opción sería usar un material adecuado para el ambiente y diseño del trabajo.

### **3.4.10 Corrosión por erosión**

La corrosión por erosión se debe a la fricción fluido-metal. Se produce la rotura de la capa protectora del metal al pasar el fluido (con o sin sólidos en suspensión) por encima de su superficie.



**Ilustración 16-Corrosión por erosión**

Hay una serie de factores que determinan la importancia de este fenómeno:

- La velocidad relativa entre el fluido y la superficie de metal en contacto.
- El grado de turbulencia del fluido.
- Las propiedades químicas del fluido y cómo se comportan ante el metal.
- El grado de impureza del metal.
- La cantidad de impurezas que transporte el fluido.

Para reducir este tipo de corrosión se pueden usar los siguientes métodos:

- Aplicar recubrimientos superficiales que aíslen el metal del fluido.
- Bajar la velocidad del fluido que circula por el sistema.



- Ayudar con el diseño a la continuidad del mismo a través de la superficie.
- Añadir filtros para evitar los sólidos en suspensión, impurezas y filtraciones

### 3.4.11 Corrosión por fricción

Tiene cierta similitud con la corrosión por erosión, pero en este caso el deterioro se debe al deslizamiento de una superficie metálica sobre otra, en vez de fluido con superficie metálica. El daño es provocado previamente por el contacto entre dos metales, además, al entrar en fricción, se crea un desgaste, causando microrroturas en ambas superficies metálicas, y el fenómeno de corrosión.



**Ilustración 17-Corrosión por fricción, rodamiento**

La severidad de este tipo de corrosión aumenta con los siguientes factores:

- La velocidad de fricción relativa entre los metales y la amplitud de movimiento de la misma.
- La composición química de los materiales al estar en contacto (el contacto galvánico según sean los materiales puede repercutir seriamente siendo un potenciador de la corrosión).
- La fuerza de rozamiento generada (afecta más al deterioro mecánico que a la corrosión).

El mayor daño de este tipo de corrosión se produce en las zonas de mayor contacto entre las superficies, y en las zonas de acumulación de residuos (formados por el desgaste mecánico del contacto de las piezas).

Para evitar o reducir en la medida de lo posible este efecto, se pueden emplear estos métodos:

- Controlar la fuerza de rozamiento generada.
- Emplear lubricantes adecuados para los materiales en contacto.
- Utilizar membranas aislantes, para evitar o reducir movimientos vibratorios.



-Las superficies deben tener un buen acabado. (Para ello podemos emplear la técnica del chorreado, es decir, proyectar arena u otro material sobre la superficie, desgastándola y puliéndola).

### 3.4.12 Corrosión en resquicios

Este tipo de corrosión se suele producir en las zonas de los metales mal aireadas y angulosas, es decir, zonas donde el oxígeno no llega de forma directa, zonas de grietas y orificios, que provocan zonas de aireación diferencial.

Una zona de aireación diferencial se forma cuando una parte de una pieza metálica se encuentra en contacto con una concentración de oxígeno mayor que la que hay en otra zona de la misma pieza.

Siempre se cumple que en la zona rica de oxígeno se produce la reducción de dicho gas, mientras que en la zona más pobre tiene lugar la oxidación del metal. Es decir, actúan como cátodo y ánodo respectivamente.



**Ilustración 18-Corrosión en resquicios**

También este tipo de corrosión se puede producir debido a una acumulación de electrolito y a una situación en zona de mala aireación. Por ello hay que centrarse en la geometría de la pieza y el diseño, para poder evitar este tipo de corrosión. Para minimizar el riesgo de corrosión de este tipo, hay que tener en cuenta:

- Evitar ángulos de 90° o inferiores; nos permitirá reducir la corrosión en esa zona angulosa.
- Un canto redondeado será menos susceptible a corroerse que un canto vivo.
- Evitar uniones atornilladas y remachadas; empleando uniones soldadas o adhesivas.
- Favorecer el drenaje del electrolito a través del metal y evitar su estanqueidad.

-Reducir la humedad, aislar bien las juntas para que no haya orificios y limpiar el material.

### 3.4.13 Corrosión por cavitación

Para conocer este tipo de corrosión, primero se debe saber en qué consiste la cavitación. En los líquidos se producen, vacíos o cavidades, debido a la turbulencia o a la temperatura, que a su vez originan una disminución de la presión del líquido por debajo de la presión de vapor (en zonas como el interior de tuberías), reduciendo la resistencia del material.

Estos vacíos simplemente son agujeros en el interior de líquido que contienen vapor de agua, se forman y desaparecen debido a cambios de presión del líquido turbulento, al desaparecer crean fuerzas en la superficie del metal que provocan que la capa pasiva del metal se desprende de la matriz. El metal procurará producir la capa de nuevo, pero tienen lugar pares galvánicos entre la matriz y la capa de óxido desprendida, por lo que la pieza se encontrará sin protección y se deteriora por oxidación y cavitación.

Para evitar este efecto, se deben emplear aleaciones más resistentes y emplear sistemas que reduzcan la turbulencia y caídas de presión en la medida de lo posible. Incluso se podrían aplicar pinturas y tratamientos superficiales con el fin de ofrecer mayor resistencia mecánica.



Ilustración 19-Corrosión por cavitación, bomba de refrigeración coche

Este tipo de corrosión se suele producir en zonas donde existen grandes flujos y cambios rápidos de presión. Existen muchos casos de este fenómeno en hélices.



Ilustración 20-Corrosión por cavitación, hélice

### 3.5 Cinética de la corrosión

La corrosión es un proceso en el que interviene una reacción anódica y una catódica, en el momento en el que se produce este fenómeno, la velocidad de oxidación anódica tiene que ser igual a la velocidad de reducción catódica. La intersección de las curvas de polarización anódica y catódica indicará el potencial y la densidad de corrosión, que será proporcional a la velocidad de corrosión.

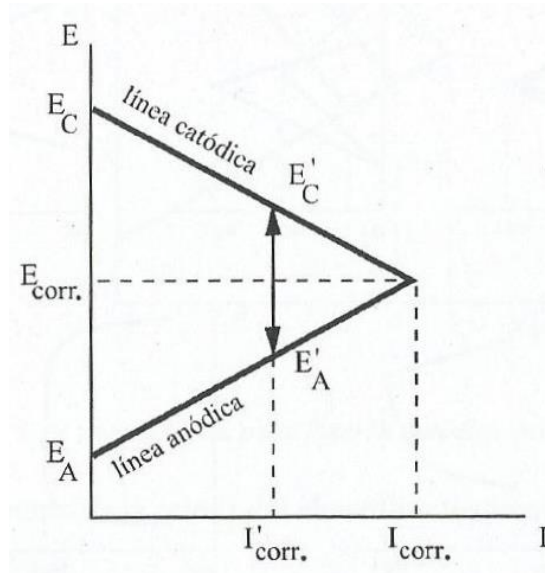


Ilustración 21-Gráfica de la cinética de la corrosión

### **3.5.1 Factores que favorecen la corrosión**

#### 3.5.1.1 La superficie

El desarrollo de la corrosión depende bastante de la condición en la que se encuentre el área afectada. La zona puede contener partículas o impurezas que aumentan las posibilidades de que se produzca este fenómeno.

#### 3.5.1.2 La temperatura

Hay que tener en cuenta que la temperatura del agua de mar depende de la estación del año y de la localización geográfica.

El efecto de la temperatura potencia la corrosión, debido a que un aumento de ésta, provoca un incremento en la cinética de las reacciones.

También cabe destacar que la velocidad de corrosión debería ser alta en zonas de agua de tropicales, pero debido al tipo de ecosistema marino que tienen, se produce una reducción del oxígeno disuelto en el agua, por lo que la corrosión disminuye a pesar de la alta temperatura.

#### 3.5.1.3 El oxígeno

El agua de mar contiene disuelto oxígeno, que es el principal agente oxidante. La reducción del oxígeno disuelto está relacionada con el proceso de oxidación del metal, y por lo tanto, todos aquellos factores que puedan influir en la reacción que se produce entre el oxígeno y la superficie del metal, serán determinantes en la evolución de la corrosión.

Cuanto más abundante sea el oxígeno disuelto en el agua, más rápida será la velocidad con que se produzca la corrosión.

#### 3.5.1.4 Cloruros

La aparición de un elevado contenido de cloruros provoca la disminución del potencial iónico de los metales, que a su vez, incrementa la posibilidad de una reacción de corrosión.

#### 3.5.1.5 La velocidad

El flujo de mar influye en el transporte del oxígeno a las zonas catódicas, debido a que origina la eliminación de los productos de la corrosión, dejando más zonas del metal al descubierto, y aumentando los efectos del proceso corrosivo.

### 3.5.2 Ambientes corrosivos e influencia del PH

El riesgo de corrosión en zonas con interiores secos es mínimo. Sin embargo, si se encuentran el contacto con el medio ambiente y elementos como el sol, la lluvia o aire contaminado, cambiarán las condiciones, y estos factores incrementarán el grado de corrosión en la mayor parte de los metales.

Gran cantidad de los gases emitidos a la atmósfera por la industria, son o pueden convertirse en ácidos o alcalinos. Dichas sustancias (normalmente soluciones acuosas) atacarán a los metales así como a otros materiales de construcción.

Para averiguar si una solución es ácida o alcalina, hay que determinar el pH de la solución. Una vez que se obtenga el resultado, se compara en una escala de pH del 0-14.

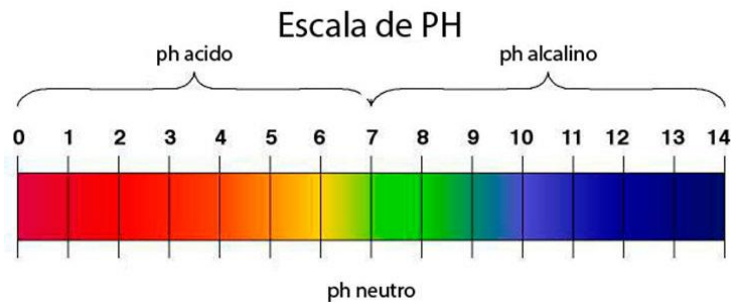


Ilustración 22-Escala de pH

El agua completamente pura tiene pH 7, es decir, la solución es neutra. Los pH por debajo de 7 indican soluciones ácidas, mientras que los valores superiores a 7 indican soluciones alcalinas. La escala del pH, es logarítmica, esto quiere decir que una unidad por encima o por debajo del valor neutro, incrementa la potencia de la solución en un factor diez. Por ejemplo, si una solución tiene un pH 4, será  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  veces más concentrada que una solución de pH 7.

### 3.5.3 Fenómeno de la pasivación

#### 3.5.3.1 Concepto

Es la propiedad de los materiales de producir la formación de capas superficiales sobre un metal, que lo defienden de los agentes químicos agresivos. Generalmente, esta capa se debe a los óxidos del propio metal que se está protegiendo. Al volverse pasivo el metal y mientras no se destruya la capa protectora, la velocidad de corrosión disminuye hasta ser prácticamente nula.

Estas capas peligran con la presencia de sustancias no pasivantes como cloruros y sulfatos.

#### 3.5.3.2 Mecanismos de pasivación

Principalmente se dividen en dos tipos:

##### Natural:

La pasivación en este caso se debe a la formación de una capa de productos oxidados con un espesor muy pequeño pero muy compacto a la vez, además de ser de muy baja porosidad por lo que deja al metal aislado del medio.

##### Artificial:

Se utiliza algo que provoque la formación de la capa o se emplea algún producto que forma la capa al ser aplicado, como por ejemplo el minio.

En el caso del Hierro se puede fabricar una capa delgada e impermeable artificialmente, sumergiendo por ejemplo una pieza de este material en un agente oxidante como el ácido nítrico concentrado. La reacción de reducción en el cátodo ocurre tan rápido que la reacción en el ánodo no puede producir los suficientes iones de hierro que necesita el cátodo, por ello la reacción anódica crea esta capa protectora y pasiva de Óxido Férrico. La capa pasiva generada interrumpe el suministro de iones de Hierro.

En este caso el ácido es más importante por su efecto de oxidación que por su acidez, y la capa pasiva generada.

A modo de curiosidad, si se emplea como agente oxidante el oxígeno, no se produce una reacción de reducción catódica lo suficiente rápido como para que ocurra el fenómeno de la pasivación.

### 3.5.4 Diagrama de Pourbaix.

Muestra el comportamiento de diferentes metales en función de su potencial respecto al electrodo de referencia y su pH.

Este comportamiento indica que tendencia termodinámica existe:

- Ser inmune a la corrosión.
- Disolverse.
- Formar un óxido.

Si en el último caso, el óxido es estable, se dice que nos encontramos en una zona de pasividad termodinámica.

#### Zonas:

- M: Inmunidad a la corrosión
- $M^{2+}$  y  $MO_2^{-2}$ : Los productos disueltos son estables.
- Pasividad: Los productos formados son insolubles y dificultan la disolución posterior.

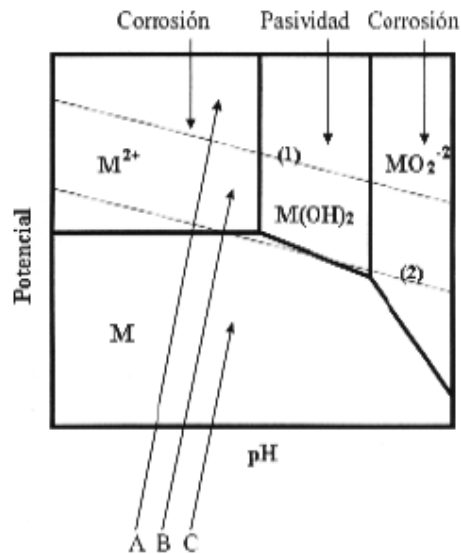


Ilustración 23-Diagrama de Pourbaix 1

#### Zonas de estabilidad del agua:

- A: La reacción de corrosión provoca reducción de protones de agua.
- B: Agua termodinámicamente estable.
- C: Reducción del Oxígeno disuelto.

A continuación, se muestra el diagrama de Pourbaix para el caso del Hierro en una solución acuosa a 25 °C:

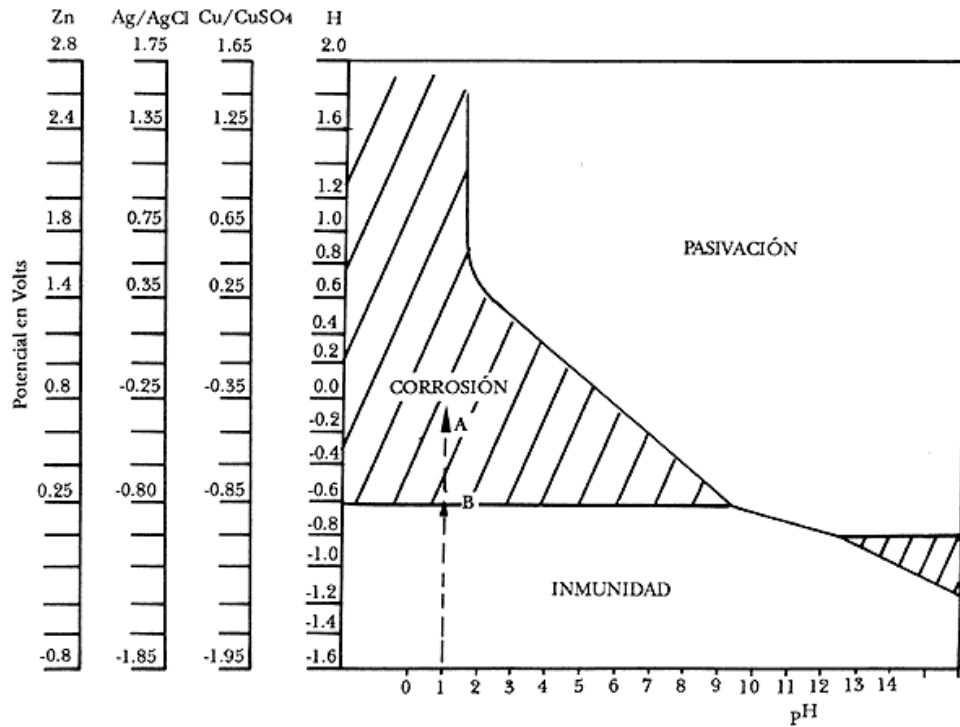


Ilustración 24-Diagrama de Pourbaix 2

En el diagrama aparecen tres zonas:

- Zona de pasivación: En esta zona, la especie estable, es un sólido insoluble que puede proteger al metal si forma una capa impermeable y adherente.
- Zona de corrosión: En esta zona, un ion soluble es la especie estable y el metal puede corroerse si la cinética es favorable.
- Zona de inmunidad: Aquí, el metal es la especie estable y es invulnerable a la corrosión.

Para proteger en este caso al hierro, se dispone de tres alternativas:

- Elevar el potencial del material hasta la zona de pasivación, mediante protección anódica.
- Alcalinizar el medio hasta sobrepasar el pH límite entre las zonas de corrosión y pasivación.
- Disminuir el potencial hasta situarse en la zona de inmunidad, mediante protección catódica.



Hay que tener en cuenta que este diagrama se debe emplear solo como una guía, debido a que se basa en datos termodinámicos y no tiene en cuenta la cinética de los fenómenos o también que no considera la posible aparición de impurezas (cloruros, sulfatos...) en la solución o en los componentes del material, que pueden afectar a las reacciones en la zona de pasividad.

### **3.6 Control de la corrosión.**

#### **3.6.1 Protección de los metales.**

A mayores de los sistemas de protección catódica, los cuales se tratarán más adelante, existen numerosas técnicas anticorrosivas como el empleo de recubrimientos o revestimientos.

Antes de aplicar cualquier tratamiento, se debe preparar la superficie, ya que puede contener materiales que contaminan la zona y que impidan la correcta adhesión con la capa protectora. Para ello se llevan a cabo procedimientos como limpieza por chorro abrasivo, con agua a presión o se emplean técnicas decapantes.



**Ilustración 25-Preparación superficie del casco 1**



**Ilustración 26-Preparación superficie del casco 2**

Básicamente para preservar la vida útil de los metales hay que tener en cuenta tres factores:

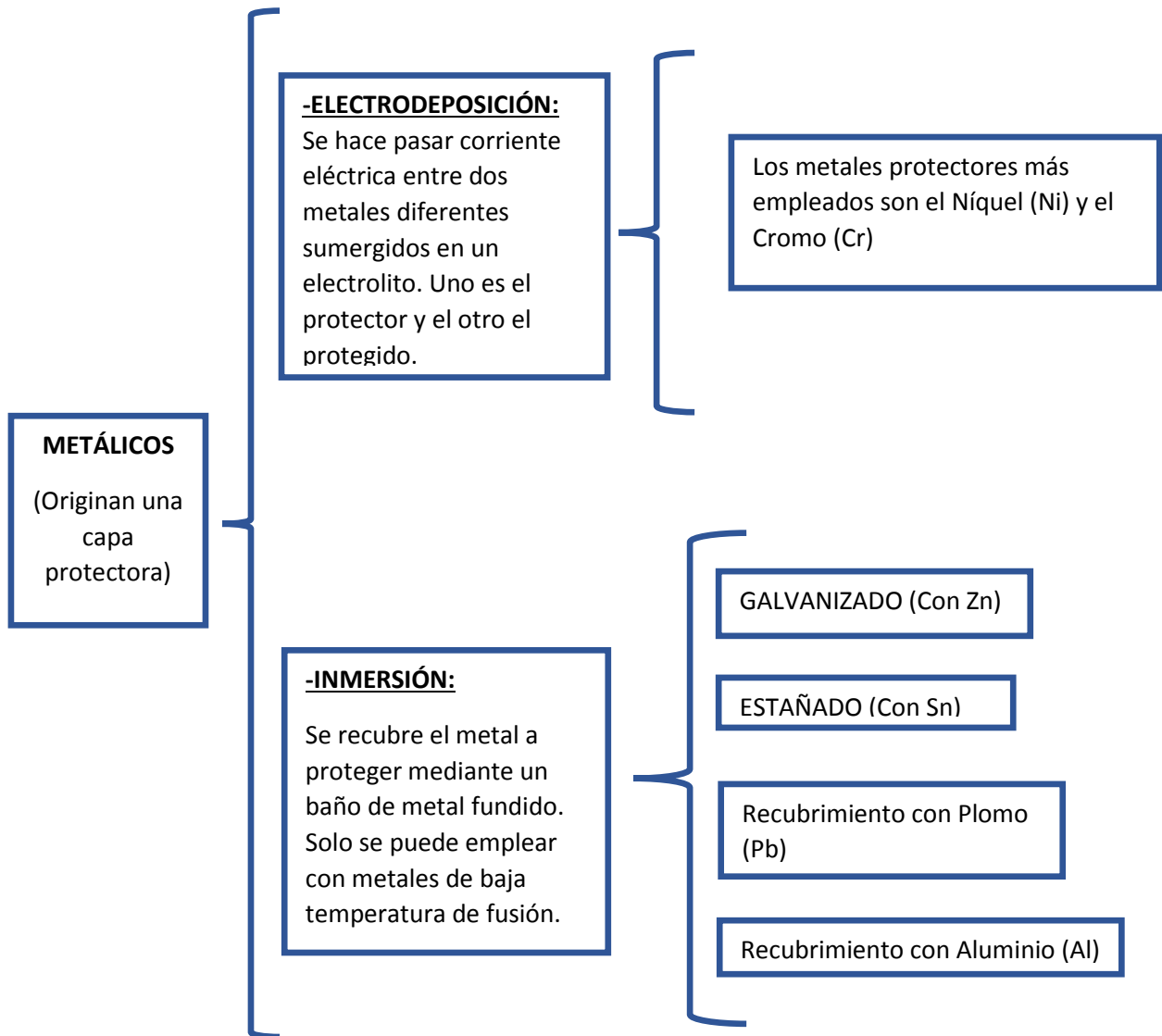
- Características del propio metal
- Naturaleza del medio
- Condiciones de trabajo

De estos tres factores, el medio no se puede modificar, por lo que la protección se centra en la relación metal-trabajo, es decir, para un determinado trabajo se empleará el metal más adecuado.

#### 3.6.1.1 Protección mediante recubrimientos

Impiden el contacto directo entre el electrolito y el metal. Se diferencian en metálicos o no metálicos.

Dentro de los metálicos, los principales tipos de recubrimiento se deben a:



En el caso de los no metálicos nos encontramos con:



Las funciones primordiales de los recubrimientos son:

- Resistir adecuadamente el desgaste por frotamiento y choque.
- Establecer una buena adherencia con la superficie a tratar.
- Aportar buena imagen a la zona a la que se aplican.

### 3.6.1.2 Otros medios de protección

3.6.1.2.1 Inhibidores: Son sustancias químicas que se añaden al medio corrosivo e impiden o retardan la corrosión. Se distinguen tres tipos:

- Anódicos (Actúan sobre la reacción anódica impidiendo totalmente la corrosión; Fosfato de Sodio)
- Catódicos (Actúan sobre la reacción catódica impidiendo parcialmente o retrasando la corrosión; Cloruro de Magnesio)
- Mixtos (Actúan sobre las dos; Bicarbonato Cálcico)
- De absorción (Se impregnan a la superficie del metal debido a fuerzas de atracción entre ellos)

3.6.1.2.2 Protección pasiva: Formación de óxidos. Dentro de este tipo de protección se incluyen procesos como “Pavonado” (Magnetita) y “Anodizado” (Óxido de Aluminio). También se produce al aplicar productos como “Minio” o “Cromato de Zinc”.



**Ilustración 27-Aplicación de protección pasiva 1**



**Ilustración 28-Aplicación de protección pasiva 2**

3.6.1.2.3 Pinturas “Antifouling”: Son anti-incrustantes. Están formadas por resinas que contienen una serie de productos tóxicos, biocidas, (que minimizan el crecimiento y adherencia de algas y otros organismos que podrían llegar a originar algún tipo de corrosión sobre la superficie afectada) y también incluyen pigmentos que aportan el color al producto. Es importante que este tipo de pinturas no tapen los ánodos de sacrificio ya que anularían la protección.



**Ilustración 29-Aplicación de pintura al casco del buque**

Hoy en día se utiliza más bien, un sistema electrónico antifouling por ultrasonidos, que emite impulsos de baja potencia a una determinada frecuencia, provocando la vibración de la superficie afectada a frecuencias ultrasónicas.

### 3.6.2 Protección catódica

#### 3.6.2.1 Principios de la protección catódica

Es el proceso mediante el cual se reduce o se elimina la corrosión debida a fenómenos electroquímicos. Para que tenga lugar este proceso es necesario que se encuentren en contacto, la estructura a proteger y los ánodos auxiliares y a la vez que estén sumergidos en un medio electrolítico.

La corrosión en las zonas anódicas se debe a las corrientes eléctricas locales generadas por la diferencia de potencial entre los ánodos y los cátodos.

Esta corriente de corrosión se puede eliminar a través de una corriente en la dirección contraria por medio de ánodos externos. Esta contracorriente debe ser mayor que la corriente de corrosión para contrarrestarla. La estructura entera del metal queda protegida y se convierte en el cátodo. Para obtener esta corriente se necesita un rectificador o generador (corriente impresa) o bien, un ánodo de sacrificio (corriente galvánica) que forma una pila natural con la estructura.

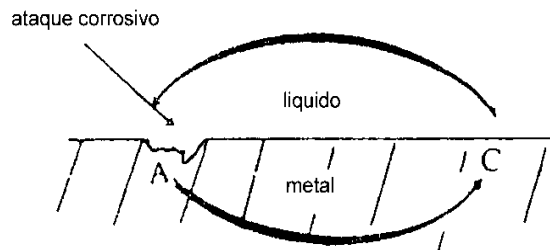
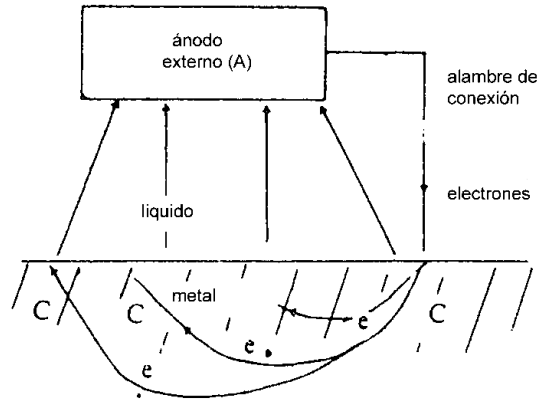


Ilustración 30-Superficie sin protección catódica



**Ilustración 31-Superficie con protección catódica**

### 3.6.2.2 Potencial mínimo de protección

Representa el voltaje mínimo que se debe aplicar a una superficie para que esta no sufra el ataque corrosivo en un medio electrolítico.

Este potencial se obtiene a través de los electrodos de referencia que tienen unos potenciales fijos respecto al del hidrógeno.

Los electrodos de referencia más empleados son:

- Plata/Cloruro de Plata ( $\text{Ag}/\text{AgCl}$ )
- Cobre/Sulfato de Cobre ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ )

El potencial de un casco desprotegido, empleando el electrodo de referencia de  $\text{Ag}/\text{AgCl}$  es aproximadamente  $-630$  mV. Y en el caso de  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  es de  $-800$  mV. Si el potencial está entre  $-630$  y  $800$  mV el casco está parcialmente protegido y esto se denomina "protección baja". Si los valores de potencial bajan demasiado y pasan de  $-900$  mV, se produce una sobreprotección.

### 3.6.2.3 Densidad de corriente

Es la cantidad de corriente por unidad de tiempo y superficie. Para llevar al metal al potencial de protección se requiere una mínima densidad de corriente. Esta propiedad depende de las condiciones del medio como: temperatura, agitación, aireación, composición... También influye el tipo de metal o aleación y la presencia o no de recubrimiento y su estado.

Cabe mencionar que la densidad de corriente también depende de la velocidad de desplazamiento del metal con el electrolito.

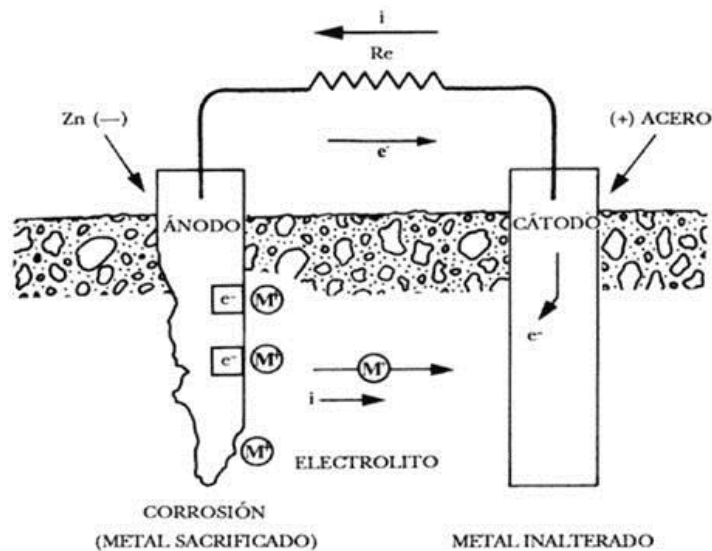


Estado superficial	Medio agresivo	Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> )
Acero desnudo	Agua de mar (velocidad de 0,5 m/s)	80-200
Acero desnudo	Agua de mar (velocidad de 1 – 1,5 m/s)	150-600
Acero pintado (epoxi, vinílica...)	Agua de mar	25-35
Acero pintado sujeto a roces por hielos, fondos...	Agua de mar	50-210
Acero pintado (aluminio bituminosa)	Agua de mar	35-50

La protección catódica depende mucho de los recubrimientos, puesto que sin ellos, se requeriría una densidad de corriente elevada y esto implica más costo.

#### 3.6.2.4 Sistema de ánodos de sacrificio

Generalmente el proceso consiste en crear una pila electroquímica en la que el metal a proteger actúe como cátodo y para ello se conecta eléctricamente a otro metal menos noble (más activo) que actúa como ánodo, estableciéndose una diferencia de potencial entre los dos metales y provocando la corrosión del metal más innoble. El flujo de electrones se establece de los ánodos al metal a proteger.



**Ilustración 32-Esquema de funcionamiento de ánodos de sacrificio**

Los ánodos se suelen colocar en la obra viva de los cascos de los buques y otras muchas zonas como hélices, timones...Que influyen en el óptimo funcionamiento del buque.

Para la protección de este tipo, los ánodos empleados necesitan reunir ciertas características como:

- Tener un potencial de corrosión lo suficientemente alto
- Tener una alta eficiencia de oxidación
- Poseer la habilidad de corroerse uniformemente y que no se produzca la pasivación

A mayores de estas propiedades, hay una serie de factores que afectan a la capacidad de protección de los ánodos, como puede ser la forma física (ya que con una mayor o menor área de contacto con el medio, se tendrá mayor o menor corrosión respectivamente), porosidad, adherencia, conductividad eléctrica o la resistencia al medio, que depende principalmente del material del ánodo.

#### 3.6.2.4.1 Materiales de los ánodos

El material más empleado es el Zinc, pero en algunos casos se usan también aleaciones de Magnesio o Aluminio. Estos tres elementos son los más destacados debido a su elevada electronegatividad.

- El Zinc es el más fiable de los tres. Se usa generalmente en agua salada, donde la resistividad del medio es menor. El Zinc debe ser de elevada pureza para evitar la polarización anódica ocasionada por la acumulación de películas densas y adherentes, que disminuyen su eficacia del ánodo. Las impurezas más perjudiciales para este material, son el Plomo y el Hierro. No se debe emplear para aguas dulce con elevada temperatura, ya que tiende a la pasivación.



**Ilustración 33-Ánodo de Zinc**

- El Magnesio tiene el potencial más electronegativo de los tres metales, siendo el más adecuado para zonas donde la resistividad del medio es mayor. El magnesio sin alear no se debe emplear en agua salada debido al rápido deterioro. Este tipo de material se emplea más bien en barcos que navegan en agua dulce o en calentadores de agua.



**Ilustración 34-Ánodo de Magnesio**

- El Aluminio es el más ligero de los tres y tiene mayor capacidad de corriente. Pero en ciertos electrolitos tiende a la formación de capas de óxidos (pasivación) por lo que su aplicación está más limitada que los otros dos. También es preferible utilizar ánodos de Zinc en vez de los de Aluminio, cuando la conductividad del agua no es suficientemente alta.



**Ilustración 35-Ánodo de Aluminio**

Los ánodos se suelen colocar en la obra viva de los cascos de los buques y otras muchas zonas como hélices, timones...Que influyen en el óptimo funcionamiento del buque.



**Ilustración 36-Ánodos en la obra viva del casco**



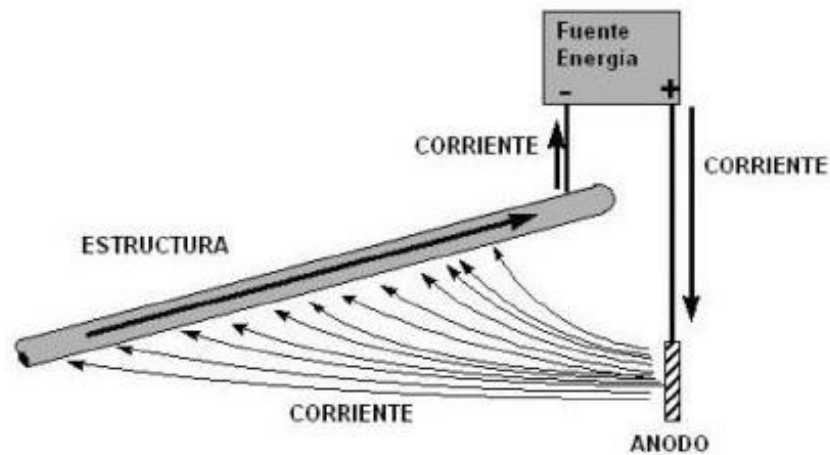
**Ilustración 37-Ánodos en túnel de la hélice de proa**



**Ilustración 38-Ánodos en toberas y palas de los timones**

#### 3.6.2.5 Sistema de corrientes impresas (ICCP)

Básicamente esta técnica de protección catódica consiste en establecer la diferencia de potencial entre la superficie a proteger y el ánodo empleando una fuente de corriente externa. Para ello el metal a proteger se conecta al polo negativo de la fuente externa de corriente continua, y el polo positivo al ánodo, que actúa como dispersor de la corriente. El circuito se cierra a través del medio electrolítico.



**Ilustración 39-Esquema de funcionamiento de corrientes impresas**

El sistema de corriente impresa, impide la corrosión electrolítica, ya que mide las pequeñas diferencias de potencial eléctrico entre las diferentes partes metálicas del casco de un barco, incluidos los ánodos de sacrificio, y genera una corriente inversa que anula estas variaciones de potencial, evitando los procesos de corrosión en la zona afectada.

Los ánodos en este sistema puede ser consumibles (trozos de hierro) o no consumibles (Ferro silicio, grafito, magnetita, titanio-platino...). Pero generalmente se emplean los ánodos permanentes.

Los principales componentes de un sistema de este tipo son:

- Ánodos de inyección.
- Panel de control
- Pilas de referencia
- Sistema de conexión a masa de líneas de ejes
- Sistema de conexión a masa de timón

La elección de un sistema y la explicación de los diferentes elementos de los que se compone, se verá con más detalle en los siguientes anexos.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
NÁUTICA Y MÁQUINAS

# “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA”

---

## DESCRIPCIÓN DEL BUQUE Y DEL EQUIPO DE ICCP

---



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: JUNIO 2017

AUTOR: El alumno

Fdo.: Esteban López Rivera

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. DESCRIPCIÓN EL BUQUE.....</b>	<b>57</b>
<b>1.1 Introducción .....</b>	<b>57</b>
<b>1.2 Datos generales del buque .....</b>	<b>58</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE ICCP.....</b>	<b>62</b>
<b>2.1 Unidad de control de potencia.....</b>	<b>63</b>
<b>2.2 Sistema de conexión a masa de los ejes y del timón .....</b>	<b>64</b>
<b>2.3 Electrodo de referencia .....</b>	<b>65</b>
<b>2.4 Ánodos de inyección.....</b>	<b>67</b>



## 1. DESCRIPCIÓN EL BUQUE

### 1.1 Introducción

El buque, en el cual se realizará la instalación del sistema de corrientes impresas, se trata del Alonso de Chaves. Este buque, es un remolcador que actualmente se encuentra al servicio de la Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima. Fue construido en los astilleros "Astander" en Cantabria y botado en el año 1987. Ha participado en situaciones de emergencia importantes como los casos del Casón (1987), Mar Egeo (1992), Prestige (2002), Siempre Casina (2005) y Santa Ana (2014).



Ilustración 40-Buque "Alonso de Chaves"

## 1.2 Datos generales del buque

### Identificación

- Nombre: B.S. ALONSO DE CHAVES
- Registro Bruto (GT): 1549,00
- Registro Neto (NT): 465 Tn
- Desplazamiento máximo: 3419 Tn
- Tipo de buque: Especiales
- Número IMO / Distintivo de llamada: 8411164 - EDWM
- Bandera / Puerto de Registro: España / Santa Cruz de Tenerife
- Año de construcción: 1987
- Sociedad Clasificadora: BUREAU VERITAS

### Características

- Eslora total (m): 63,9
- Eslora entre perpendiculares (m): 57,0
- Manga de trazado (m): 13,3
- Puntal de trazado (m): 6,4
- Calado de verano (m): 5,5
- Velocidad máxima: 15 nudos aproximadamente
- Autonomía: 10750 millas aproximadamente

### Capacidades

- Tanques de lastre (m<sup>3</sup>): 180,57
- Tanques de diésel oil (m<sup>3</sup>): 832,97
- Tanques de agua dulce (m<sup>3</sup>): 87,0
- Tanques de aceite lubricante (m<sup>3</sup>): 11,5
- Tanque de dispersante (m<sup>3</sup>): 7,34
- Tanque de lodos (m<sup>3</sup>): 11,42
- Tanque espumógeno (m<sup>3</sup>): 7,34

### Máquina principal.

- 2 motores diésel
- Ciclo: 4 Tiempos
- Marca y Modelo: A.E.S.A SULZER, ATV25D
- N° de cilindros: 16 cilindros cada uno
- Potencia: 2\*4320 CV

- Régimen de giro (rpm): 900
- Reductor: TACKE-OLALDE, 200 rpm de salida y 4320 kW de potencia
- Equipo propulsor (KAMEWA): dos hélices de paso variable.
- Hélice de proa (CONAVE): de 4 palas de paso variable y 405 kW de potencia



**Ilustración 41-Motor principal de babor**

#### Motores auxiliares

- 3 motores diésel
- Ciclo: 4 tiempos
- Marca: BARRERAS-DEUTZ
- Tipo: BA 12 M 816
- Nº de cilindros: 12 en V cada uno
- Potencia/R.P.M: 386,40 kW / 1000 rpm
- Diámetro cilindro: 142 mm
- Carrera del pistón: 160 mm
- Cilindrada: 30408 cm<sup>3</sup>
- Sentido de giro: izquierda visto desde el volante
- Peso aproximado: 3100 kg.



**Ilustración 42-Motores auxiliares**

#### Motor de emergencia

- Motor diésel
- Ciclo: 4 Tiempos
- Marca: PEGASO-GUASCOR
- Tipo: 9156/22
- Nº de cilindros: 6 en línea
- Diámetro cilindro: 130 mm
- Carrera del pistón: 150 mm
- Cilindrada total: 11945 cm<sup>3</sup>
- Potencia: 227 C.V a 2200 rpm
- Régimen de ralentí: 700 rpm
- Sentido de giro: izquierda visto desde el volante



**Ilustración 43-Motor de emergencia**

#### Motor de puerto

- Motor diésel
- Ciclo: 4 tiempos
- Marca: VOLVO-PENTA
- Tipo: 730GE
- Nº de cilindros: 6 en línea
- Diámetro cilindro: 108 mm
- Carrera del pistón: 130 mm
- Cilindrada total: 7150 cm<sup>3</sup>
- Potencia (hp): 151-173
- Velocidad máxima: 1500-1800 rpm
- Peso aproximado: 800 kg



**Ilustración 44-Motor de puerto**

## **2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE ICCP**

Existen numerosas empresas que se encargan de diseñar sistemas de este tipo, entre las más importantes se encuentran: Cathelco, Incorr, Wilson Walton, Llalco y Catonor. Pero antes de proceder a la selección e instalación de un sistema de corrientes impresas (lo cual se verá en el siguiente anexo) es importante conocer en detalle las principales partes de las que se compone un equipo de este tipo.

Básicamente el objetivo de este sistema es controlar continuamente el casco del buque, detectando la aparición de corrosión. Para lograr esto, se emplean unos electrodos de referencia que se extienden por el casco y que se encargan de medir la diferencia de potencial a lo largo de la superficie de este.

Cuando se capta una diferencia de potencial debido a un fenómeno corrosivo, el equipo activa la inyección de corriente por medio de sus ánodos y la transmite a la zona afectada del casco a través de la superficie de este y del propio medio electrolítico (agua de mar). La corriente inyectada iguala la diferencia de potencial y evita la corrosión.



A continuación se dispone de un esquema con los principales elementos que forman parte del equipo:

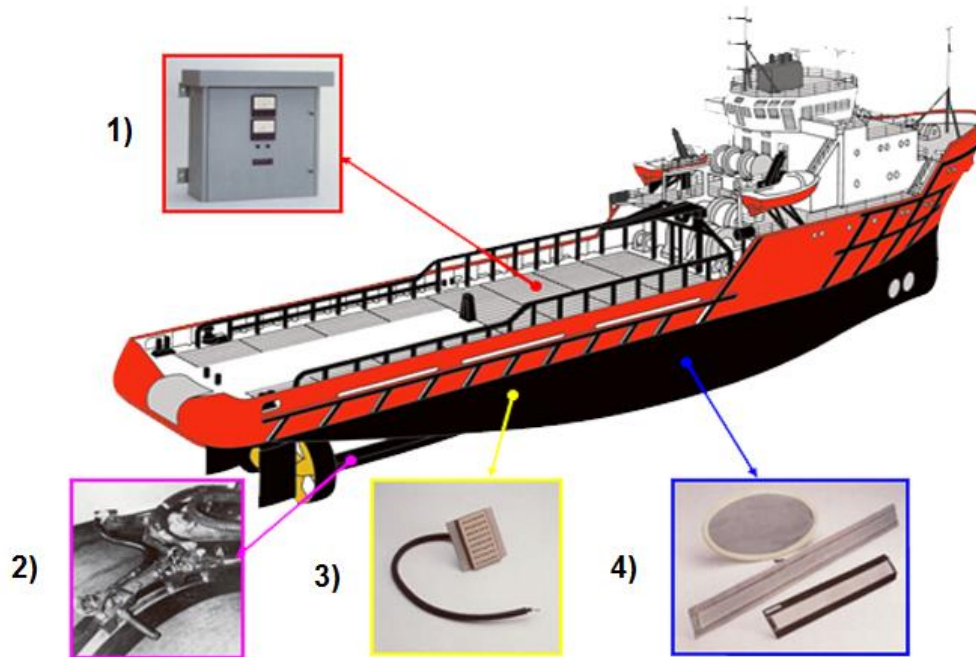


Ilustración 45-Esquema con las principales partes del equipo de ICCP

### 2.1 Unidad de control de potencia

Está formado por un microprocesador alimentado con la corriente de la batería del barco y que recibe y procesa la señal eléctrica del electrodo de referencia, además de controlar los tiristores que convierten la corriente alterna de alimentación en corriente continua y se distribuye a través de los ánodos. Se puede suministrar con cualquier capacidad comprendida entre 20 y 1000 A, dependiendo del modelo de equipo y a que buque se instala.



**Ilustración 46-Unidad de control de potencia**

Mediante esta unidad, se puede realizar un seguimiento del correcto funcionamiento del sistema. A mayores suele equiparse con una conexión para soporte informático, que permite enviar toda la información relacionada con el equipo de corrientes impresas a los diferentes ordenadores del buque.

## **2.2 Sistema de conexión a masa de los ejes y del timón**

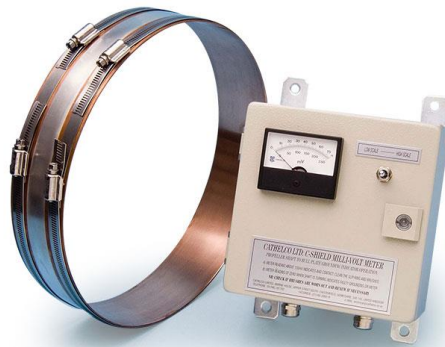
Es importante, ya que son zonas de la obra viva propensas al mayor impacto de la corrosión, ya que no se encuentran unidas eléctricamente al casco, debido a la presencia de películas de lubricantes o materiales aislante.

Para el caso de la línea del eje, se emplean unas escobillas de grafito en un porta escobillas sobre un anillo de cobre que se monta alrededor del eje, estableciéndose así la unión eléctrica continua con el casco (masa).

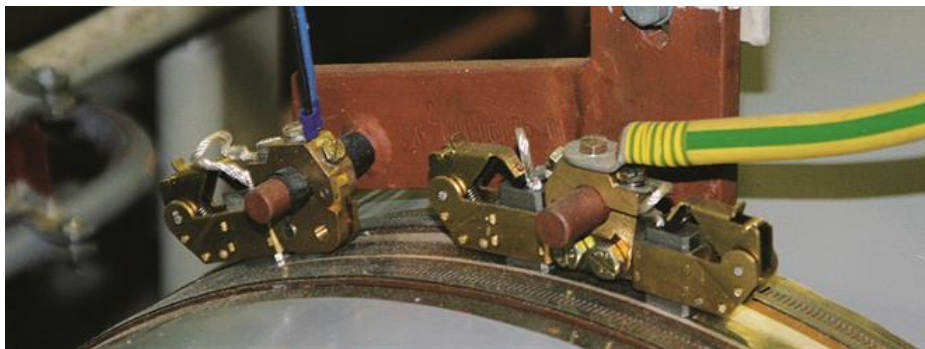


**Ilustración 47-Porta escobillas con escobillas de grafito**





**Ilustración 48-Anillo de cobre, con banda de rodadura de plata**



**Ilustración 49-Sistema de conexión a masa de los ejes, completo**

Para la conexión a masa del timón, se tiene que unir la mecha del timón mediante un cable al punto más cercano al casco del buque.

### **2.3 Electrodo de referencia**

Se encargan de medir el potencial eléctrico entre el agua de mar y el casco. Una vez conocido este valor, el sistema entrega la cantidad correspondiente de corriente a los ánodos según la situación de protección. Los electrodos de referencia más empleados son los de Zinc y los de Plata/Cloruro de Plata (Ag/Ag Cl). Se montan en una especie de cavidades situadas en el casco (al igual que los ánodos de inyección y que se suelen denominar “cofferdams”), y a través de un cableado se encuentran en contacto con la unidad de control.

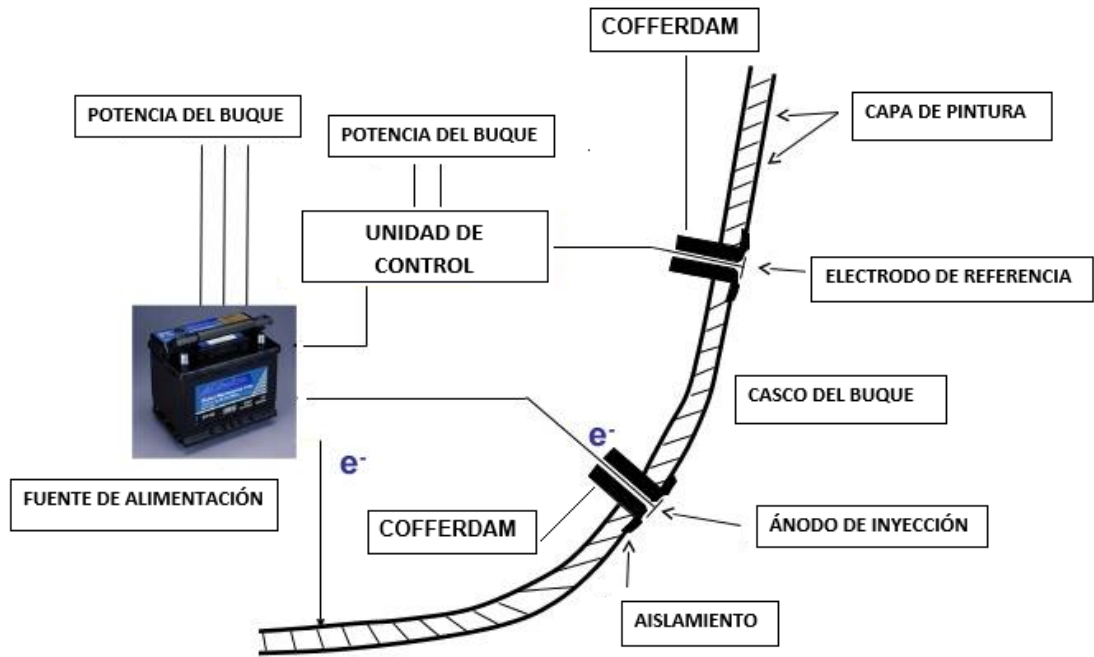


Ilustración 50-Esquema del sistema de corrientes impresas



Ilustración 51-Electrodo de referencia

La elección del cinc de alta pureza para electrodo de referencia se debe, entre otras ventajas de tipo económico, a su comportamiento en caso de producirse un cortocircuito que llevará a masa el electrodo.

De los dos tipos electrodos mencionados anteriormente predomina más el de Zinc de alta pureza, esto se debe, aparte de aspectos económicos, a su comportamiento en caso de producirse un cortocircuito, ya que pondrá al electrodo en contacto con el casco (masa). Una vez que se produzca esto, el potencial que se registra en el aparato de medida sería de 0,000 V, que corresponde con un potencial alto de protección y el equipo cortaría automáticamente la salida de corriente. A mayores también destaca por su gran resistividad a influencias tanto mecánicas como químicas, lo que implica una mayor duración.

En el caso de que se produzca un cortocircuito y el electrodo de referencia es de Plata/Cloruro de Plata (respecto al cual el potencial de protección del acero se consigue a partir de -0,800 V hacia valores más negativos) el voltímetro marcaría también un potencial de 0,000 V, y en este caso significaría un elevado potencial de corrosión para el casco. Por lo que el equipo actuaría dando la máxima salida de corriente, que podría ser perjudicial para la pintura del casco.

#### **2.4 Ánodos de inyección**

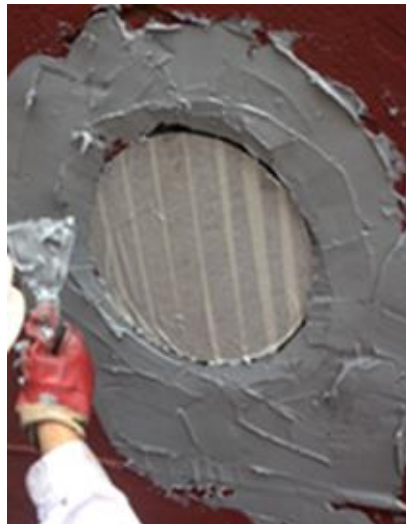
Se encargan de distribuir la corriente, haciendo la obra viva del buque negativa con respecto al agua de mar, que recibe la corriente positiva.

Suelen ir equipados con un regulador electrónico cuyo objetivo es dosificar la corriente continua necesaria para mantener todas las zonas del barco en sus potenciales de inmunidad con el menor consumo de corriente de la batería del barco.

También cabe mencionar que durante la instalación de los ánodos, normalmente se aplica un mecanismo de protección que se denomina “escudo dieléctrico”, que consiste en aplicar dos capas gruesas de pintura epoxi y que consiguen que la corriente del ánodo, no se dirija a la zona metálica de los alrededores del ánodo sino que llegue a las partes más alejadas de este en la cantidad suficiente.



**Ilustración 52-Colocación ánodo de inyección 1**



**Ilustración 53-Aplicación del escudo dieléctrico al ánodo**

Los ánodos más empleados son aquellos formados por Titanio y óxidos de metales nobles (Titanio activado) debido a su gran capacidad de salida de corriente y ligereza. También pueden ser de grafito, ferro silicio o Titanio platinado.

Los hay de diferentes formas como:

- Circulares:

Empleados en buques que tengan un perfil del casco muy liso. La superficie de emisión de corriente es de óxidos metálicos mixtos y el soporte es de Titanio. El ánodo está rodeado por una capa de goma que establece un sello hermético con el casco y protege el borde del ánodo.



**Ilustración 54-Ánodo de inyección, circular**

- Lineales:

Son más pesados pero tienen una correcta distribución de la corriente. La corriente se emite a través de uno o varios tubos que son de titanio y óxidos metálicos mixtos que se encuentran sobre un soporte de plástico ABS.



**Ilustración 55-Ánodo de inyección, lineal**

Este tipo de ánodos se emplea más bien para las zonas de popa y para corrientes elevadas. Son los apropiados para proteger un buque con la menor cantidad posible de ánodos. Se caracterizan por tener poco peso y buena capacidad de adaptación a cualquier superficie.

- Elípticos:

Mejoran la distribución de la corriente sobre la superficie del casco y se adaptan mejor que los ánodos circulares a ciertas superficies debido a su flexibilidad. La superficie de emisión de corriente está más protegida y es más resistente a impactos.



**Ilustración 56-Ánodo de inyección, elíptico**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
NÁUTICA Y MÁQUINAS

# “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA”

---

## CÁLCULOS E INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE ICCP

---



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: JUNIO 2017

AUTOR: Esteban López Rivera

Fdo.: Esteban López Rivera

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. CÁLCULOS .....</b>	<b>75</b>
<b>1.1 Protección catódica activa (Sistema de corrientes impresas) .....</b>	<b>76</b>
1.1.1 Protección del casco.....	76
1.1.2 Protección de los timones.....	78
1.1.3 Protección de las hélices propulsoras .....	78
1.1.4 Protección de las toberas de las hélices.....	79
1.1.5 Protección túnel y hélice de proa.....	80
<b>1.2 Protección catódica pasiva (ánodos de sacrificio).....</b>	<b>81</b>
1.2.1 Casco .....	81
1.2.2 Timones.....	82
1.2.3 Hélices propulsoras .....	82
1.2.4 Toberas de las hélices.....	83
1.2.5 Túnel y hélice de proa .....	83
<b>2. INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE ICCP .....</b>	<b>85</b>
<b>2.1 Introducción .....</b>	<b>85</b>
<b>2.2 Requerimientos de instalación .....</b>	<b>86</b>
2.2.1 Cables .....	86
2.2.2 Ánodos de inyección.....	87
2.2.3 Electrodo de referencia.....	89
2.2.4 Sistema de conexión a masa de los ejes de las hélices .....	90
2.2.5 Sistema de conexión a masa de los timones.....	91



<b>2.3 Mantenimiento de la instalación.....</b>	<b>91</b>
2.3.1 Mantenimiento preventivo.....	91
2.3.2 Unidad de control de potencia .....	91
2.3.3 Ánodos y electrodos de referencia .....	92
2.3.4 Sistema de conexión a masa del timón .....	93
2.3.5 Substitución de ánodos y electrodos de referencia .....	93

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-Superficie mojada del casco .....</b>	<b>76</b>
<b>Ecuación 2-Coeficiente de bloque del buque .....</b>	<b>77</b>
<b>Ecuación 3-Corriente de protección del casco .....</b>	<b>77</b>
<b>Ecuación 4-Corriente de protección de cada timón.....</b>	<b>78</b>
<b>Ecuación 5-Corriente de protección de cada hélice .....</b>	<b>78</b>
<b>Ecuación 6-Superficie mojada de cada tobera .....</b>	<b>79</b>
<b>Ecuación 7-Corriente de protección de cada tobera .....</b>	<b>79</b>
<b>Ecuación 8-Superficie mojada del túnel.....</b>	<b>80</b>
<b>Ecuación 9-Corriente de protección de la hélice de proa .....</b>	<b>80</b>
<b>Ecuación 10-Corriente total de protección .....</b>	<b>80</b>
<b>Ecuación 11-Peso de los ánodos para el casco.....</b>	<b>81</b>
<b>Ecuación 12-Peso de los ánodos para los timones .....</b>	<b>82</b>
<b>Ecuación 13-Peso de los ánodos para las hélices .....</b>	<b>82</b>
<b>Ecuación 14-Peso de los ánodos para las toberas .....</b>	<b>83</b>
<b>Ecuación 15-Peso de los ánodos para túnel y hélice de proa .....</b>	<b>83</b>
<b>Ecuación 16-Peso total de los ánodos.....</b>	<b>84</b>

## 1. CÁLCULOS

Hay que tener en cuenta que no solo se va a proteger el casco del buque. Por ello se necesita saber cuánta cantidad de corriente es necesario aplicar a cada parte del barco.

A continuación se muestran los valores de densidad de corriente establecidos según la normativa de ciertas empresas, organizaciones y estándares que se muestran a continuación:

	<b>CATHELCO (mA/m<sup>2</sup>)</b>	<b>BS7361 (mA/m<sup>2</sup>)</b>	<b>NACE (mA/m<sup>2</sup>)</b>	<b>NES704 (mA/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Acero revestido, acero naval</b>	<b>1-2</b>	<b>1</b>	<b>1-7</b>	
<b>5% de daño esperado en el revestimiento</b>	<b>8</b>			
<b>10% de daño esperado en el revestimiento</b>	<b>17</b>			
<b>20% de daño esperado en el revestimiento</b>	<b>34</b>			<b>32</b>
<b>Hélice de bronce sin revestir</b>	<b>1000</b>	<b>500</b>		<b>1000</b>

<b>Caja de mar</b>	<b>40</b>			
<b>Túnel hélice de proa y toberas de la hélice</b>	<b>150</b>			
<b>Timón y flaps</b>	<b>150</b>			

## 1.1 Protección catódica activa (Sistema de corrientes impresas)

### 1.1.1 Protección del casco

Normalmente se estima el valor con respecto a un 20% de daño esperado, ya que el recubrimiento del acero no va a ser perfecto.

Lo siguiente que se debe conocer es la superficie de la carena/obra viva del buque, también llamada superficie mojada. Si no se conoce este dato, existe una fórmula que permite hallarlo (cuyos antecedentes se remontan a deducciones de fórmulas aproximadas como la de KIRK o la de DENNY):

$$S_m = (1,8 \times L_{bp} \times C) + (L_{bp} \times B_c \times B)$$

*Ecuación 1-Superficie mojada del casco*

Siendo:

- $L_{bp}$ : Eslora entre perpendiculares
- $C$ : Calado máximo
- $B_c$ : Coeficiente de bloque
- $B$ : Manga

En el caso del buque seleccionado, los datos anteriores se corresponden con:

- Lbp: 57,0 m
- C: 5,5 m
- B: 13,3 m

El único dato que no se dispone de construcción, es el coeficiente de bloque pero se calcula de la siguiente forma:

$$B_c = \frac{\text{Desplazamiento máximo del buque/Densidad del agua de mar}}{(L_{bp} \times B \times C)}$$

*Ecuación 2-Coeficiente de bloque del buque*

Siendo:

- Densidad del agua de mar: 1,025 tn/m<sup>3</sup>
- Desplazamiento máximo del buque: 3419 tn

Por lo que:

$$B_c = \frac{3419 \text{ tn} / 1,025 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}}{(57,0 \text{ m} \times 13,3 \text{ m} \times 5,5 \text{ m})}$$

$$B_c = 0,8$$

Una vez substituidos los valores en la ecuación, se obtiene la superficie mojada del casco del buque en cuestión:

$$S_{mc} = (1,8 \times 57,0 \text{ m} \times 5,5 \text{ m}) + (57,0 \text{ m} \times 0,8 \times 13,3)$$

$$S_{mc} = 1170,78 \text{ m}^2$$

Seguidamente se calcula la corriente necesaria para proteger al casco del barco. Para ello se necesita el valor de la densidad de corriente, que se trata de 34 mA/m<sup>2</sup> como se ha dicho antes, y la superficie mojada. Por lo tanto:

$$I_C = S_{mc} \times 34 \text{ mA/m}^2$$

*Ecuación 3-Corriente de protección del casco*

$$I_C = 1170,78 \text{ m}^2 \times 34 \text{ mA/m}^2$$

$$I_C = 39806,52 \text{ mA} = 39,81 \text{ A}$$

### 1.1.2 Protección de los timones

Para averiguar la corriente requerida para proteger al timón, en primer lugar se debe conocer la superficie mojada del mismo, que en este caso, es un dato de construcción:

$$S_{mt} = 4,26 \text{ m}^2$$

A mayores se precisa la densidad de corriente adecuada para el timón, por lo que se recurre a la tabla inicial en la que se indica un valor de  $150 \text{ mA/m}^2$ .

Finalmente, con estos dos datos, se deduce la corriente para el timón:

$$I_T = S_{mt} \times 150 \text{ mA/m}^2$$

*Ecuación 4-Corriente de protección de cada timón*

$$I_T = 4,26 \text{ m}^2 \times 150 \text{ mA/m}^2$$

$$I_T = 639 \text{ mA} = 0,639 \text{ A}$$

Como son dos timones a tener en cuenta:

$$I_T = 1,28 \text{ A}$$

### 1.1.3 Protección de las hélices propulsoras

De la misma forma que en el apartado anterior, se comienza con la superficie mojada de esta parte del buque. También es un dato de construcción.

$$S_{mh} = 23 \text{ m}^2$$

Posteriormente, se comprueba la tabla de densidades de corriente y se establece un valor de  $1000 \text{ mA/m}^2$  para la hélice.

De la misma manera se halla la corriente de protección para cada hélice:

$$I_H = S_{mh} \times 1000 \text{ mA/m}^2$$

*Ecuación 5-Corriente de protección de cada hélice*

$$I_H = 23 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ mA/m}^2$$

$$I_H = 23000 \text{ mA} = 23 \text{ A}$$

Al ser dos hélices:

$$I_H = 2 \times 23 \text{ A} = 46 \text{ A}$$

#### 1.1.4 Protección de las toberas de las hélices

La superficie mojada en esta última parte del buque, se calcula de la siguiente forma:

$$S_{\text{mtob}} = 2 \times \pi \times r \times l$$

*Ecuación 6-Superficie mojada de cada tobera*

Siendo:

- r: radio de la tobera (2 m)
- l: largo de la tobera (2 m)

$$S_{\text{mtob}} = 25,13 \text{ m}^2$$

Para la tobera, también se emplea una densidad de corriente de  $150 \text{ mA/m}^2$  y su corriente de protección es:

$$I_{\text{TOB}} = S_{\text{mtob}} \times 150 \text{ mA/m}^2$$

*Ecuación 7-Corriente de protección de cada tobera*

$$I_{\text{TOB}} = 25,13 \text{ m}^2 \times 150 \text{ mA/m}^2$$

$$I_{\text{TOB}} = 3769,5 \text{ mA} = 3,77 \text{ A}$$

Al tener dos toberas el buque:

$$I_{\text{TOB}} = 2 \times 3,77 \text{ A} = 7,54 \text{ A}$$

### 1.1.5 Protección túnel y hélice de proa

Para conocer la superficie mojada de la hélice de proa, se precisa calcular la superficie del túnel donde se encuentra. El diámetro de la hélice de proa instalada es de 1,5 m.

$$S_{\text{mtunel}} = 2 \times \pi \times r \times l$$

*Ecuación 8-Superficie mojada del túnel*

Siendo:

- r: radio de la hélice de proa (0,75 m)
- l: longitud transversal del túnel (3,5 m)

$$S_{\text{mhp}} = 16,49 \text{ m}^2$$

La densidad de corriente para el túnel y la hélice de proa es de 150 mA/m<sup>2</sup> y su corriente de protección:

$$I_{\text{HP}} = S_{\text{mhp}} \times 150 \text{ mA/m}^2$$

*Ecuación 9-Corriente de protección de la hélice de proa*

$$I_{\text{HP}} = 16,49 \text{ m}^2 \times 150 \text{ mA/m}^2$$

$$I_{\text{HP}} = 2437,5 \text{ mA} = 2,47 \text{ A}$$

Tras evaluar la protección en diferentes partes del barco, se calcula la corriente de protección total que necesita el buque:

$$I_{\text{TOTAL}} = I_{\text{C}} + I_{\text{T}} + I_{\text{H}} + I_{\text{TOB}} + I_{\text{HP}}$$

*Ecuación 10-Corriente total de protección*

$$I_{\text{TOTAL}} = 39,81 \text{ A} + 1,28 \text{ A} + 23 \text{ A} + 3,77 \text{ A} + 2,47 \text{ A}$$

$$I_{\text{TOTAL}} = 70,33 \text{ A}$$



A partir de este resultado, se selecciona el equipo de corrientes impresas apropiado, en función de la capacidad de corriente que debe tener. Las empresas que trabajan con estos sistemas disponen de unos valores de referencia (Ejemplo: 50, 75, 100 A...). Para este buque la corriente total está comprendida entre los rangos de 50 y 75 A, por lo que siempre se escogerá el equipo de mayor capacidad.

A continuación se observa la distribución de la corriente total calculada, teniendo en cuenta que para un equipo de 75 A se suelen instalar dos ánodos de inyección:

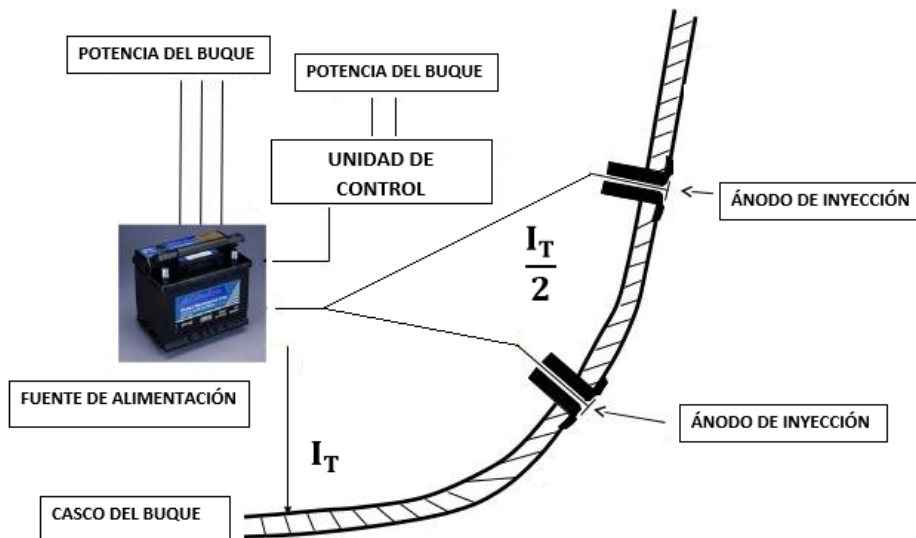


Ilustración 57-Esquema de distribución de la corriente a los ánodos

## 1.2 Protección catódica pasiva (ánodos de sacrificio)

En este apartado se calcula el peso necesario de los ánodos de sacrificio para la protección de las diferentes partes mencionadas anteriormente. El material que se emplea como ánodo de sacrificio es el Zinc.

### 1.2.1 Casco

$$W_C = I_C \times C_{Zn} \times t_v$$

*Ecuación 11-Peso de los ánodos para el casco*

Siendo:

- $W_C$ : peso de los ánodos para el casco
- $I_C$ : corriente de protección requerida para el casco (39,81 A).
- $C_{Zn}$ : tasa de consumo de los ánodos de Zinc (11,2 kg /A año)
- $t_v$ : tiempo entre varadas (2 años)

Por lo tanto:

$$W_C = 39,81 \text{ A} \times 11,2 \text{ kg/A año} \times 2 \text{ años}$$

$$W_C = 891,74 \text{ kg}$$

### 1.2.2 Timones

$$W_T = I_T \times C_{Zn} \times t_v$$

*Ecuación 12-Peso de los ánodos para los timones*

Siendo:

- $W_T$ : peso de los ánodos para los timones
- $I_T$ : corriente de protección requerida para los timones (1,278 A).
- $C_{Zn}$ : tasa de consumo de los ánodos de Zinc (11,2 kg /A año)
- $t_v$ : tiempo entre varadas (2 años)

Por lo tanto:

$$W_T = 1,28 \text{ A} \times 11,2 \text{ kg/A año} \times 2 \text{ años}$$

$$W_T = 28,67 \text{ kg}$$

### 1.2.3 Hélices propulsoras

$$W_H = I_H \times C_{Zn} \times t_v$$

*Ecuación 13-Peso de los ánodos para las hélices*

Siendo:

- $W_H$ : peso de los ánodos para las hélices
- $I_H$ : corriente de protección requerida para las hélices (46 A).
- $C_{Zn}$ : tasa de consumo de los ánodos de Zinc (11,2 kg /A año)
- $t_v$ : tiempo entre varadas (2 años)

Por lo tanto:

$$W_H = 64 \text{ A} \times 11,2 \text{ kg/A año} \times 2 \text{ años}$$

$$W_H = 1433,6 \text{ kg}$$

#### 1.2.4 Toberas de las hélices

$$W_{TOB} = I_{TOB} \times C_{Zn} \times t_v$$

*Ecuación 14-Peso de los ánodos para las toberas*

Siendo:

- $W_{TOB}$ : peso de los ánodos para las toberas
- $I_{TOB}$ : corriente de protección requerida para las toberas (7,54 A).
- $C_{Zn}$ : tasa de consumo de los ánodos de Zinc (11,2 kg /A año)
- $t_v$ : tiempo entre varadas (2 años)

Por lo tanto:

$$W_{TOB} = 7,54 \text{ A} \times 11,2 \text{ kg/A año} \times 2 \text{ años}$$

$$W_{TOB} = 168,89 \text{ kg}$$

#### 1.2.5 Túnel y hélice de proa

$$W_{HP} = I_{HP} \times C_{Zn} \times t_v$$

*Ecuación 15-Peso de los ánodos para túnel y hélice de proa*

Siendo:

- $W_{HP}$ : peso de los ánodos para la hélice de proa y el túnel
- $I_{HP}$ : corriente de protección requerida para el túnel y la hélice de proa (2,47A).
- $C_{Zn}$ : tasa de consumo de los ánodos de Zinc (11,2 kg /A año)
- $t_v$ : tiempo entre varadas (2 años)

Por lo tanto:

$$W_{HP} = 2,47 \text{ A} \times 11,2 \text{ kg/A año} \times 2 \text{ años}$$

$$W_{HP} = 55,33 \text{ kg}$$

El peso total de los ánodos de sacrificio empleados en las distintas partes es de:

$$W_{TOTAL} = W_C + W_T + W_H + W_{TOB} + W_{HP}$$

*Ecuación 16-Peso total de los ánodos*

$$W_{TOTAL} = 891,74 + 28,67 + 1433,6 + 168,89 + 55,33$$

$$W_{TOTAL} = 2578,23 \text{ kg}$$

Finalmente, al peso total obtenido, se le aplica solo un 10%, ya que el resto de ese porcentaje, corresponde a la protección por el sistema de corrientes impresas. Con lo que se dispone de unos 257,82 kg para repartir por el buque. Es decir, 26 ánodos de 10 kg cada uno:

- En el espacio del túnel y la hélice de proa, se colocarán 8 ánodos.

Los restantes ánodos se distribuirán en la zona de popa:

- 3 ánodos en cada uno de los dos timones.
- 3 ánodos en cada una de las toberas.
- 3 ánodos en el eje de cada hélice propulsora.

## **2. INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE ICCP**

### **2.1 Introducción**

La protección del acero de los cascos de los buques, se consigue mediante el suministro de una corriente continua al casco, que lleve su potencial a niveles de inmunidad.

Con la corriente alterna, que existe en el buque, se alimenta un equipo transformador-rectificador. Mediante unos ánodos dispersores de corriente, ésta sale rectificada y, a través del agua de mar (electrolito), penetra en el casco para cerrar el circuito en el equipo (transformador rectificador) mediante una puesta a masa (conexión del polo negativo del equipo al casco).

El equipo consta de una unidad de control, que mediante un electrodo de referencia actúa sobre la salida de corriente en función de las necesidades de protección, con lo cual siempre se consigue la intensidad media necesaria en cada momento, para mantener el casco continuamente protegido.

Para este buque se selecciona un sistema de corrientes impresas de CATHELCO.

Está formado por:

- Unidad de control de potencia de 75 A-24 V
- 2 Ánodos de titanio activado, de 50 A, de tipo circular
- 2 Electrodo de referencia de Zinc de alta pureza
- 2 Sistemas de conexión a masa de los ejes de la hélices
- 2 Sistemas de conexión a masa de los timones

## 2.2 Requerimientos de instalación

### 2.2.1 Cables

Tienen que cumplir con las siguientes características:

- Cables de alimentación a la unidad de control de potencia: serán los adecuados a las características de la unidad.
- Cable de puesta a masa de la unidad de control de potencia: será de una sección mínima que garantice una densidad de corriente de como máximo 1 amperio/mm<sup>2</sup>.
- En caso de utilización de cable con armadura metálica, o magnética, como protección extra se debe asegurar la conexión a masa de dicha armadura en un extremo.
- En caso de utilizar cables de la misma sección para distintas distancias, las longitudes de cada uno de ellos deben ser las mismas ya que, en caso contrario, variarían las resistencias y la corriente que discurriría por cada uno de ellos no sería la misma.
- Es muy importante que el tendido de cables se efectúe de tal forma que se eviten totalmente los posibles problemas de inducción por cercanía entre líneas

El tipo de cables a utilizar es decisión del astillero. Pero se tienen que seleccionar en función de la corriente total de protección necesaria, la cual es de 70,33 A, calculada en el epígrafe anterior.

Mediante la tabla que se muestra a continuación, se determina la sección de cable apropiada para los ánodos de inyección, en función de su intensidad de corriente y la distancia al cuadro eléctrico.

Para el caso del buque seleccionado, son dos ánodos de 50 A cada uno y la distancia está comprendida entre el rango de 0 a 45 m:

50 A	75 A	100 A	150 A	175 A	200 A	300 A	Sección cable
0-45 m							16 mm <sup>2</sup>
45-70 m	0-47 m						25 mm <sup>2</sup>
70-100 m	47-67 m	0-50 m					35 mm <sup>2</sup>
100-125 m	67-83 m	50-62 m	0-41 m				50 mm <sup>2</sup>
125-180 m	83-120 m	62-90 m	41-60 m	0-51 m	0-45 m		70 mm <sup>2</sup>
180-250 m	120-167 m	90-125 m	60-83 m	51-71 m	45-62 m	0-41 m	95 mm <sup>2</sup>
250-315 m	167-210 m	125-158 m	83-105 m	71-90 m	62-79 m	41-53 m	120 mm <sup>2</sup>

### 2.2.2 Ánodos de inyección

Deben ser instalados en las posiciones indicadas en los planos de instalación suministrados por CATHELCO para este buque.

A continuación se enumeran los procesos a seguir para su instalación

- Se practica un agujero circular en el casco, de 57,2 cm de longitud en su eje principal y 34,3 cm de anchura en su eje menor. Se marca aplicando la cara exterior del ánodo a la plancha del casco y trazando con punzón alrededor del contorno del soporte del ánodo.

- Se limpia el perfil del corte y se redondean los bordes a piedra.
- Se posiciona la placa soporte en relación al corte practicado en el casco (debe quedar un huelgo de 6,35 mm alrededor del ánodo). Colocar la placa de modo que el agujero circular practicado en el casco quede exactamente centrado longitudinal y verticalmente. Se asegura la placa soporte en esa posición mediante puntos de soldadura. A continuación se retira el ánodo y se suelda, de forma continua, la placa soporte al casco por el interior y exterior.
- Se posiciona el “cofferdam”, (cavidad donde se sitúa el ánodo) en la cara opuesta al ánodo (por el interior del buque) teniendo especial precaución en que quede concéntrico con el orificio de la placa metálica por donde pasa el conexionado al ánodo.
- Antes de instalar el ánodo se debe preparar la superficie. También es importante que la zona se encuentre seca, antes de aplicar el escudo dieléctrico.

A partir de aquí se procede al montaje:

- Se aplica una silicona especial para agua de mar suministrada en tubos, por el lado exterior de la placa de refuerzo, con un espesor no menor de 3,2 mm
- Colocar la junta circular de neopreno y aplicar nuevamente silicona en un espesor aproximado de 2 mm.
- Insertar cuidadosamente el espárrago de conexión del ánodo en el agujero central después de aplicarle silicona.
- Colocar el ánodo y presionarlo cuidadosamente en su alojamiento. A continuación se colocarán las arandelas y tuercas en los espárragos, apretando progresiva y periféricamente hasta que el ánodo esté remetido en su alojamiento.  
No apretar demasiado ningún perno para evitar que se produzcan distorsiones. El apriete se efectuará en estrella para evitar tensiones.
- Se rellena de resina (como “Intergard” o similar) y se espera hasta que la mezcla tenga la consistencia necesaria para no desprenderse.
- Durante el montaje del ánodo, se deberá proteger adecuadamente la placa de titanio activado, para que no sufra ralladuras ni daños que le impidan un correcto funcionamiento. Esta protección se eliminará teniendo especial



precaución, también, de no dañar la citada placa en el momento de la salida de dique seco.

Ahora comienzan las labores por el interior:

- En primer lugar apretar la tuerca del prensacables con una llave de tubo hasta conseguir una fijación completa y una perfecta estanqueidad a la conexión del ánodo. No se debe apretar demasiado para evitar dañar el ánodo.
- El cable que unirá el ánodo con la unidad de control de potencia, se conexionará en el interior del “cofferdam” entrando a él a través de un prensacables montado en la brida lateral del “cofferdam”.
- El cable que conecta el ánodo con la unidad de control de potencia, en el interior del “cofferdam”, deberá dejarse con la suficiente holgura para evitar que quede tenso.
- Montar la tapa del “cofferdam” con su junta para completar la estanqueidad.

### 2.2.3 Electrodo de referencia

Deberán ser instalados en las posiciones indicadas en los planos y esquemas suministrados por CATHELCO.

El procedimiento a seguir para efectuar la instalación será:

- Se practica un orificio de 87 mm. por corte o taladro, en el casco del buque.
- Se sitúa y se suelda el núcleo de penetración del casco, interior y exteriormente.
- Se coloca y suelda el cuerpo del “cofferdam”, concéntricamente con el núcleo de penetración del casco.
- Se toma el electrodo de referencia de cinc y se coloca primero la camisa aislante de teflón y, a continuación la de neopreno. Se sitúa el conjunto en el núcleo de penetración del casco, desde el exterior de éste.
- Se procede por el interior del casco y sobre el espárrago saliente del electrodo de referencia a instalar:
  - El anillo de aislamiento.
  - El disco de apoyo de acero plastificado.
  - La arandela, tuerca y contratuerca

- Hágase pasar el cable a través del prensacables (o del tubo, si se trata de un compartimento inundado) y se introduce en el “cofferdam”, uniéndolo al espárrago terminal, utilizando la arandela plana y la contratuerca restantes.

#### 2.2.4 Sistema de conexión a masa de los ejes de las hélices

- Limpiar el eje en la zona en la que se va a instalar el anillo de deslizamiento, hasta metal blanco, frotando después con un detergente alcohólico. El anillo de deslizamiento se debe limpiar cuidadosamente por su parte interior.
- Colocar el anillo alrededor del eje y unir, mediante soldadura con fusión superficial del metal base, los dos extremos, limpiando y puliendo al finalizar.
- Colocar las dos abrazaderas de cremallera, una en cada extremo lateral del anillo y tensarlas adecuadamente.
- Cualquier fallo en la superficie del anillo de deslizamiento de cobre-plata, deberá ser rellenado con soldadura de plata y limando y suavizando hasta enrasar con dicha superficie.
- Comprobar que la conexión eléctrica entre eje y anillo es del orden de 0.01 Ohmios.
- Montar el portaescobillas sobre un soporte apropiado, que deberá ser previsto por el astillero y dispondrá de un pivote de diámetro 19 mm. que quedará paralelo al eje y de longitud adecuada para poder central correctamente las escobillas de plata-grafito sobre el anillo de deslizamiento y el portaescobillas en su punto más próximo, será de 3,18 mm.
- Apretar los tornillos de sujeción del portaescobillas al soporte, una vez centrado el mismo.
- Montar las escobillas bajo los muelles de tensión y colocar los extremos de los cables de las escobillas en los tornillos situados en el portaescobillas, apretando éstos fuertemente con su arandela de presión.
- Ajustar las palancas de regulación de presión de escobillas hasta conseguir una presión adecuada que garantice un buen contacto entre ellas y la banda de rodadura de plata.
- Instalar el cable de conexión a masa sujetándolo en el tornillo central del portaescobillas y efectuando en el otro extremo su conexión al casco. Las dimensiones del cable flexible deben ser de  $1 \times 35 \text{ mm}^2$  de sección, como mínimo y la longitud la necesaria en cada caso.

- Comprobar que la conexión eléctrica entre el eje y el casco es del orden de 0.1 Ohmios, o inferior.

#### 2.2.5 Sistema de conexión a masa de los timones

Se lleva a cabo por medio de un cable flexible de  $1 \times 50 \text{ mm}^2$  de sección, como mínimo, (o bien dos tramos de  $1 \times 25 \text{ mm}^2$  de sección). Se une mediante una soldadura el eje del timón y el casco del buque. Esta soldadura se efectuará entre los terminales de presión de ambos extremos del cable y en el casco y en el timón, respectivamente.

En caso de no poder realizarse, se colocarán pernos de masa especialmente diseñados para estos casos.

### 2.3 Mantenimiento de la instalación

Una vez efectuada la recepción de todos los componentes del equipo y hasta el momento de realizar su instalación en el buque, se deben evitar, tanto el almacenamiento en lugares que pueda perjudicar al equipo como toda clase de daños de tipo mecánico.

#### 2.3.1 Mantenimiento preventivo

Un mantenimiento preventivo del equipo, no solo alargará su vida sino que evitará pérdidas innecesarias de tiempo y paradas también innecesarias. Por tanto, se recomienda vivamente que se siga un procedimiento adecuado de mantenimiento

#### 2.3.2 Unidad de control de potencia

Se recomienda que una vez al año, se desconecte la unidad para inspeccionarla y limpiarla. Esta operación deberá llevarse a cabo por personal bajo la supervisión directa de un técnico del buque, familiarizado con el equipo. Cualquier alimentación será desconectada, como fusibles, interruptores...

- Aspirar, con cuidado, el polvo acumulado en el interior.
- Comprobar todas las conexiones de cables para asegurarse de que están perfectamente y sin corrosión. Limpiar y ajustar cuando sea necesario.
- Comprobar si están obstruidas las aberturas y ventilaciones.

### 2.3.3 Ánodos y electrodos de referencia

Los ánodos y células de referencia, no requieren ningún cuidado especial, pero ha de tenerse en cuenta que debido a que el material constitutivo de los ánodos y células de referencia es blando y frágil, se recomienda, en caso de tener que efectuar limpieza de fondos estando el buque a flote, un especial cuidado en no pasar los cepillos por su superficie activa, ya que, debido a los procesos que se originan en su superficie, perderían su eficacia. Algunas consideraciones:

- Se recomienda el no efectuar pintado sobre las zonas activas de los ánodos, pues taponaría la salida de corriente; en las células de referencia provocaría una lectura anormal forzando en la unidad salidas de corriente distantes de las necesidades reales.
- Cuando para las inspecciones o trabajos en la obra viva del buque sea necesario el empleo de buzos, es muy recomendable el apagar el sistema durante todo el tiempo que dure la estancia de los buzos en el agua.
- Los núcleos de penetración de los ánodos y células de referencia deberán verificarse en cada varada. Se abrirá la tapa del “cofferdam” (asegurándose que no hay presión de agua detrás) y se comprobará que todas las conexiones están en buenas condiciones físicas y sin corrosión.
- Comprobar también que los ánodos y células de referencia no están agrietados o demasiado desgastados, en cuyo caso habría que reemplazarlos.
- Es muy importante que en cada varada se revisen y se reparen los escudos dieléctricos de los ánodos.

#### 2.3.4 Sistema de conexión a masa del timón

Se debe comprobar una vez al mes, que el cable se encuentra en buen estado, revisando también las soldaduras.

#### 2.3.5 Substitución de ánodos y electrodos de referencia

Si por cualquier causa uno o varios ánodos o electrodos de referencia tienen que ser cambiados estando el buque a flote, es muy importante que los nuevos elementos se coloquen en las mismas posiciones en las que los dañados fueron instalados en el astillero.

Para ello, se deberán seguir las siguientes instrucciones:

##### 1) Desde el interior del buque:

- Desconectar la unidad de control de potencia de la red principal.
- Desconectar el cable del ánodo/electrodo de referencia del terminal en la CPU.
- Quitar la tapa del “cofferdam” y cortar el cable en el interior, lo más cerca posible del ánodo/electrodo de referencia, para una mayor facilidad a la hora de removerlo.
- Quitar el prensacables (una vez quitada la tapa pequeña lateral) intentando evitar, lo más posible, que el agua penetre dentro.
- Colocar nuevamente la tapa pequeña lateral del “cofferdam” para evitar que el agua penetre dentro. El agujero de entrada del cable en el “cofferdam” se sellará con un tapón ciego.

##### 2) Desde el exterior del buque:

Se habrá de disponer de un equipo de submarinistas para realizar este trabajo.

- Quitar los tapines de fibra de vidrio y la resina en los orificios del ánodo en donde van alojados los espárragos de la placa.
- Quitar las tuercas y arandelas.
- Quitar el ánodo/electrodo de referencia dañada.
- Reparar el escudo dieléctrico que se haya podido dañar al realizar estos trabajos, utilizando una masilla epoxi que se pueda aplicar bajo el agua (como “Interzone 110” de INTERNATIONAL), o un producto similar.
- Untar el cable del ánodo/electrodo de referencia con grasa de silicona, introducirlo por el agujero del núcleo de penetración y el prensacables,

teniendo especial cuidado en no dañarle la cubierta. Colocar el ánodo en los espárragos de la placa metálica.

- Asegurar el ánodo en su posición colocando las arandelas y poco a poco las tuercas en los espárragos. Tener especial cuidado en no dañar el soporte de resina con fibra de vidrio de los ánodos.
- Rellenar los agujeros con resina, eliminando las burbujas de aire. Colocar presionando el tapín de fibra de vidrio de tal forma que queden perfectamente sellados estos orificios, eliminando el exceso de resina que se haya podido producir. Si fuese necesario, y posible, utilizar cinta adhesiva para sujetar los tapines mientras endurece la resina.

3) Desde el interior del buque:

- Abrir nuevamente la tapa del “cofferdam”.
- Secar toda el agua que haya podido penetrar en su interior. Pasar el cable del ánodo/electrodo de referencia a través del prensacables. Formar un bucle en el interior del “cofferdam” y ajustar la tuerca de compresión del prensacables. Es muy importante que esta zona de deja completamente seca y estanca.
- Unir en la caja de conexiones, el cable del ánodo/electrodo de referencia al cable de alimentación procedente de la unidad de control de potencia.
- Conectar el equipo nuevamente a la red principal y restablecer su funcionamiento.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
NÁUTICA Y MÁQUINAS

# “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA”

---

## PLIEGO DE CONDICIONES

---



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: JUNIO 2017

AUTOR: El alumno

Fdo.: Esteban López Rivera

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>1.1 Pliego de condiciones generales .....</b>	<b>97</b>
1.1.1 Condiciones generales .....	97
1.1.2 Reglamentos y normas.....	97
1.1.3 Materiales .....	97
1.1.4 Organización de la obra.....	97
1.1.5 Personal .....	98
1.1.6 Ejecución de la obra .....	98
1.1.6.1 Comprobación de replanteo .....	98
1.1.6.2 Programa de trabajo.....	98
1.1.7 Contrato.....	99
1.1.7.1 Rescisión del contrato .....	99
1.1.8 Recepción de las obras .....	99
1.1.8.1 Recepción provisional .....	99
1.1.8.2 Plazo de garantía .....	99
1.1.8.3 Recepción definitiva .....	99
<b>1.2 Pliego de condiciones económicas .....</b>	<b>100</b>
1.2.1 Mediciones y valoración de las obras .....	100
1.2.2 Precios.....	100
1.2.3 Fianza.....	100
1.2.4 Responsabilidad por daños .....	101
1.2.5 Demoras .....	101



## **1. PLIEGO DE CONDICIONES**

Establece las condiciones técnicas, económicas, administrativas y legales, de la empresa (en este caso, un astillero) que lleva a cabo el desarrollo del proyecto.

### **1.1 Pliego de condiciones generales**

#### 1.1.1 Condiciones generales

Este primer apartado se centra en el astillero en el cual se van a realizar los trabajos que conllevan la instalación del equipo necesario para la protección catódica mencionado en los epígrafes anteriores. Utilizando para ello los cálculos realizados.

#### 1.1.2 Reglamentos y normas

Las obras llevadas a cabo en el astillero están reguladas por una serie de normativas en las que se establecen unas condiciones de trabajo (contratación de un seguro obligatorio, seguro de enfermedad...) y unos requisitos de seguridad y aspectos técnicos sobre la instalación del equipo.

Es primordial, cumplir la norma “UNE 24042”, sobre contratación de obras y condiciones generales.

#### 1.1.3 Materiales

Los materiales seleccionados para este proyecto cumplirán con los criterios de calidad estipulados y con las normas técnicas generales.

El director de la obra en el astillero es el encargado de asegurar que el material recibido cumpla estos requisitos.

#### 1.1.4 Organización de la obra

Está a cargo del astillero por lo que este, es responsable de los salarios y cargas legales establecidas previamente. Básicamente está sujeto a toda la legislación relativa a la ejecución de la obra.

Para la realización de la obra, el astillero deberá establecer un programa de trabajo, supervisado por el director. Cualquier cambio en el mismo, deberá tener su aprobación.

### 1.1.5 Personal

Al frente de la obra, el astillero dispondrá de un encargado con autoridad sobre los demás operarios y con una serie de conocimientos acreditados y suficientes para la correcta ejecución de la obra. El encargado recibirá, cumplirá y transmitirá las instrucciones y órdenes del director de la obra. El director establecerá el número y tipo de operarios necesarios para llevar a cabo los trabajos.

### 1.1.6 Ejecución de la obra

#### 1.1.6.1 Comprobación de replanteo

Se produce tras pasar quince días de la adjudicación definitiva al astillero correspondiente y tiene lugar en presencia del director de la obra, de un representante del astillero y en este caso, de un representante de la sociedad de salvamento marítimo. Esto queda reflejado en un acta de comprobación del reglamento.

#### 1.1.6.2 Programa de trabajo

Se presenta también tras pasar quince días de la adjudicación definitiva al astillero y está sometido al control del director de la obra.

En el caso de que se requiera una variación del mismo, deberá redactarse de nuevo por el astillero y el director, y se realizará la correspondiente tramitación.

Consideraciones a tener en cuenta:

- La fecha de comienzo de los trabajos deberá ser notificada por el astillero al director.
- La obra dispone de un plazo de ejecución estipulado en el contrato.
- El director puede llevar a cabo las variaciones que considere oportunas, mientras cumpla las condiciones técnicas del proyecto y se mantenga el presupuesto de la obra.
- El astillero tiene la obligación de realizar todas las obras complementarias indispensables para ejecutar el proyecto.
- Cualquier medio auxiliar que necesite el astillero (incluido la subcontratación de personal) correrá a su cargo y deberá tener la aprobación del director.
- El astillero deberá hacerse cargo de la conservación de las obras hasta la fecha de recepción definitiva. En caso de no cumplirlo, correrá con los gastos.

- También es importante, tener en cuenta las condiciones ambientales (temperatura, velocidad del viento...) para garantizar tanto la correcta puesta en obra como la seguridad de los trabajadores.

#### 1.1.7 Contrato

En él se estipula todo lo relativo a la ejecución de la obra por parte del astillero, como adquisición de materiales, mano de obra, transporte, así como todos los documentos que componen del proyecto técnico de la obra.

##### 1.1.7.1 Rescisión del contrato

Se puede producir debido a:

- Quiebra del astillero.
- Alteración del proyecto, en un 25% del total.
- Modificación de la obra sin la autorización correspondiente.
- Suspensión de las obras una vez iniciadas.
- Terminación del plazo de ejecución de la obra, sin completarse esta.
- Subcontratación de la totalidad o parte de la obra a terceros sin la autorización del director.

#### 1.1.8 Recepción de las obras

##### 1.1.8.1 Recepción provisional

Se produce tras la finalización de las obras y en presencia del director de la obra, representante del astillero y representante de la sociedad de salvamento marítimo. Si el estado de la obra es el correcto, se levanta el acta y comienza el plazo de garantía. En caso de no ser así se le dará un plazo al astillero para corregir los posibles defectos y se volverá a realizar la recepción provisional.

##### 1.1.8.2 Plazo de garantía

Será como mínimo de un año, a partir de la recepción provisional. Durante este tiempo, como se ha dicho en los puntos anteriores, el astillero es el responsable de la conservación de las obras (incluidos los gastos que conlleva).

##### 1.1.8.3 Recepción definitiva

Se produce pasado el plazo de garantía. A partir de este momento el astillero se desentiende de la obligación de conservar la obra.

## 1.2 Pliego de condiciones económicas

### 1.2.1 Mediciones y valoración de las obras

Al astillero le facilitan los planos del proyecto para comprobarlos y efectuar las mediciones oportunas. Cualquier error detectado, se le comunica al director de la obra.

### 1.2.2 Precios

Al formalizarse el contrato, el astillero presentará una relación de precios de las obras que llevarán a cabo. En el caso de que se realicen obras no previstas en el proyecto, el precio se fijará entre el director y el astillero, antes de comenzar con ellas, y una vez fijado, se le comunicará al representante de la sociedad de salvamento marítimo para que decida.

Consideraciones a tener en cuenta:

- En el contrato se establecerá si el astillero tiene o no derecho de revisión de los precios.
- Si se diera el caso de algún precio contradictorio, el director de la obra lo calculará basándose en el presupuesto del proyecto.
- En el contrato se podrán establecer penalizaciones por retraso en el plazo de entrega de la obra.
- En caso de rescisión, se abonará al astillero las unidades de obra ejecutadas. También se producirá una retención de la fianza para los posibles gastos de conservación y mantenimiento hasta la nueva fecha de adjudicación.
- Los gastos relativos al agua y electricidad durante la realización de la obra son también a cuenta del astillero.

### 1.2.3 Fianza

En el contrato se establecerá la fianza que el astillero deberá depositar como garantía. La fianza retenida se le abonará al astillero en un plazo no superior a 30 días tras firmar el acta de recepción definitiva de la obra.

#### 1.2.4 Responsabilidad por daños

La sociedad de salvamento marítimo tiene concertada una póliza de responsabilidad civil por daños causados a terceros, en la que figura el astillero como asegurado. Esto garantiza la responsabilidad civil que se le pueda exigir al astillero por daños físicos y materiales causados a terceros por motivo de las obras.

#### 1.2.5 Demoras

Se clasifican en dos tipos, excusables o no excusables. Como demora excusable se puede considerar un retraso o interrupción debido a una causa de fuerza mayor, como una huelga general o un fenómeno meteorológico adverso.

Si se producen demoras no excusables, se le aplican al astillero unas determinadas sanciones, estipuladas en el contrato.

# “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA”

---

## PLANOS

---

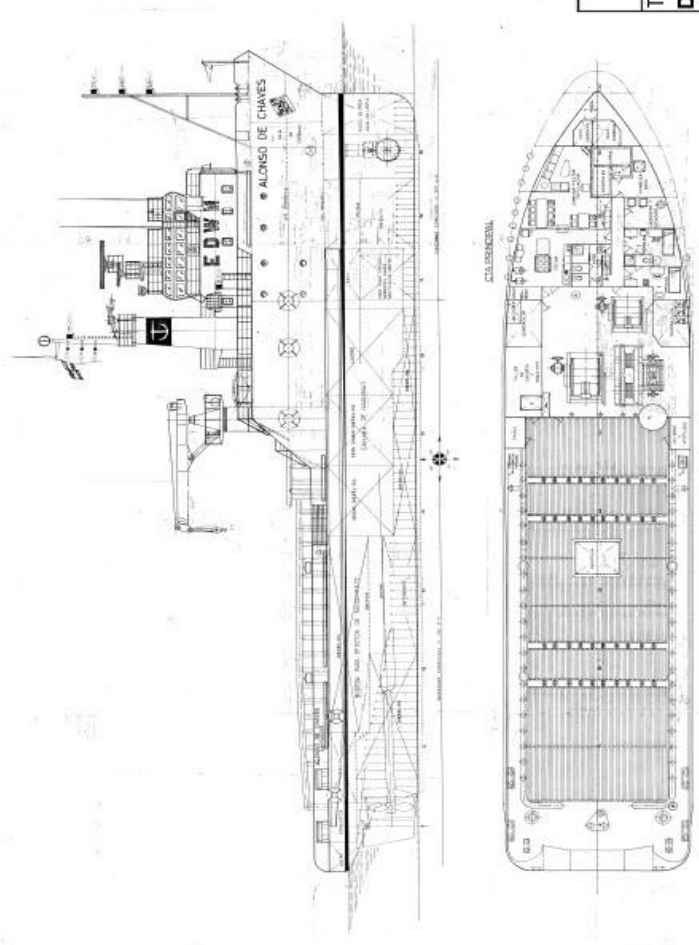


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

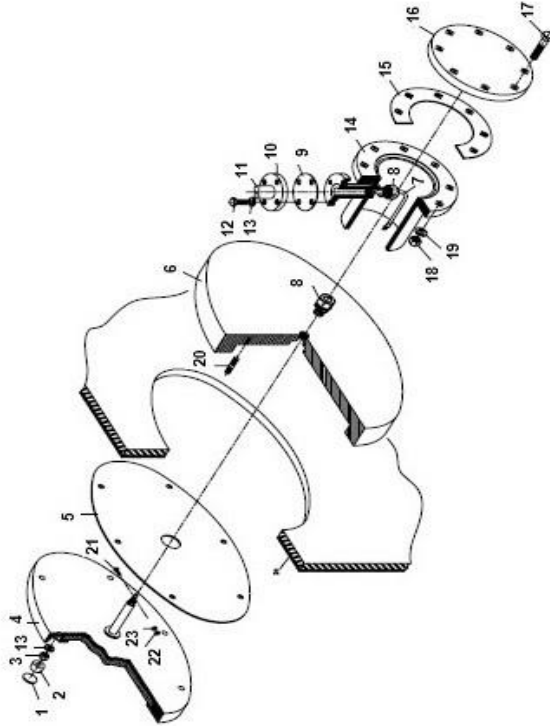
FECHA: JUNIO 2017

AUTOR: El alumno

Fdo.: Esteban López Rivera



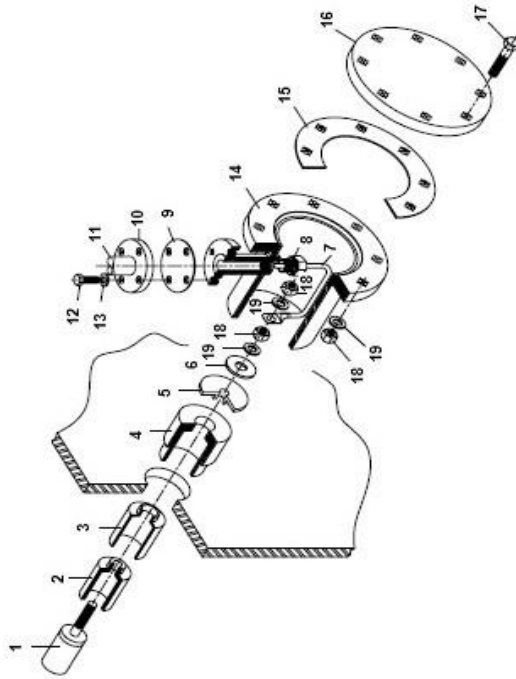
E.T.S DE NÁUTICA Y MÁQUINAS TECNOLOGÍAS MARINAS - ENERGÍA Y PROPULSIÓN		TRABAJO FIN DE GRADO NÚMERO TFG-E-30-17
Título del trabajo: <b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA</b>		
Título del plano: <b>BUQUE BS-12 "ALONSO DE CHAVES"</b>		Fecha: 21/06/2017
AUTOR: ESTEBAN LÓPEZ RIVERA	Firma:	Nº PLANO: 1



Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	Disco fibra de vidrio	Fibra de vidrio
2	Relleno aislante	Resina epoxi
3	Tuerca Exag. M12	Acero
4	Anodos con soporte	Titanio/Resina reforzada
5	Junta estanqueidad	Neopreno
6	Placa soporte	Acero dulce
7	Cable conexión	Bupreno
8	Prensacable	Acero cadmiado/Neopreno
9	Junta	Neopreno
10	Brida	Acero dulce
11	Tubo protector	Acero dulce
12	Tornillo ex. M12X35	Acero
13	Arandela plana, ø13	Acero
14	Cofferdam	Acero dulce
15	Junta	Neopreno
16	Brida ciega	Acero dulce
17	Tornillo ex. M16X65	Acero
18	Tuerca ex. M16	Acero
19	Arandela plana, ø17	Acero
20	Esparrago M12X45	Acero
21	Tornillo C. Plana M6X15	Latón
22	Tuerca ex. M6	Latón
23	Arandela plana, ø6	Latón
24	Escudo dieléctrico	-

<b>E.T.S DE NÁUTICA Y MÁQUINAS</b> <b>TECNOLOGÍAS MARINAS - ENERGÍA Y PROPULSIÓN</b>	TRABAJO FIN DE GRADO NUMERO TFG-E-30-17
Título del trabajo: <b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA</b>	
Título del plano: <b>MONTAJE ÁNODO DE INYECCIÓN DE TITANIO</b>	
AUTOR: <b>ESTEBAN LÓPEZ RIVERA</b>	Fecha: 21/06/2017  N° PLANO: <b>2</b>





Nº	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	Electrodo de referencia	Zinc/Acero dulce
2	Camisa aislante interior	Teflón
3	Camisa aislante	Neopreno
4	Núcleo penetración casco	Acero ST-52.3
5	Arandela	PVC
6	Arandela plastificada	Acero
7	Cable ánodo de referencia	Bupreno
8	Prensacables	Latón cadmiado/Neopreno
9	Junta	Neopreno
10	Brida	Acero dulce
11	Tubo protector	Acero dulce
12	Tornillo Exag. M12X35	Acero
13	Arandela plana, ø13	Acero
14	Cofferdam	Acero dulce
15	Junta	Neopreno
16	Brida ciega	Acero dulce
17	Tornillo Exag. M16X65	Acero
18	Tuerca M16	Acero
19	Arandela plana, ø17	Acero

<b>E.T.S DE NAÚTICA Y MÁQUINAS</b> <b>TECNOLOGÍAS MARINAS - ENERGÍA Y PROPULSIÓN</b>		TRABAJO FIN DE GRADO NÚMERO TFG-E-30-17
Título del trabajo: <b>DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA</b>		
Título del plano: <b>MONTAJE ELECTRODO DE REFERENCIA</b>		Fecha: 21/06/2017
AUTOR: <b>ESTEBAN LÓPEZ RIVERA</b>	Firma:	Nº PLANO: <b>3</b>

# “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA”

---

## PRESUPUESTO

---



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: JUNIO 2017

AUTOR: El alumno

Fdo.: Esteban López Rivera

	Presupuesto para la instalación de un sistema de corrientes impresas y ánodos de sacrificio	Pág.: 1
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Protección catódica por ánodos de sacrificio	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

**Presupuesto para la instalación de un sistema de corrientes impresas y ánodos de sacrificio**

**Una vez se encuentre el barco en el dique se realizarán tres trabajos:**

**-Preparación de la superficie del casco, que durará veinte días.**

**-Instalación ánodos de sacrificio, que durará cinco días.**

**-Instalación del sistema de corrientes impresas, que cinco días.**

**En la duración de los trabajos no se tiene en cuenta ni sábados ni domingos.**

**01 Protección catódica por ánodos de sacrificio**

01.01 009		Ánodos de sacrificio. Se instalarán 26 ánodos de zinc de 10 kg, cada uno tiene un precio de 100 euros.	26,00	100,00 €	2.600,00 €
01.02 OC3E00007	h	Peón electricista. Cobrará 12,85 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 514 €. Al ser dos peones, 1028 €.	2,00	514,00 €	1.028,00 €
01.03 OC3P00011	h	Ayudante instalador. Cobrará 12,85 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 514 €. Al ser dos ayudantes, 1028 €.	2,00	514,00 €	1.028,00 €
01.04 OC1000001	h	Jefe de Obra. Cobrará 32,79 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 1311,6 €.	1,00	1.311,60 €	1.311,60 €

**Total Capítulo 01**

**5.967,60 €**

	Presupuesto para la instalación de un sistema de corrientes impresas y ánodos de sacrificio	Pág.: 1
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Protección catódica por ánodos de sacrificio	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

## 02 Protección catódica por corrientes impresas

02.01 1	Equipo de ICCP. Contiene la unidad de control de potencia de 75 A, dos ánodos de inyección de 50 A, dos electrodos de referencia, dos sistemas de conexión a masa de los ejes de las hélices propulsoras y dos sistemas de conexión a masa de los timones.  Esta partida también incluye la visita en dique seco del técnico especialista del equipo de ICCP y la puesta en marcha y entrega a la sociedad de salvamento marítimo del equipo con el barco a flote.	1,00	15.000,00 €	15.000,00 €
02.02 OC3E00002	h Oficial 1ª electricista. Cobrará 25,57 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 1022,8 €.	1,00	1.002,80 €	1.002,80 €
02.03 OC3E00004	h Ayudante electricista. Cobrará 12,85 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 514 €.	1,00	514,00 €	514,00 €
02.04 OC3E00006	h Peón especialista eléctrico. 1º Oficial. Cobrará 14,65€ por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 586 €.	1,00	586,00 €	586,00 €
02.05 OC3P00001	h Oficial especialista en instalación electrónica. Cobrará 25,57 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 1022,8 €.	1,00	1.022,80 €	1.022,80 €
02.06 OC3P00002	h Peón especialista en instalación electrónica. Cobrará 14,65 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura cinco días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 586 €.	1,00	586,00 €	586,00 €

**Total Capítulo 02**

**18.711,60 €**

	Presupuesto para la instalación de un sistema de corrientes impresas y ánodos de sacrificio	Pág.: 1
	PRESUPUESTO	Ref.: propre1
	Protección catódica por ánodos de sacrificio	Fec.:

N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

### 03 Preparación superficie del casco

03.01 T00PS3100	I	Pintura anticorrosión de la marca Jotun, tipo Jotacote Universal N10. Para el buque en cuestión se requieren 980 L para el casco, por ello se emplearán 49 botes de 20 L. Cada bote cuesta 55,47 €.	49,00	55,47 €	2.718,03 €
03.02 OC1000007	h	Peón especializado, se encargará tanto de la eliminación de las capas anteriores de pintura como de añadir las nuevas. Cobrará 14,65 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura veinte días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 2344 €. Al ser seis peones, 14064 €.	6,00	2.344,00 €	14.064,00 €
03.03 OC6P00004	h	Ayudante. Cobrará 12,85 € por hora de trabajo. Como este trabajo dura veinte días, y suponiendo unas ocho horas de trabajo, cobrará 2056 €. Al ser cuatro ayudantes, 8224 €.	4,00	2.056,00 €	8.224,00 €

**Total Capítulo 03** **25.006,03 €**

**Total Presupuesto** **49.685,23 €**

	Presupuesto para la instalación de un sistema de corrientes impresas y ánodos de sacrificio	Pág.: 1
	RESUMEN DE CAPÍTULOS	Ref.: prores1
		Fec.:

Nº Orden	Descripción de los capítulos	Importe	%
----------	------------------------------	---------	---

01	Protección catódica por ánodos de sacrificio	5.967,60	12,01 %
02	Protección catódica por corrientes impresas	18.711,60	37,66 %
03	Preparación superficie del casco	25.006,03	50,33 %

**TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL ..... 49.685,23 €**

13 % Gastos Generales ..... 6.459,08 €

6 % Beneficio Industrial ..... 2.981,11 €

**TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA ..... 59.125,42 €**

21 % I.V.A. .... 12.416,34 €

**TOTAL PRESUPUESTO C/IVA ..... 71.541,76 €**

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:

SETENTA Y UN MIL QUINIENTOS CUARENTA Y UN EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS

11 de Julio de 2017

LA PROPIEDAD

LA DIRECCIÓN TÉCNICA

LA CONSTRUCTORA

Fdo.: .....

Fdo.: .....

Fdo.: .....