



---

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**

**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

---

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**TFG/GTM/E-16 -16**

QUE LLEVA POR TÍTULO

**“INGENIERÍA MARINA: SISTEMAS  
DE PROTECCIÓN CATÓDICA A  
BORDO”**

---

DEFENDIDO ANTE TRIBUNAL EN LA SESIÓN DE

**SEPTIEMBRE-2016**

**ALBERTO JAVIER FRAGA RIVAS**

DIRECTOR: Alberto Demiguel 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 DEMIGUEL CATOIRA, en calidad de Director, autorizo al alumno D. ALBERTO JAVIER FRAGA RIVAS, con DNI nº 47.372.416-Y a la presentación del presente Trabajo de Fin de Grado con el código titulado:

**“INGENIERÍA MARINA: SISTEMAS DE  
PROTECCIÓN CATÓDICA A BORDO”**

DEFENDIDO ANTE TRIBUNAL EN LA SESIÓN DE

**SEPTIEMBRE-2016**

Fdo. El Director

Fdo. El Alumno

Alberto Demiguel Catoira

Alberto Javier Fraga Rivas

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
NÁUTICA Y MÁQUINAS

# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

## ENERGÍA Y PROPULSIÓN

631G02460 - TRABAJO FIN DE GRADO

CONVOCATORIA DE

 DICIEMBRE  FEBRERO  JUNIO  JULIO  SEPTIEMBRE

D. ALBERTO JAVIER FRAGA RIVAS

DNI. 47372416-Y

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 TFG/GTM/E- 16 -16**

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

En La Coruña a 8 de Septiembre de 2016

Fdo. El Alumno

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

## 1.ÍNDICE

### Tabla de contenido

<b>1.ÍNDICE</b> .....	4
<b>1.1 Índice de ilustraciones</b> .....	10
<b>1.2 Índice de tablas</b> .....	11
<b>1.3 Abreviaturas</b> .....	11
<b>2. AGRADECIMIENTOS</b> .....	12
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>4. MEMORIA</b> .....	15
<b>4.1 Objeto</b> .....	15
<b>4.2 Alcance</b> .....	15
<b>4.3 Antecedentes</b> .....	16
<b>4.4 Requisitos de diseño</b> .....	16
<b>4.5 Análisis de soluciones</b> .....	16
<b>4.6 Resultados finales</b> .....	17
<b>4.7 Desarrollo de la memoria</b> .....	17
<b>4.7.1. Corrosión</b> .....	17
<b>4.7.1.1 Introducción</b> .....	17
<b>4.7.2 Fundamentos de corrosión</b> .....	17
<b>4.7.2.1 Principios electroquímicos de la corrosión</b> .....	19
<b>4.7.2.2 Potenciales de semipila estándares de electrodos</b> .....	21
<b>4.7.2.3 Pilas Galvánicas</b> .....	23
<b>4.7.2.4 Pilas Galvánicas con electrolitos que no son 1M</b> .....	25
<b>4.7.2.5 Pilas galvánicas sin iones metálicos presentes</b> .....	29
<b>4.7.2.6 Corrosión por celda galvánica microscópica de electrodos sencillos</b> .....	30
<b>4.7.2.7 Pilas galvánicas de concentración</b> .....	30
<b>4.7.2.8 Pilas galvánicas formadas en metales y aleaciones</b> .....	32
<b>4.7.3. La serie electroquímica.</b> .....	35
<b>4.7.4. La serie galvánica.</b> .....	35
<b>4.7.5. Causas de la polarización</b> .....	38
<b>4.7.5.1 Fenómenos de pasivación del metal.</b> .....	39

<b>4.7.6. Tipos de corrosión</b> .....	41
<b>4.7.6.1. Corrosión de deterioro uniforme o generalizada</b> .....	42
<b>4.7.6.2. Corrosión galvánica o entre dos metales</b> .....	42
<b>4.7.6.3. Corrosión por picadura</b> .....	44
<b>4.7.6.4. Corrosión por grietas</b> .....	46
<b>4.7.6.5. Corrosión intergranular</b> .....	48
<b>4.7.6.6. Corrosión bajo tensión</b> .....	50
<b>4.7.6.7. Corrosión erosiva</b> .....	51
<b>4.7.6.8. Daño por cavitación</b> .....	51
<b>4.7.6.9. Corrosión por desgaste (frotamiento)</b> .....	52
<b>4.7.6.10. Corrosión selectiva o desaleante</b> .....	52
<b>4.7.7 Factores que favorecen la corrosión:</b> .....	53
<b>4.7.7.1 Oxígeno</b> .....	53
<b>4.7.7.2 Temperatura</b> .....	53
<b>4.7.7.3 Velocidad</b> .....	53
<b>4.7.7.4 Cloruros</b> .....	53
<b>4.7.8. Control de la corrosión</b> .....	54
<b>4.7.8.1 Modificación del diseño</b> .....	55
<b>4.7.8.2 Modificación del medio corrosivo</b> .....	56
<b>4.7.8.3. Selección de materiales</b> .....	59
<b>4.7.8.4. Protección anódica.</b> .....	60
<b>4.7.8.5.- Protección catódica por corriente impresa y ánodos de sacrificio</b> .....	61
<b>4.7.8.5.1 Funcionamiento del sistema de corrientes impresas</b> .....	64
<b>4.7.8.6. Protección mediante recubrimientos</b> .....	70
<b>4.7.8.6.1Tipos de pintura</b> .....	71
<b>4.7.8.6.2 Operaciones y prescripciones del pintado</b> .....	76
<b>4.7.8.6.3 Tratamiento de superficies</b> .....	76
<b>4.7.8.6.4 Aplicación y combinación de pintura</b> .....	77

4.7.9. Conclusión.....	78
<b>5-ANEXO.....</b>	<b>81</b>
5.1-Descripción del buque.....	81
5.1.1. Detalles de la naviera / armadora.....	81
5.1.2. Detalles del proyecto y construcción.....	81
5.1.3. Características generales del casco.....	82
5.1.4. Capacidades de los tanques.....	82
5.1.5. Consumos diarios.....	83
5.2 – Servicios Generales.....	83
5.2.1 Servicio de Lastre.....	83
5.2.2 Servicio de Agua Sanitaria.....	83
5.2.3 Servicio de Ventilación (habilitación y sala de máquinas).....	83
5.2.4 Instalación de Lucha Contra Incendios.....	83
5.3 Sala de Máquinas – Propulsión Diésel.....	84
5.3.1 Motores Principales: Piezas fijas y móviles.....	84
5.3.2 Sistema de Refrigeración.....	86
5.3.3Sistemas de lubricación.....	86
5.3.4 Sistema de Combustible.....	87
5.3.5. Sistema de Admisión y Escape.....	87
5.3.6. Sistema de Control y Regulación.....	90
5.3.7. Sistema de Arranque Neumático.....	90
5.3.8. Sistema de Alarmas y Seguridades.....	90
5.3.9. Chumacera de empuje / Reductoras.....	91
5.3.10. Eje de cola / Cojinetes de apoyo.....	91
5.3.11. Propulsores (FPP / CPP / WaterJet).....	91
5.4 – Sala de Máquinas – Planta Eléctrica.....	93
5.4.1. Motores Auxiliares: piezas fijas y móviles.....	93
5.4.2. Motores Auxiliares: refrigeración, lubricación, combustible, admisión-escape y arranque.....	94

<b>5.4.3. Generadores: rotor, estator, escobillas, ventilación, regulador y disyuntores</b> .....	95
<b>5.4.3.1 Motor auxiliar de puerto y Motor de emergencia</b> .....	96
<b>5.4.4. Distribución Eléctrica 380V-400V – 50 Hz (salvo generación a 3,3 ó 6,6 kV; Cuadro principal: barras principales, servicios esenciales y no esenciales; Sistema de emergencia: generador, cuadro de emergencia y consumidores ...</b>	98
<b>5.4.5 Distribución Eléctrica 220V-250V – 50 Hz –Transformadores; Sistema de emergencia: baterías y alumbrado de 24v</b> .....	100
<b>5.5 – Sala de Máquinas – Instalaciones</b> .....	102
<b>5.5.1. Sistema de Refrigeración (Agua Salada / Baja Temperatura / Centralizado)</b> .....	102
<b>5.5.2. Sistema de almacenamiento y trasiego de combustible al tanque de servicio del motor</b> .....	102
<b>5.5.3. Sistema de almacenamiento y trasiego de lubricantes a motor y equipos</b> .....	103
<b>5.5.4. Instalación de Aire Comprimido (aire de arranque, control y taller)</b> .....	104
<b>5.6 – Sala de Máquinas – Equipos</b> .....	104
<b>5.6.1. Generador de Agua Dulce</b> .....	104
<b>5.6.2. Depuradoras (aceite, combustibles y sentinas)</b> .....	106
<b>5.6.3. Separador de Aguas Oleosas (sentinas)</b> .....	107
<b>5.6.4. Planta de tratamiento de Aguas Residuales (grises y negras)</b> .....	111
<b>5.6.5. Incinerador de lodos y residuos orgánicos</b> .....	116
<b>5.6.7. Gestión de lodos e incinerador</b> .....	118
<b>5.6.8. Planta frigorífica para conservación de alimentos (gambuza)</b> .....	119
<b>5.6.9. Planta frigorífica para Aire Acondicionado</b> .....	119
<b>5.6.10 Otros equipos</b> .....	120
<b>5.7 Cálculo</b> .....	126
<b>5.7.1 Conceptos del calculo</b> .....	127
<b>5.7.2 Protección del casco</b> .....	127
<b>6. PLIEGO DE CONDICIONES</b> .....	132

<b>6.1 Pliego de condiciones generales</b> .....	132
<b>6.1.1 Condiciones generales</b> .....	132
<b>6.1.2 Reglamentos y normas</b> .....	132
<b>6.1.3 Materiales</b> .....	132
<b>6.1.4 Recepción de material</b> .....	132
<b>6.1.5 Organización</b> .....	132
<b>6.1.6 Ejecución de la obra</b> .....	133
<b>6.1.6.1 Comprobación del replanteo</b> .....	133
<b>6.1.6.2 Programa de trabajo</b> .....	133
<b>6.1.6.3 Comienzo</b> .....	133
<b>6.1.6.4 Plazo de ejecución</b> .....	133
<b>6.1.7 Interpretación y desarrollo del proyecto</b> .....	133
<b>6.1.8 Variaciones</b> .....	134
<b>6.1.9 Obras complementarias</b> .....	134
<b>6.1.10 Modificaciones</b> .....	134
<b>6.1.11 Obra defectuosa</b> .....	134
<b>6.1.12 Medios auxiliares</b> .....	134
<b>6.1.13 Conservación</b> .....	135
<b>6.1.14 Subcontratación de obras</b> .....	135
<b>6.1.15 Recepción de las obras</b> .....	135
<b>6.1.15.1 Recepción provisional</b> .....	135
<b>6.1.15.2 Plazo de garantía</b> .....	135
<b>6.1.15.3 Recepción definitiva</b> .....	135
<b>6.1.16 Contratación del astillero</b> .....	136
<b>6.1.17 Contrato</b> .....	136
<b>6.1.18 Responsabilidades</b> .....	136
<b>6.1.19 Rescisión del contrato</b> .....	136
<b>6.2 Pliego de condiciones económicas</b> .....	137



<b>6.2.1 Mediciones y valoración de las obras</b> .....	137
<b>6.2.2 Abono de las obras</b> .....	137
<b>6.2.3 Precios</b> .....	137
<b>6.2.4 Revisión de precios</b> .....	137
<b>6.2.5 Precios contradictorios</b> .....	137
<b>6.2.6 Penalizaciones por retrasos</b> .....	138
<b>6.2.7 Liquidación en caso de rescisión de contrato</b> .....	138
<b>6.2.8 Fianza</b> .....	138
<b>6.2.9 Gastos diversos por cuenta del astillero</b> .....	138
<b>6.2.10 Conservación de las obras durante el plazo de garantía</b> .....	138
<b>6.2.11 Medidas de seguridad</b> .....	138
<b>6.2.12 Responsabilidad por daños</b> .....	139
<b>6.2.13 Demoras</b> .....	139
<b>6.3 Pliego de condiciones facultativas:</b> .....	140
<b>6.3.1 Normas a seguir</b> .....	140
<b>6.3.2 Personal</b> .....	140
<b>6.3.3 Admisión y retirada de materiales</b> .....	140
<b>6.4 Pliego de condiciones técnicas:</b> .....	140
<b>6.4.1 Conexionado de cines y elementos de protección en general</b> .....	140
<b>6.4.2 Instalación de sistemas de protección de tuberías</b> .....	141
<b>6.4.3 Aceptación y rechazo de los materiales e instalación</b> .....	141
<b>6.4.3.1 Aceptación</b> .....	141
<b>6.4.3.2 Rechazo</b> .....	142
<b>6.4.4 Inspección y pruebas de la instalación de la obra</b> .....	142
<b>7 PRESUPUESTO</b> .....	144
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	146
<b>9- PLANOS</b> .....	148

## 1.1 Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Montaje industrial de una pila electrolítica .....	19
Ilustración 2 Montaje de pila con electrodo $H_2-2H^+$ .....	22
Ilustración 3 Potenciales de electrodo estándar a 25°C.....	23
Ilustración 4 Pila macroscópica galvánica con electrodos de Zn y Cu .....	24
Ilustración 5 Ejemplo de micropila en la microestructura. ....	28
Ilustración 6 Reacciones típicas de pilas galvánicas en disoluciones acuosas.....	30
Ilustración 7 a) Corrosión en o b) cerca de las fronteras de grano.....	33
Ilustración 8 Serie galvánica en agua de mar. ....	37
Ilustración 9 Curvas de polarización de un metal pasivo .....	40
Ilustración 10 Comportamiento anódico-catódico del acero con capas de cinc y estaño expuestas a la atmósfera. a) se corroe el cinc. b) Se corroe el acero.....	43
Ilustración 11 Dibujo esquemático del crecimiento de un agujero en un acero inoxidable sumergido en una solución salina aireada.....	45
Ilustración 12 Ejemplo de picadura en un tubo de cobre electrolítico.....	46
Ilustración 13 Diagrama esquemático del mecanismo de corrosión por hendidura.....	47
Ilustración 14 Representación esquemática de la precipitación del carburo de cromo en la frontera de grano de un acero inoxidable AISI 304 sensibilizado.....	49
Ilustración 15 a) Microestructura del acero inoxidable AISI 304 sin sensibilizar. b) Aspecto de la corrosión intergranular tras la sensibilización del mismo. ....	50
Ilustración 16 Situaciones que pueden originar corrosión bajo tensión en metales y aleaciones.....	50
Ilustración 17 Ejemplo de la descincificación del latón. ....	53
Ilustración 18 Métodos comunes de control de corrosión. ....	55
Ilustración 19 Polarización anódica por pasivador.....	58
Ilustración 20 Esquema ICCP .....	62
Ilustración 21 Unidad de control de corrientes catódicas .....	64
Ilustración 22 Electrodo de referencia de Zinc D=125mm .....	65
Ilustración 23 Ánodo lineal 125-200A.....	66
Ilustración 24 Ánodo elíptico .....	66
Ilustración 25 Ánodo elíptico .....	67
Ilustración 26 Escobillas del eje.....	68
Ilustración 27 Ánodos instalados en el casco del buque.....	69
Ilustración 28 Buque con estado de la pintura en deficiente estado .....	70
Ilustración 29 Diferentes tipos de pintura.....	72
Ilustración 30 Operario tratando el casco del buque.....	77
Ilustración 31 Operario pintando el casco del buque .....	78

Ilustración 32 Buque María Pita (P.A) .....	81
Ilustración 33 Motor Principal (P.A) .....	85
Ilustración 34 Reglaje de válvulas cifras teóricas (P.A) .....	88
Ilustración 35 Multiplicadora (P.A) .....	91
Ilustración 36 Schottel Babor (P.A) .....	93
Ilustración 37 Motor Auxiliar Volvo Penta (P.A) .....	95
Ilustración 38 Alternador Motor Auxiliar D9 (P.A) .....	96
Ilustración 39 Motor Auxiliar Volvo Penta D7 (motor de puerto P.A) .....	98
Ilustración 40 Servicios a 400v .....	100
Ilustración 41 Cargador de Baterías (P.A) .....	101
Ilustración 42 Box Cooler (P.A) .....	102
Ilustración 43 Válvulas de Trasiego (P.A) .....	103
Ilustración 44 Depuradoras de aceite y gas oil (P.A) .....	107
Ilustración 45 Separador de Sentinas (P.A) .....	111
Ilustración 46 Planta de tratamiento de Aguas Negras (P.A) .....	116
Ilustración 47 Incinerador (P.A) .....	118
Ilustración 48 Planta de Aire Acondicionado P.A .....	120
Ilustración 49 Calentador P.A .....	122
Ilustración 50 Compresores de Aire P.A .....	124

## 1.2 Índice de tablas

Tabla 1 Reglaje .....	89
Tabla 2 Orden de Encendido .....	89
Tabla 3 Dilución máxima de las tasas de dosificación del agua .....	114
Tabla 4 Tolerancias de los extremos para los anillos del pistón .....	123
Tabla 5 Altura libre en las ranuras de los anillos del pistón .....	123
Tabla 6 Espacio libre entre el pistón y el cilindro .....	124
Tabla 7 Tolerancias de los extremos para los anillos del pistón .....	126
Tabla 8 Altura libre en las ranuras de los anillos del pistón .....	126
Tabla 9 Espacio libre entre el pistón y el cilindro .....	126
Tabla 10 Densidades de corriente de protección en distintos medios agresivos .....	128
Tabla 11 Datos cálculo .....	129
Tabla 12 Valores electroquímicos para el cálculo de vida de los ánodos .....	129

## 1.3 Abreviaturas

P.A = Propiedad del autor

## **2. AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a mi abuela por el apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida y en concreto en cuanto a mis estudios, y a mi novia María Isabel por aguantarme siempre que tenía que dedicar tiempo a mis estudios.

También a mi tutor en este Proyecto de Fin de Grado, y al resto de profesores por su colaboración y ayuda en este final de Grado.

A todos, gracias.

### 3. INTRODUCCIÓN

Este TFG que se presenta como finalización de los estudios de Grado en Tecnologías Mariñas en la E.T.S. de Náutica y Máquinas de A Coruña con el tema de Sistemas de Protección Catódica a Bordo.

Uno de los problemas de mayor importancia que puede afectar a un metal sumergido en un medio líquido, es el de la corrosión, que afecta a prácticamente la totalidad de la flota mundial y que ocasiona pérdidas importantes al propiciar la degradación del metal constituyente del casco del buque y por tanto una disminución del rendimiento del mismo, tanto en lo que se refiera a su velocidad como a la resistencia estructural. Es por ello, que hemos de suponer, que buena parte del presupuesto de mantenimiento de las empresas navieras, va encaminado a proteger y reducir en la medida de lo posible los efectos contraproducentes de la corrosión; en el caso de España, por ejemplo, la Plataforma Tecnológica de Materiales y Procesos, estima que la corrosión supone un gasto del 3% del PIB en el sector de los transportes.

La obra viva es la parte del casco que está sumergida y necesita una protección que reduzca el ataque de la corrosión y la adherencia de material biológico al mismo, esto conlleva un coste económico porque hay que invertir en mano de obra y material para llevar a cabo un mantenimiento de calidad de esta parte tan importante. A su vez la obra muerta es la parte del casco que esta fuera del agua y que también cuenta con su propio mantenimiento específico. Sin embargo, en este trabajo nos centraremos en la obra viva.

Combatir la corrosión no sólo es posible utilizando un único método o sistema, más allá, se debe tratar el problema mediante la utilización de un conjunto de medios con el fin de minimizar los efectos de la corrosión y por tanto lograr un mayor periodo de explotación del buque; para ello, podemos servirnos de soluciones como el recubrimiento con pinturas y otros aislantes, sistemas de corrientes impresas y ánodos de sacrificio, etc.



---

# “INGENIERÍA MARINA: SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA A BORDO”

---

## MEMORIA

---

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**

**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: **SEPTIEMBRE- 2016**

AUTOR: Alberto Javier Fraga Rivas

Fdo.: Alberto Javier Fraga Rivas

## **4. MEMORIA**

### **4.1 Objeto**

La finalidad de este TFG es llevar a cabo un estudio sobre los sistemas utilizados para la protección catódica de un casco de acero para conseguir una mejor explotación.

Así como evitar la corrosión del buque, las incrustaciones y obtener una mayor vida útil en el casco de los buques.

Así como resultado de evitar las anteriores circunstancias el buque conseguirá los siguientes objetivos los cuales también se perseguirán. Algunos ejemplos son, que el buque:

- Ahorrara combustible
- Aumentará la velocidad
- Mejorará la maniobrabilidad y la seguridad
- Ganará en apariencia estética
- Se necesitará menos mantenimiento y reparaciones

También se realizará el diseño, cálculo e instalación de los ánodos de sacrificio de una embarcación de salvamento marítimo, así como su sistema de corrientes impresas (ICCP). Se determinará la eficacia del sistema de protección mediante ánodos de sacrificio en función del desgaste a lo largo del tiempo, se tendrá en cuenta el aspecto económico de pérdida de material del casco, corrosiones, desgastes y efectos negativos generados por el incorrecto mantenimiento del sistema de protección. Se determinarán los parámetros de tiempo entre inspecciones y la evolución del desgaste de los cines en correspondencia con su efecto negativo sobre los componentes estructurales y el equipamiento principal y auxiliar.

### **4.2 Alcance**

Con la realización de éste TFG, queremos llevar a cabo un estudio amplio de los fenómenos de corrosión que afectan a la obra viva de un casco de acero y aquellos medios a utilizar para minimizar este fenómeno.

Además del estudio del fenómeno de la corrosión y cómo afecta en líneas generales al casco del buque, se perseguirá saber diseñar cualquier sistema de protección catódica para cualquier buque del mundo y se planteará un estudio donde se estudiará el sistema de protección para una embarcación de salvamento marítimo, así como su presupuesto.

#### **4.3 Antecedentes**

El buque María Pita de Salvamento Marítimo, botado en 2008 le toca varada en 2016, y como consecuencia de esta varada aprovecharemos para el cambio de ánodos de sacrificio y revisaremos el sistema (ICCP).

#### **4.4 Requisitos de diseño**

El material seleccionado para los ánodos de sacrificio es el Cinc, debido a su versatilidad, no tiene ningún inconveniente en navegar en diferentes tipos de agua, ya sea salada, salobre o dulce, inconveniente sin embargo para otro tipo de material, por ejemplo, el aluminio en aguas salobres, estando por periodos mayores a 40 horas tiende a pasivarse dejando el ánodo inservible para su función de protección.

El ánodo será de elevada pureza cumpliendo con lo requerido por la sociedad americana de pruebas y materiales (ASTM) B-418 tipo I para agua salada, tiene un elevado rendimiento de un 95 %, su tendencia a la auto corrosión por formación de pilas locales es pequeña. Tendremos en cuenta para los cálculos el factor de utilización que es la fracción del material del ánodo con un diseño específico que puede ser utilizado para el cálculo de la masa de ánodos neta para la protección adecuada para el diseño del sistema de protección. Cuando un ánodo es consumido hasta su factor de utilización, la capacidad de polarización llega a ser impredecible debido a la pérdida del material del ánodo.

#### **4.5 Análisis de soluciones**

Como calculamos posteriormente el buque María Pita necesitara un total de 26 ánodos distribuidos a lo largo del casco.

De estos 26 ánodos, 13 se situarán a estribor y los otros 13 restantes a babor.



Además, para el sistema de corrientes impresas ICCP, será requerido 2 electrodos de referencia de cinc, 2 ánodos de inyección de corriente (óxido de titanio), un armario eléctrico y 2 escobillas y un aro de Cu para el eje.

#### **4.6 Resultados finales**

A priori, con el montaje de la nueva instalación de ánodos de sacrificio se espera que la durabilidad de los ánodos sea aproximadamente de unos 2 años y que reste un 15% de material cuando el buque prevea la entrada en dique.

#### **4.7 Desarrollo de la memoria**

##### **4.7.1. Corrosión**

###### **4.7.1.1 Introducción**

El objetivo es el estudio en la fenomenología de la corrosión, sus causas y consecuencias, y de los medios que disponemos para combatirla. Se completará con la descripción de algunos medios que se disponen para paliar los efectos nocivos de los medios corrosivos.

El campo de aplicación es obviamente amplísimo. La corrosión es el proceso más generalizado del deterioro metálico, constituye su verdadero cáncer. Con la agregación del efecto tensional, cuya causa es inevitable, los casos de fractura bajo corrosión se extienden a todas instalaciones y máquinas industriales: petroquímicas, nucleares, aplicaciones navales. Las pérdidas por corrosión y bajo efectos mecánicos en cualquier país representa un elevado porcentaje de su producto interior.

###### **4.7.2 Fundamentos de corrosión**

Una definición bastante aceptable de la corrosión es el deterioro que sufre un material a consecuencia de un ataque químico por su entorno.

Siempre que la corrosión esté originada por reacción química, la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura y de la concentración de los reactivos y de los productos. Otros factores, como el esfuerzo mecánico y la erosión también, pueden contribuir al deterioro.

La mayor parte de la corrosión de los materiales concierne al ataque *químico* de los metales, el cual ocurre principalmente por ataque electroquímico, ya que los metales tienen electrones libres que son capaces de establecer pilas

electroquímicas dentro de los mismos. Las reacciones electroquímicas exigen un electrolito conductor, cuyo soporte es habitualmente el agua. De aquí que en ocasiones se le denomine "**corrosión acuosa**". Muchos metales sufren corrosión en mayor o menor grado por el agua y la atmósfera. Los metales también pueden ser corroídos por ataque químico directo procedente de soluciones químicas. Otro tipo de degradación de los metales que sucede por reacción química con el medio, es lo que se conoce como "**corrosión seca**", que constituye en ocasiones una degradación importante de los metales especialmente cuando va acompañado de altas temperaturas.

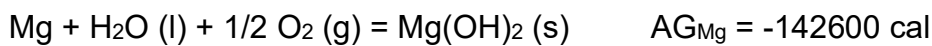
Materiales no metálicos como las cerámicas y los polímeros no sufren el ataque electroquímico, pero pueden ser deteriorados por ataques químicos directos. Por ejemplo, los materiales cerámicos refractarios pueden ser atacados químicamente a altas temperaturas por las sales fundidas. Los polímeros orgánicos pueden ser deteriorados por el ataque químico de disolventes orgánicos. El agua es absorbida por algunos polímeros orgánicos, provocando en ellos cambios dimensionales o en sus propiedades. La acción combinada de oxígeno y radiación ultravioleta es susceptible de destruir algunos polímeros, incluso a temperatura ambiente.

Un principio natural en todos los campos de las ingenierías es la degradación de las máquinas y piezas en servicio. Es obvio demostrar que la corrosión constituye una de las fuentes importantes de degradación de los ingenios diseñados por el técnico. Combatir la corrosión significa: prolongar el tiempo de servicio de un ingenio, disminuir su mantenimiento, diseñar con menor costo para un tiempo definido de servicio, o, cuando no, impedir accidentes que pueden provenir de fracturas súbitas, consecuencias del proceso corrosivo.

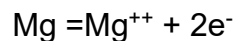
En este trabajo de fin de grado se estudiarán los diversos procedimientos o materiales que se disponen para combatir la corrosión. Por su parte la ciencia de los materiales debe suministrar el conocimiento de los procesos de corrosión que permita desarrollar con probabilidad alta de éxito los métodos de protección contra la corrosión.

#### 4.7.2.1 Principios electroquímicos de la corrosión

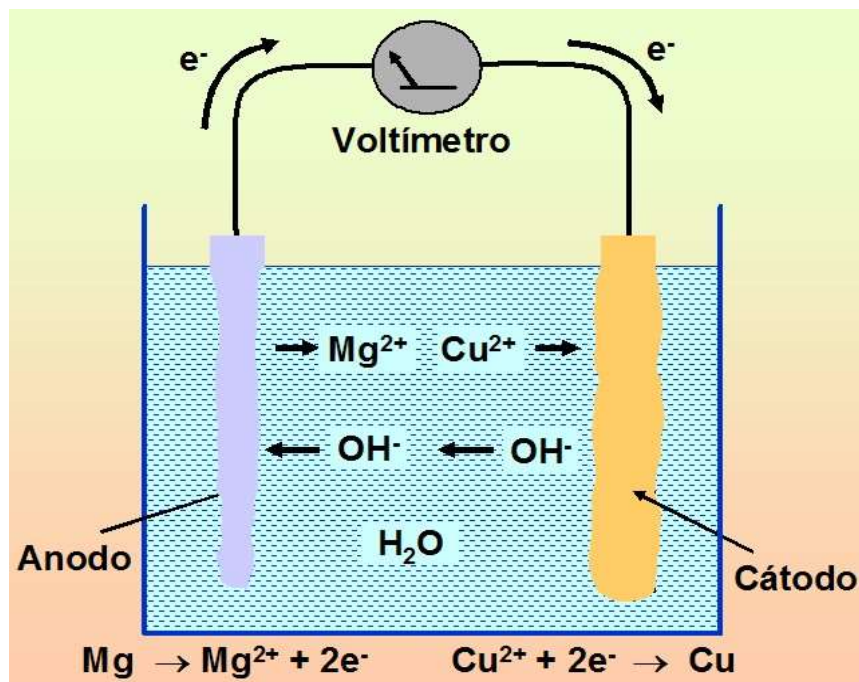
Citemos un experimento de laboratorio que reúne los sucesos básicos que aparecen en un proceso corrosivo. Un recipiente conteniendo una solución acuosa, denominada electrolito, que baña dos electrodos de metales diferentes, por ejemplo, Mg y Cu, que se encuentran unidos por un conductor eléctrico en el que se intercala un voltímetro. Un flujo de electrones circula por el conductor desde el Mg al Cu, lo que significa una corriente eléctrica desde el Cu al Mg según la convención de signos de éstas. El voltímetro indicará este paso de corriente. Este es el principio de la pila galvánica, de Luigi Galvani, que convierte la energía química en eléctrica. El Mg se corroe pasando a hidróxido magnésico según la reacción:



La tendencia a la reacción,



Viene dada por el valor negativo de la variación de energía libre en la reacción,  $\Delta G_{\text{Mg}}$



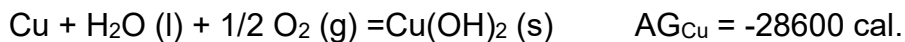
*Ilustración 1 Montaje industrial de una pila electrolítica*

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

El magnesio, en este caso, constituye el **ánodo**; pues es donde se ubica la degradación del metal.

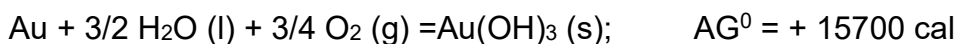


La ecuación anterior constituye lo que se conoce como semipila de oxidación. El cobre constituye el **cátodo**; pues la energía libre de formación del hidróxido es menor. En efecto,



La ecuación  $\text{Cu}^{+2} + 2 e^{-} = \text{Cu}$  constituye la semipila de reducción.

Se observa que  $\Delta G^0_{\text{Mg}} < \Delta G^0_{\text{Cu}}$ , y un principio general es que las transformaciones espontáneas lo hacen en sentido de disminuir la energía libre. En este sentido se definen los metales nobles como aquellos en que la energía libre en la reacción de formación de sus óxidos es positiva, como el caso del oro.



Interesa recordar algunos aspectos importantes sobre las reacciones de oxidación reducción en las semipilas:

**1-Reacción de oxidación.** La reacción de oxidación por la cual los metales forman iones que pasan a solución acuosa recibe el nombre de reacción anódica, y las regiones locales en la superficie de los metales donde la reacción de oxidación tiene lugar reciben el nombre de ánodos locales. En la reacción anódica, se producen electrones, los cuales permanecen en el metal, y los átomos del metal forman cationes.

**2.Reacción de reducción.** La reacción de reducción en la cual un metal o un no metal ve reducida su carga de valencia recibe el nombre de reacción catódica. Las regiones locales en la superficie del metal donde los iones metálicos o no metálicos ven reducida su carga de valencia reciben el nombre de cátodos locales. En la reacción catódica hay un consumo de electrones

**3.Las reacciones de corrosión electroquímica** involucran reacciones de oxidación que producen electrones y reacciones de reducción que los consumen. Ambas reacciones de oxidación y reducción deben ocurrir al mismo tiempo y a la

misma velocidad global para evitar una concentración de carga eléctrica en el metal.

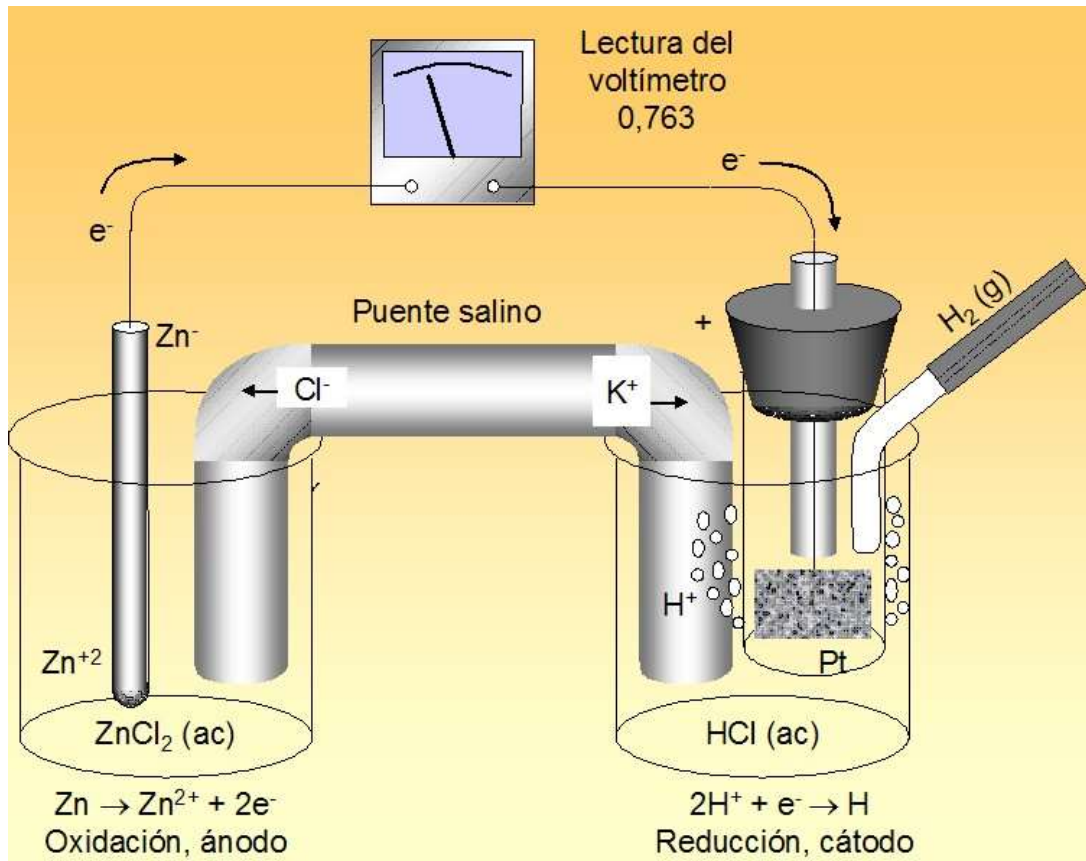
#### **4.7.2.2 Potenciales de semipila estándares de electrodos**

Cada metal tiene una tendencia diferente a la corrosión en un medio determinado. Por ejemplo, el cinc es químicamente atacado y corroído por ácido clorhídrico diluido mientras que el oro, en estas condiciones, no lo es.

Un método para comparar la tendencia a formar iones en disolución acuosa, es comparar sus potenciales de semipila de reducción o de oxidación respecto a un potencial estándar de semipila ión hidrógeno-hidrógeno, empleando un dispositivo experimental como el de la figura posterior.

Para determinar el potencial de semipila estándar de un electrodo determinado se utilizan dos vasos de precipitados que contienen disoluciones acuosas separadas por un puente salino para evitar la mezcla de las disoluciones.

En uno de los vasos de precipitados se sumerge un electrodo del metal cuyo potencial estándar queremos determinar en una disolución 1 M de sus iones a 25°C. En otro vaso de precipitados un electrodo de platino se sumerge en una disolución 1M de iones  $H^+$ , donde se barbotea gas hidrógeno. Un cable en serie con voltímetro y un interruptor conecta los dos electrodos. Cuando el interruptor se cierra, se mide el voltaje entre las dos semipilas.



*Ilustración 2 Montaje de pila con electrodo H<sub>2</sub>-2H<sup>+</sup>*

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

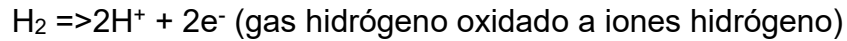
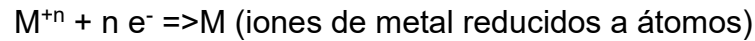
El potencial correspondiente a la reacción de la semipila  $\text{H}_2 \Rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$  recibe arbitrariamente la asignación de voltaje 0. Por tanto, el voltaje de la reacción de semipila metálica  $\text{Mn} \Rightarrow \text{Mn}^{+n} + n \text{e}^-$  se mide directamente frente al electrodo estándar de hidrógeno.

La tabla posterior muestra los potenciales de semipila de determinados metales. A los metales que son más reactivos que el hidrógeno se les asigna un potencial negativo y se dice que son **anódicos con respecto al hidrógeno**. Las reacciones de proceso son:



A los metales que son menos reactivos que el hidrógeno se les asignan potenciales positivos y se dice que son **catódicos con respecto al hidrógeno**. Los iones del metal cuyo potencial está siendo determinado, son reducidos al

estado metal (y pueden depositarse sobre el electrodo), y el hidrógeno gas es oxidado a iones hidrógeno. Las ecuaciones para las reacciones del proceso son:



	Reacción de oxidación (corrosión)	Potencial de electrodo, $E^{\circ}$ (voltios frente a electrodo estándar de hidrógeno)
	↑ $Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^{-}$	+1,498
	$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$	+1,229
	$Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e^{-}$	+1,200
	$Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$	+0,799
Más catódico (menor tendencia a la corrosión)	$2Hg \rightarrow Hg_2^{2+} + 2e^{-}$	+0,788
	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$	+0,771
	$4(OH)^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}$	+0,401
	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-}$	+0,337
	$Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^{-}$	+0,150
	$H_2 \rightarrow 2H^{+} + 2e^{-}$	0,000
	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^{-}$	-0,126
	$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^{-}$	-0,136
	$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^{-}$	-0,250
	$Co \rightarrow Co^{2+} + 2e^{-}$	-0,277
Más anódico (mayor tendencia a la corrosión)	$Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^{-}$	-0,403
	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$	-0,440
	$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^{-}$	-0,744
	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$	-0,763
	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$	-1,662
	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-}$	-2,363
	↓ $Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$	-2,714
	* Las reacciones se escriben como semiceldas anódicas. La reacción de semicelda más negativa, la más anódica, presenta la mayor tendencia a que aparezca la corrosión u oxidación.	

Ilustración 3 Potenciales de electrodo estándar a 25°C

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

#### 4.7.2.3 Pilas Galvánicas

Puesto que la mayoría de los fenómenos de corrosión metálica involucran reacciones electroquímicas, es importante entender los principios de la operación de un par (pila) galvánico electroquímico. Una pila galvánica macroscópica puede construirse con electrodos metálicos distintos, cada uno inmerso en una disolución que contenga sus propios iones. La figura posterior muestra una pila

galvánica de este tipo, que tiene un electrodo de cinc inmerso en una disolución 1M de  $Zn^{2+}$  (iones) y otro de cobre inmerso en una disolución 1M de iones  $Cu^{2+}$ , ambas disoluciones a 25°C. Las dos disoluciones están separadas por una pared porosa para impedir que se mezclen y los electrodos están conectados exteriormente por un cable al que hemos aplicado un interruptor y un voltímetro. Tan pronto como cerremos el interruptor, los electrones fluyen desde el electrodo de cinc hasta el de cobre a través del cable externo y el voltímetro señala un voltaje de -1,10 V.

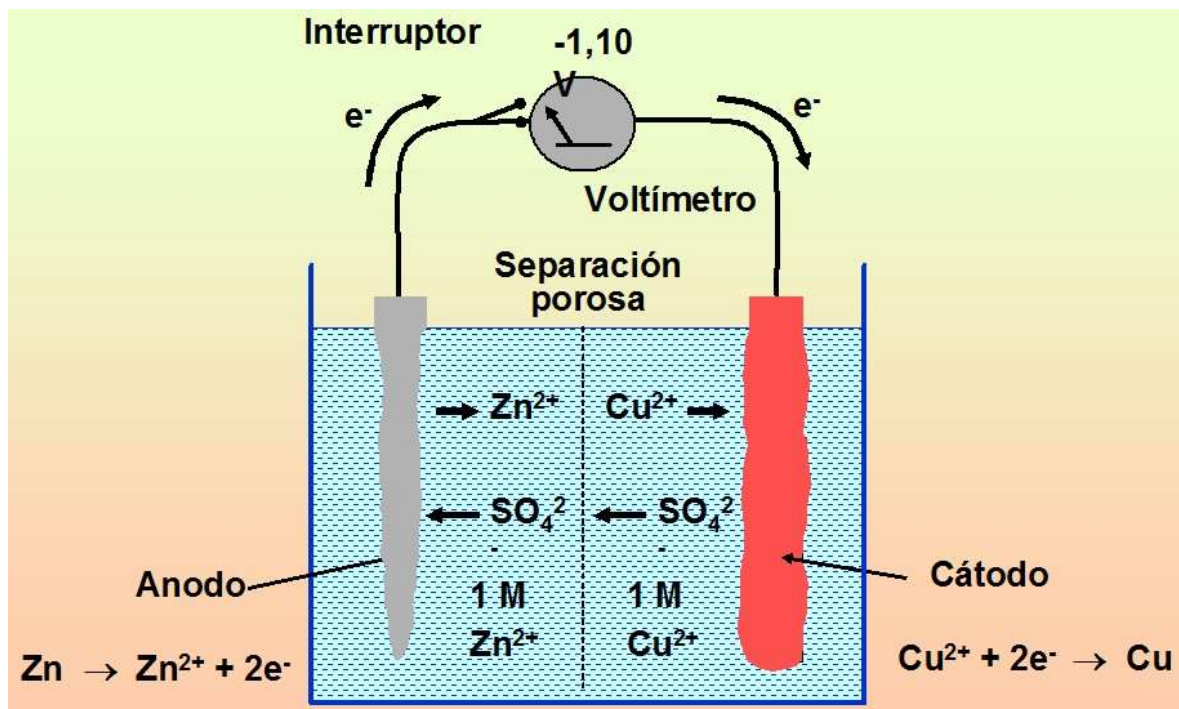


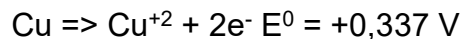
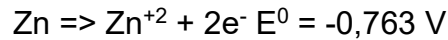
Ilustración 4 Pila macroscópica galvánica con electrodos de Zn y Cu

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

En las reacciones electroquímicas que tienen lugar en la pila galvánica para dos metales, cada uno inmerso en una disolución 1 M de sus propios iones, el electrodo que tiene el potencial de oxidación más negativo será el electrodo en el que se produce la oxidación. La reacción de reducción tendrá lugar en el electrodo de potencial más positivo. Por tanto, para la pila galvánica Zn Cu de la figura anterior, el electrodo de cinc será oxidado a iones  $Zn^{2+}$  y los iones  $Cu^{2+}$  serán reducidos a Cu en el electrodo de cobre.

Para calcular el potencial electroquímico de la pila galvánica Zn Cu se escriben las semirreacciones de oxidación para el zinc y el cobre, y se busca su valor de potencial en la tabla anterior





La semirreacción del Zn exhibe un potencial más negativo (-0,763 V contra + 0,337 V para el Cu). Por tanto, el electrodo de Zn se oxidará a iones  $\text{Zn}^{+2}$  y los iones  $\text{Cu}^{+2}$  se reducirán a Cu en el electrodo de cobre. El potencial electroquímico total se obtiene sumando el potencial de la semirreacción del cinc al potencial de semirreacción del cobre. Debe hacerse observar que el signo del potencial de oxidación de la semirreacción ha de ser cambiado a la polaridad opuesta cuando la semirreacción se escribe como una reacción de reducción.

En una pila galvánica, llamamos ánodo al electrodo que se oxida y cátodo al lugar donde tiene lugar la reducción. En el ánodo se producen electrones e iones metálicos y como los electrones permanecen en el electrodo metálico, al ánodo se le asigna polaridad negativa. En el cátodo se consumen electrones por lo que se le asigna polaridad positiva.

#### 4.7.2.4 Pilas Galvánicas con electrolitos que no son 1M

La mayoría de los electrolitos de las pilas galvánicas de corrosión reales no son 1M sino que normalmente se trata de soluciones diluidas con concentraciones menores de 1M. Si la concentración de los iones de un electrolito que rodea el ánodo es menor de 1M, la fuerza conductora de la reacción para disolver u oxidar al ánodo es mayor ya que hay menor concentración de iones para provocar la reacción inversa.

El efecto de la concentración del ion metálico  $C_{\text{ion}}$  sobre el potencial estándar  $E^0$  a 25°C viene dado por la *ecuación de Nernst*. Lo que es lo mismo, el proceso de corrosión por diferenciación de composición está promovido por la diferencia de energía libre en la formación AG de las especies degradadas. Un indicador de ésta es la diferencia de potencial, E, medido, de forma estática, sin circular corriente. En efecto, se cumple en general:

$$AG = - E \cdot n \cdot F$$

Siendo n el número de electrones liberados por átomo, F constante de Faraday = 96500 culombios/equivalente gramo.

La medición de E se hace por métodos empíricos. El modelo de Nerst reproduce la correlación entre E y las actividades, a, de los productos y los reactantes. La actividad de una sustancia disuelta, a, viene definida por:

$$a_i = m_i \cdot C_i$$

Siendo m = molalidad (moles/1000 gramos de agua), y,  $C_i$  = Coeficiente de actividad

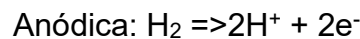
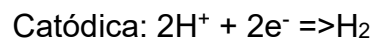
Para la reacción general,



la ecuación de Nerst es:

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_q a_r}{a_l a_m}$$

Esto nos permite calcular el AG para cada fase metálica (Me) en comparación con un elemento tomado como referencia. Este elemento de referencia es el hidrógeno en su reacción, bien catódica o anódica, de medio ácido.

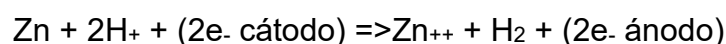


Si realizamos el montaje de la figura 2 con el electrodo de hidrógeno, que puede realizar las reacciones citada para electrolito ácido, y en el otro electrodo el metal o fase cuyo potencial de corrosión deseamos investigar.

Supuesto el zinc tendríamos:



Supongamos reacción anódica en el metal y catódica en el  $\text{H}_2$ . Tendremos la reacción total:



lo que significa que los dos electrones, por átomos, liberados en el ánodo han sido conducidos por el conductor y consumidos en el cátodo. La ecuación de Nerst es:

$$E = E_{\text{Zn}}^0 - E_{\text{H}_2}^0 - \frac{RT}{2F} \ln \frac{(\text{Zn}^{++})}{(\text{H}^+)^2}$$

Siendo ( $Zn^{++}$ ) y ( $H^+$ ) las actividades de los aniones  $Zn^{++}$  a  $H^+$ , puesto que las actividades del Zn y  $H_2$  son la unidad. Si hacemos la medición con una solución con  $(Zn^{++}) = (H^+) = 1$  y convenimos que en el electrodo de referencia  $E^0_{H_2} = 0$  tendremos  $E = E^0_{Zn}$ , lo que indica la tendencia a la corrosión del zinc frente al electrodo de hidrógeno en condiciones normales de actividades iónicas. En efecto, en nuestro caso  $E^0_{Zn} = 0,763$  V, lo que determina:

$$AG = - 0.763 \cdot 2 \cdot F,$$

Que por ser negativo define al zinc como anódico frente al hidrógeno. La ecuación de Nernst simplificada en la semirreacción anódica en la que solo se produce una clase de iones es:

$$E = E^0 + 0,592/n \log C_{ion}$$

Donde E = Nueva fem de la semipila

$E^0$  = fem estándar de la semipila

n = Número de electrones transferidos

$C_{ion}$  = Concentración molar de iones

Cambiamos el signo de la f.e.m final si se trata de la reacción catódica. En definitiva, los requisitos básicos para que suceda un proceso de corrosión es la existencia de:

a) Dos metales con diferente energía libre en la formación de sus estados catiónicos.

1. El metal de mayor variación de energía libre constituye el ánodo, se degradará produciéndose la reacción anódica de cesión de electrones.



2. El metal de menor variación de energía libre constituirá el cátodo y no se degradará, pero debe albergar la reacción catódica, absorción de los electrones cedidos por el ánodo. Citamos algunas de los que pueden acontecer en el cátodo.

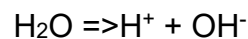
En medio ácido,  $\text{pH} < 7$ ;  $\text{H}^+ + \text{e}^- \Rightarrow 1/2 \text{H}_2$

En medio básico  $\text{pH} > 7$ ;  $2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \Rightarrow 4 \text{OH}^-$

Deposición de metales;  $\text{Me}^{n+} + n \text{e}^- \Rightarrow \text{Me}$

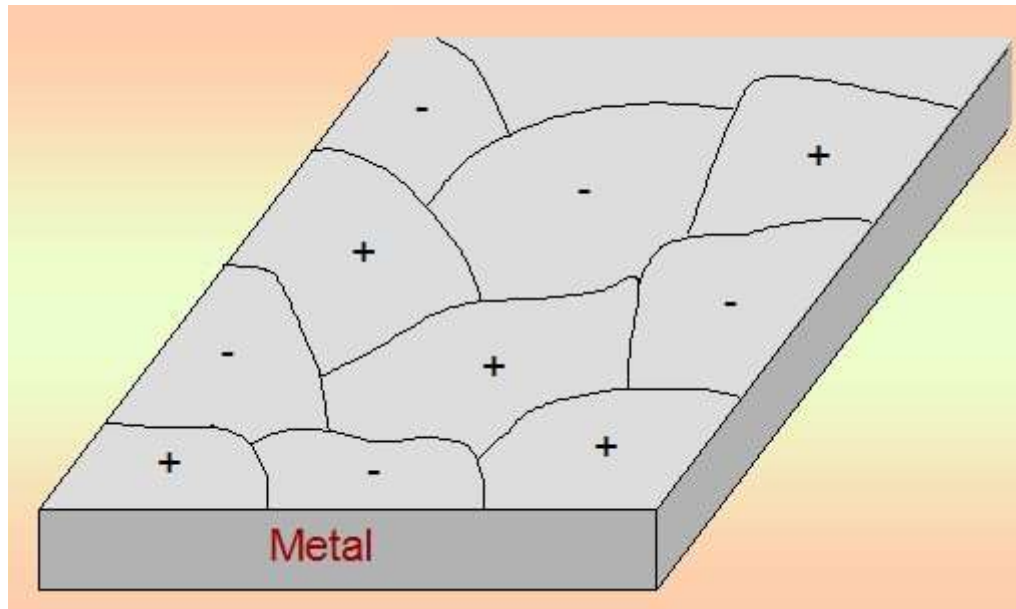
- b) **Un electrolito**, conductor eléctrico líquido, que contiene los elementos identificadores del medio corrosivo.

El agua por sí misma ya se constituye en electrolito, merced a su disociación.



Sin embargo, por lo general, está potenciada por las sustancias disueltas que constituyen el medio corrosivo.

- c) Una conexión exterior, conductora eléctricamente entre ánodo y cátodo. Si se elimina cualquier parte descrita a, b ó c, desaparece el problema de la corrosión. Sin embargo, no es difícil encontrarse con montajes similares al descrito en cualquier instalación industrial. El ejemplo de la figura posterior es el caso de una tubería que en servicio cumple con estas condiciones expuestas.



*Ilustración 5 Ejemplo de micropila en la microestructura.*

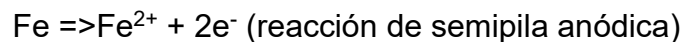
*[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)*

#### 4.7.2.5 Pilas galvánicas sin iones metálicos presentes

Consideremos una pila galvánica en la que los electrodos de hierro y cobre están inmersos en una disolución acuosa de electrolito ácido en la que inicialmente no existen iones metálicos.

El potencial estándar de oxidación del electrodo de hierro es -0,440 V y del cobre es +0.337 V.

Por tanto, en este par el hierro será el ánodo y el oxidante pues tiene el potencial de oxidación más negativo. La semirreacción en el ánodo de hierro será

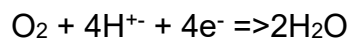


Ya que en el electrolito no hay iones cobre que puedan ser reducidos a átomos de cobre en la reacción catódica, los iones hidrogeno en la disolución ácida serán reducidos a átomos de hidrógeno y consecuentemente se combinarán para formar moléculas diatómicas de hidrogeno gas (H<sub>2</sub>).

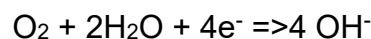
La reacción total en el cátodo será, por tanto:



Además, si el electrolito también contiene un agente oxidante, la reacción catódica se convertirá en:



Si el electrolito es neutro o básico y se encuentra presente en el oxígeno, las moléculas de oxígeno y agua reaccionarán para formar iones hidroxilo y la reacción en el cátodo será:



La ilustración 6 muestra las cuatro reacciones más comunes que tienen lugar en las pilas galvánicas con disoluciones acuosas.

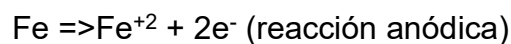
Reacción del cátodo	Ejemplo
1. Deposición metálica: $M^{n+} + ne^{-} \rightarrow M$	Pareja galvánica Fe-Cu en solución acuosa con iones $Cu^{2+}$ ; $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$
2. Desprendimiento de hidrógeno: $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$	Pareja galvánica Fe-Cu en solución ácida sin la presencia de iones cobre.
3. Reducción de oxígeno: (soluciones ácidas) $O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$	Pareja galvánica Fe-Cu en solución ácida oxidante sin la presencia de iones cobre.
4. Reducción de oxígeno: (soluciones neutras o básicas) $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$	Pareja galvánica Fe-Cu en solución alcalina o neutra sin la presencia de iones cobre.

*Ilustración 6 Reacciones típicas de pilas galvánicas en disoluciones acuosas.*

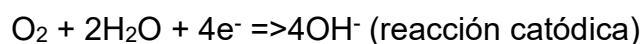
[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

#### 4.7.2.6 Corrosión por celda galvánica microscópica de electrodos sencillos

Una reacción de electrodo sencillo lo constituye la herrumbre del hierro. Si sumergimos una pieza de hierro en agua con oxígeno disuelto se formará en su superficie óxido de hierro (III),  $Fe(OH)_3$ . La reacción de oxidación que ocurrirá en los ánodos locales microscópicos es:



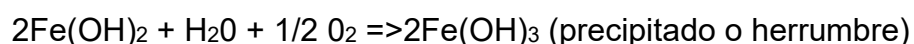
Como el hierro está sumergido en agua neutra que está oxigenada, la reacción de reducción que se produce en los cátodos locales es:



La reacción global se obtiene sumando las dos reacciones para dar:



El hidróxido ferroso,  $Fe(OH)_2$ , precipita de la solución ya que este compuesto es insoluble en soluciones acuosas oxigenadas. Más tarde es oxidado a hidróxido férrico,  $Fe(OH)_3$ , que tiene el color marrón rojizo de la herrumbre. La reacción de oxidación de hidróxido ferroso a férrico es:



#### 4.7.2.7 Pilas galvánicas de concentración

**a) Celdas de concentración iónica.** Consideremos una celda de concentración iónica formada por dos electrodos de hierro, uno inmerso en un electrolito de  $Fe^{+2}$  diluido y el otro en un electrolito concentrado del mismo ion. En esta celda

galvánica el electrodo en el electrolito diluido será el ánodo, ya que de acuerdo con la ecuación de Nernst, este electrodo tendrá un potencial más negativo con respecto al otro.

Comparemos el potencial de la semipila para un electrodo de hierro sumergido en un electrolito diluido de  $\text{Fe}^{+2}$ , 0,001 M con el potencial de semipila para otro electrodo de hierro inmerso también en un electrolito diluido de  $\text{Fe}^{+2}$  pero más concentrado, 0,01 M. La ecuación general de Nernst para una semirreacción de oxidación para  $\text{Fe} = \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$ , como  $n = 2$ , es:

$$E_{\text{Fe}^{+2}} = E^0 + 0,0296 \log C_{\text{ion}}$$

Para una solución 0,001 M:

$$E_{\text{Fe}^{+2}} = -0,440 \text{ V} + 0,0296 \log 0,001 = -0,529 \text{ V}$$

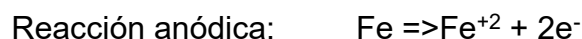
Para una solución 0,01 M:

$$E_{\text{Fe}^{+2}} = -0,440 \text{ V} + 0,0296 \log 0,01 = -0,499 \text{ V}$$

Como -0,529 V es un valor más negativo que -0,499 V, el electrodo de hierro en la solución más diluida será el ánodo, se oxida y se corroe. Dicho de otro modo, la celda de concentración iónica produce corrosión en la región del electrolito más diluido.

**b) Celdas de concentración de oxígeno.** Se puede desarrollar celdas de concentración de oxígeno cuando existe una diferencia en la concentración de oxígeno en la superficie húmeda de un metal que puede ser oxidado. Las celdas de concentración de oxígeno son particularmente importantes en la corrosión de metales fácilmente oxidados tales como hierro porque no forman películas de óxido protectoras.

Consideremos una celda de concentración de oxígeno formada por dos electrodos de hierro, uno en un electrolito acuoso con una baja concentración de oxígeno y otro en un electrolito con una alta concentración de oxígeno. Las reacciones anódica y catódica para esta celda son:



¿Qué electrodo es el ánodo en esta celda? Como la reacción catódica requiere oxígeno y electrones, la concentración más alta de oxígeno estará en el cátodo. También, puesto que los electrones son requeridos por el cátodo, deberán ser producidos por el ánodo que tendrá la concentración de oxígeno más baja. Por tanto, y con carácter general para celdas de concentración de oxígeno, las zonas que son pobres en oxígeno anodizarán a las regiones catódicas ricas en oxígeno. En consecuencia, la corrosión se acelerará en las zonas de la superficie del metal donde el contenido de oxígeno es relativamente bajo, tal como roturas y resquicios y bajo acumulaciones de depósitos en la superficie.

#### **4.7.2.8 Pilas galvánicas formadas en metales y aleaciones**

Con mayor generalización nos encontramos con estos requisitos básicos a nivel microestructural, dando lugar a la existencia de micropilas de acción local. En efecto, es habitual encontrarse con superficies metálicas macroscópicamente homogéneas bañadas por un medio acuoso corrosivo, sobre el que podría suceder un ataque químico uniforme. Sin embargo, el ataque se concentra en determinados puntos haciendo el deterioro mucho más peligroso. Estamos ante un caso de corrosión localizada en las zonas que se constituyen en ánodos. Esto sucede por la heterogeneidad de composición o estructuras que existen a nivel microestructural. La figura 4 mostraba un esquema de esta microestructura donde pueden encontrarse diversidad de heterogeneidades de composición superficiales. Entre ellas citamos:

- Bordes de grano.
- Segregación dendrítica.
- Inclusiones intermetálicas.
- Eutectoides o eutécticos.
- Precipitados en dislocaciones o bordes, etc.

Cada heterogeneidad tiene diferentes variaciones de energía libre en su degradación a hidróxidos. Así la micropila queda definida entre las dos fases diferenciadas de la microestructura, con la existencia del ánodo (borde de grano), cátodo (grano), electrolito (medio corrosivo), y conducción eléctrica (interior del



metal).

En base a lo expuesto anteriormente podemos establecer distintas celdas galvánicas:

**a) Pilas galvánicas creadas por diferencias de composición, estructura y tensión**

Está constatada la existencia de células galvánicas microscópicas en metales o aleaciones debido a diferencias en su composición, estructura y concentración de tensiones. Los citados factores metalúrgicos pueden afectar seriamente la resistencia a la corrosión de un metal o aleación toda vez que crean zonas anódicas y catódicas de dimensiones variables susceptibles de originar celdas galvánicas de corrosión.

**b) Pilas electroquímicas por fronteras intergranulares**

En muchos metales y aleaciones las fronteras intergranulares son más activas químicamente (anódicas) que la propia matriz granular. Por consiguiente, las fronteras intergranulares son corroídas o químicamente atacadas, como ilustra la figura 5. La razón para el comportamiento anódico de las fronteras intergranulares es que tienen más altas energías debido a la desorganización atómica en esa área y también a causa de la segregación del soluto y la migración de impurezas hacia las fronteras intergranulares

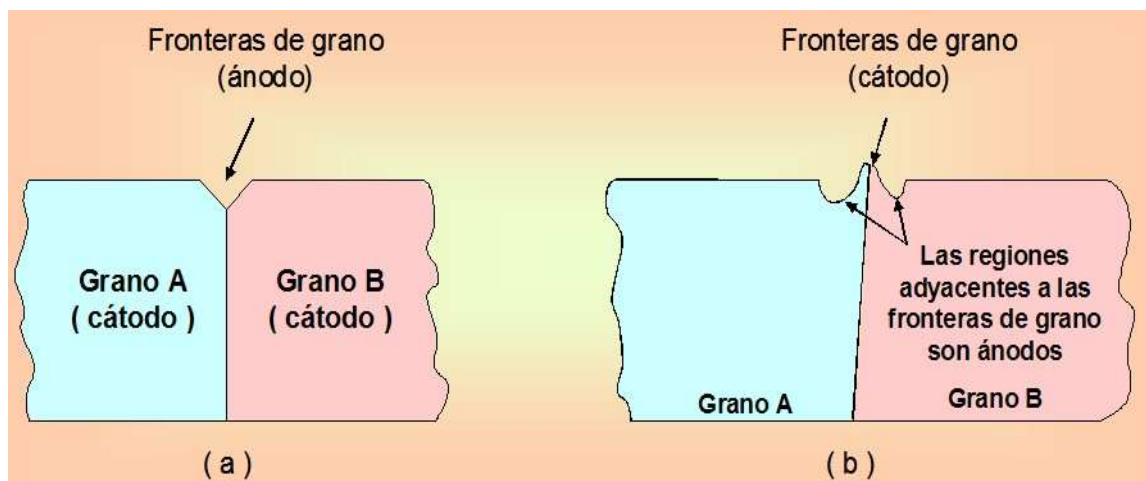


Ilustración 7 a) Corrosión en o b) cerca de las fronteras de grano.

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

Para algunas aleaciones la situación se invierte y la segregación química da lugar a que las fronteras intergranulares se hagan más nobles o catódicas que las regiones adyacentes a las fronteras intergranulares. Esta situación provoca que las regiones adyacentes a los límites de grano se corroan preferentemente.

### **c) Pilas electroquímicas multifase.**

En muchos casos la aleación monofásica tiene mayor resistencia a la corrosión que una aleación de fase múltiple puesto que en la aleación multifásica se crean celdas electroquímicas debido a que una fase convierte en anódica a la otra que actúa como cátodo. De ahí que las velocidades de corrosión sean mayores para la aleación multifase.

Un ejemplo clásico de corrosión galvánica multifase es el que puede darse en hierro fundido gris ferrítico. La microestructura de la fundición gris perlítica consta de hojuelas de grafito en una matriz perlítica. Como quiera que el grafito es mucho más catódico (más noble) que la matriz perlítica circundante, se crean celdas galvánicas altamente activas entre las hojuelas de grafito y la matriz perlítica anódica. En un caso extremo de corrosión galvánica de una fundición gris perlítica la matriz puede corroerse en una extensión tal que la fundición termina quedando como una red de hojuelas de grafito interconectadas.

Otro ejemplo del efecto de segundas fases en reducir la resistencia a la corrosión de una aleación es el efecto del revenido sobre la resistencia a la corrosión de un acero de 0,95 por 100 de carbono. Cuando este acero está en la condición martensítica después del templado desde la fase austenítica, su índice de corrosión es relativamente bajo, debido a que la martensita es una solución sólida supersaturada monofásica de carbono en posiciones intersticiales de una red de hierro tetragonal centrada en el cuerpo. Después de revenido en el rango de 200 a 500°C se forma un precipitado fino de carburo épsilon y cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Esta estructura bifásica se establece en las celdas galvánicas y acelera la velocidad de corrosión del acero.

### **d) Pilas electroquímicas por impurezas**

Las impurezas en un metal o aleación pueden conducir a la precipitación de fases intermetálicas que poseen diferentes potenciales de oxidación que la matriz del

metal. Así se crean regiones anódicas o catódicas muy pequeñas que pueden conducir a corrosión galvánica cuando se acoplan con la matriz metálica. Con metales más puros se obtiene una resistencia más alta a la corrosión. Sin embargo, la mayor parte de metales y aleaciones empleadas en Ingeniería contienen un cierto nivel de elementos como impurezas, ya que cuesta demasiado eliminarlos.

#### **4.7.3. La serie electroquímica.**

La definición de  $E^0$  para cada uno de los metales y fases permite establecer una primera aproximación de la tendencia a constituirse en ánodo, corrosión, o en cátodo, reducción, de los dos metales que están constituyendo una micro o macropila de corrosión. La ilustración 1 refiere estas  $E^0$  potenciales normales de oxidación que constituyen la serie electroquímica con el electrodo normal de hidrógeno como origen  $E^0 = 0$ . Con esto se puede predecir en primera aproximación cuál de los dos metales constituyente de la micro o macropila será el ánodo, se corroerá. Corresponderá esta función a aquel que tenga mayor potencial normal de oxidación  $E^0$ .

En ocasiones se refiere la serie electroquímica al potencial normal de reducción, iguales, pero de signo contrario a los de oxidación. En este supuesto la función de ánodo será la de menor potencial de reducción  $E^0$ .

#### **4.7.4. La serie galvánica.**

La tendencia a la corrosión de un metal mostrada por la serie electroquímica puede alterarse por causa de no cumplirse las condiciones que se impusieron para su definición. Entre ellas citamos:

1. Actividades normales de los iones metálicos.
2. Naturaleza diferenciada del electrolito.
3. Temperatura constante en el electrolito.
4. Oxigenación constante en el electrolito.

Si se experimentan en un medio corrosivo dado y con las actividades iónicas características llegamos a la medición de unos potenciales  $E$  de

oxidación, diferentes a los  $E^0$  electroquímicos, que constituyen lo que se denominan series galvánicas en un medio dado. La tabla 3 refiere la serie galvánica en agua de mar en sentido correlativo desde los metales más activos a los más nobles, en el sentido de la oxidación.

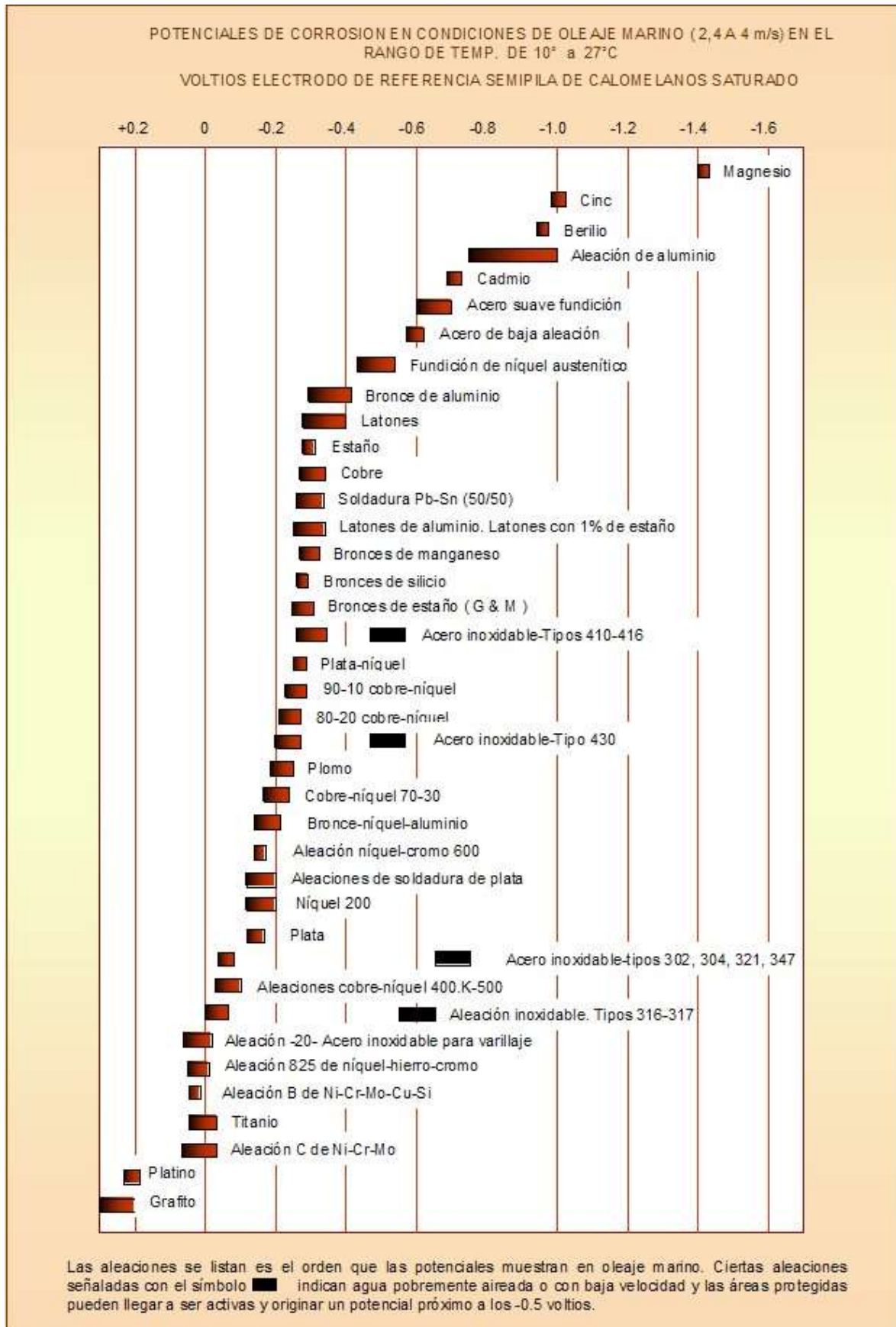


Ilustración 8 Serie galvánica en agua de mar.

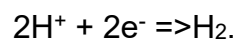
[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_2.html)

#### 4.7.5. Causas de la polarización

Las causas de la polarización pueden ser muy diferentes según los metales que sufren corrosión y los electrolitos. En cualquier caso, se corresponden con las cinéticas características de las reacciones anódicas o catódicas. Citamos algunas de ellas:

##### A). Polarización por concentración

La polarización por concentración se asocia con las reacciones electroquímicas que son controladas por la difusión de iones en el electrolito. Este tipo de polarización se ilustra considerando la difusión de los iones hidrógeno hasta la superficie del metal para formar hidrógeno gas en la reacción catódica



En la polarización por concentración cualquier cambio en el sistema que haga aumentar la velocidad de difusión de los iones en el electrolito hará disminuir los efectos de la polarización por concentración y hará que aumente la velocidad de corrosión. De este modo la movilidad del electrolito hará disminuir el gradiente de concentración de los iones positivos y determinará un aumento de la velocidad de reacción. Aumentando la temperatura podremos aumentar la velocidad de difusión de los iones y por consiguiente aumentaremos la velocidad de reacción. Por ejemplo, si se coloca cobre como cátodo en una solución diluida de  $\text{SO}_4\text{Cu}$  con actividad del ión cúprico,  $\text{Cu}^{+2}$ , tenemos un potencial de oxidación E:

$$E_1 = - 0.337 - 0.0592/2 \log (\text{Cu}^{+2})$$

Cuando fluye la corriente se deposita Cu, y disminuye la concentración hasta una actividad  $(\text{Cu}^{+2})_s$  menor. En este caso el potencial E es menos noble, correspondiéndole una polarización  $E_2 - E_1$  representada por el modelo:

$$E_2 - E_1 = ( R T/n F ) \ln i_L/(i_L - i)$$

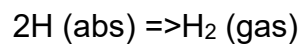
Siendo  $i_L$  un valor límite de densidad de corriente.

Cuando la polarización se produce en su mayor parte en el ánodo, la velocidad de corrosión se dice que está controlada anódicamente y cuando ocurre mayoritariamente en el cátodo se dice que está controlada catódicamente.

##### B). Polarización por activación

La polarización por activación se refiere a reacciones electroquímicas que están controladas por una etapa lenta dentro de la secuencia de etapas de reacción en la interfase electrolito metal. Es decir, existe una energía de activación crítica necesaria para remontar la barrera de energía asociada con la etapa más lenta.

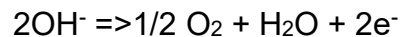
Este tipo de energía de activación queda ejemplificada considerando la reducción del hidrógeno catódico en la superficie de un metal  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \Rightarrow \text{H}_2$ , lo que se conoce como polarización por sobretensión de hidrógeno. La reacción citada puede ser rápida, pero hasta la formación de la molécula de  $\text{H}_2$  a partir de  $\text{H}$  atómico debe suceder la absorción por el electrodo y posteriormente originarse la formación de la molécula.



y siendo esta adsorción del  $\text{H}$  atómico muy lenta, incidirá en una polarización importante.

Las etapas para la formación de hidrogeno gas en el cátodo son: (1) migración de iones hidrógeno a la superficie del cinc; (2) flujo de electrones a los iones hidrogeno; (3) formación de hidrogeno atómico; (4) formación de moléculas de hidrógeno diatómicas; (5) formación de burbujas de hidrogeno gas que se liberan de la superficie del cinc. La etapa más lenta de estas etapas será la que controle la velocidad del proceso de activación por polarización.

Otro ejemplo es la reacción anódica:



Conocido como sobretensión de oxígeno.

La polarización por activación sigue la ley de Tafel, función de la densidad de corriente,  $i$ :

$$\eta = \beta \cdot \log i/i_0$$

Siendo  $\beta$  e  $i_0$  característicos de los sistemas.

#### **4.7.5.1 Fenómenos de pasivación del metal.**

Un metal activo en la serie electroquímica se considera pasivo cuando su comportamiento electroquímico llega a ser el de un metal apreciablemente menos activo o más noble.

La *pasivación* de un metal, en lo que concierne a la corrosión, tiene que ver con la formación de una capa superficial de protección de productos de reacción que inhiben reacciones posteriores. En otras palabras, la pasivación de los metales se refiere a su pérdida de reactividad química en presencia de unas condiciones ambientales particulares. Muchos metales y aleaciones importantes en ingeniería se pasivan y se vuelven muy resistentes a la corrosión en entornos oxidantes de moderados a fuertes. Ejemplos de metales y aleaciones que muestran pasividad

son el acero inoxidable, níquel y muchas aleaciones de éste, titanio, aluminio y muchas de sus aleaciones.

Cuando un metal, en un medio corrosivo específico, se le somete a un potencial de corrosión creciente, las intensidades de corrosión pueden describir lo indicado en la ilustración posterior. Después de alcanzar una intensidad crítica específica, la intensidad decrece fuertemente a la  $i$  (pasiva) lo que caracteriza el estado pasivo del metal, de bajos valores de corrosión.

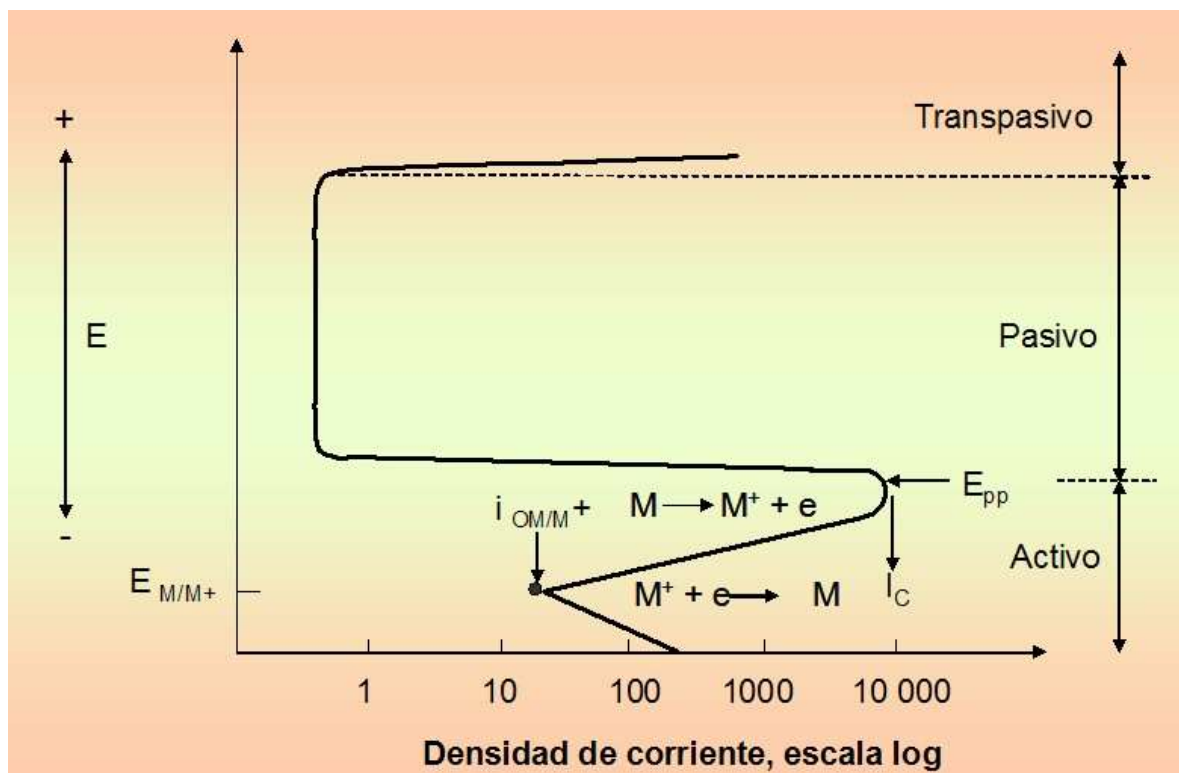


Ilustración 9 Curvas de polarización de un metal pasivo

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_3.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_3.html)

Los electrolitos pasivadores son por lo general agentes oxidantes inorgánicos; los que son capaces de crear capas de óxidos absorbidas por la superficie e impermeables al posterior ataque corrosivo.

No todos los metales o aleaciones pueden sufrir esta fuerte polarización por corrientes anódicas, teniendo sólo éstos el calificativo de pasivos.

Existen dos teorías principales respecto a la naturaleza de la película pasiva:

1) la teoría de la película de óxido;

2) la teoría de adsorción.



En la teoría de la película de óxido se defiende que la película pasiva es siempre una capa que actúa como barrera de difusión de productos de reacción (por ejemplo, óxidos metálicos u otros compuestos) separando el metal de su entorno y que disminuye la velocidad de reacción.

En la teoría de adsorción se cree que los metales pasivos son cubiertos por una película químiadsorbida de oxígeno. Se supone que tal capa desplaza las moléculas de H<sub>2</sub>O, adsorbidas normalmente, y reduce la velocidad de disolución anódica, involucrando la hidratación de los iones metálicos.

Las dos teorías tienen en común que se forma una película protectora en la superficie del metal, de modo que el grado de pasividad redonda en un aumento de la resistencia frente a la corrosión.

#### **4.7.6. Tipos de corrosión**

Los tipos de corrosión pueden clasificarse convenientemente de acuerdo con la apariencia del metal corroído. La identificación puede realizarse de muchas formas, pero todas ellas se encuentran interrelacionadas en alguna manera. Como ejemplo, podemos establecer la siguiente clasificación:

- Corrosión por deterioro uniforme o general
- Corrosión por esfuerzo
- Corrosión galvánica o entre dos metales
- Corrosión erosiva
- Corrosión por picadura
- Corrosión por grieta
- Corrosión intergranular
- Corrosión bajo tensión
- Corrosión por desgaste
- Disolución selectiva o desaleante
- Corrosión seca

#### **4.7.6.1. Corrosión de deterioro uniforme o generalizada**

La corrosión de deterioro uniforme se caracteriza por una reacción química o electroquímica que actúa uniformemente sobre toda la superficie del metal expuesto a la corrosión. Sobre una base cuantitativa, el deterioro uniforme representa la mayor destrucción de los metales, especialmente de los aceros. Sin embargo, es relativamente fácil su control mediante:

(1) Coberturas protectoras

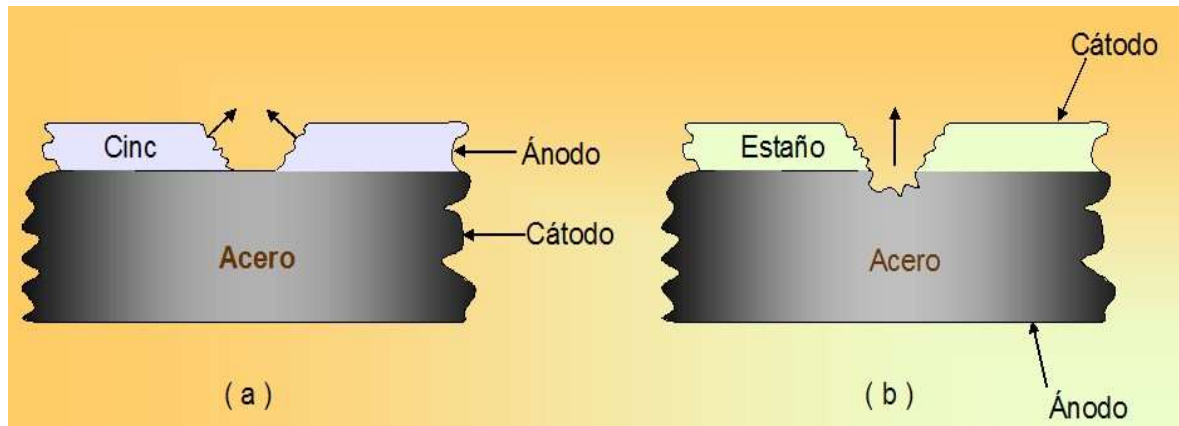
(2) Inhibidores

(3) Protección catódica

#### **4.7.6.2. Corrosión galvánica o entre dos metales**

La corrosión galvánica entre dos metales diferentes se ha discutido anteriormente. Debe tenerse cuidado al unir metales distintos porque la diferencia en sus potenciales electroquímicos puede conducir a su corrosión.

El acero galvanizado, que es acero recubierto de cinc, es un ejemplo en el que un metal (cinc) se sacrifica para proteger al otro (acero). El cinc, galvanizado por inmersión en baño en caliente o electrodepositado sobre el acero, constituye el ánodo para este último y, por tanto, se corroe protegiendo al acero que es el cátodo en esta celda galvánica, ilustración 10a. Cuando el cinc y el acero están desacoplados se corroen aproximadamente al mismo tiempo. Sin embargo, cuando están juntos el cinc se corroe en el ánodo de la pila galvánica y de esta manera protege al acero.



*Ilustración 10 Comportamiento anódico-catódico del acero con capas de cinc y estaño expuestas a la atmósfera. a) se corroe el cinc. b) Se corroe el acero.*

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

Otro ejemplo del uso de dos metales diferentes en un producto industrial es la lámina de estaño utilizada en las "latas". La mayoría de las láminas de estaño se producen por electrodeposición de una fina capa de estaño sobre el acero. La naturaleza no tóxica de las sales de estaño, hace a la lámina de estaño útil como material contenedor de alimentos. El estaño (f.e.m estándar de - 0.136 V) y el hierro (f.e.m estándar de -0,441 V) poseen un comportamiento electroquímico muy similar. Ligeros cambios en la disponibilidad del oxígeno y en las concentraciones de los iones que se forman en la superficie provocarán cambios en sus polaridades relativas. Bajo condiciones de exposiciones atmosféricas, el estaño es normalmente catódico para el acero. Por eso, si el exterior de un trozo de una lámina de estaño perforada se expone a la atmósfera, se corroerá el acero y no el estaño (ilustración 10b). Sin embargo, en ausencia del oxígeno del aire, el estaño es anódico para el acero lo que lo convierte en un material útil para contenedores de comida y bebida.

Otro efecto importante en la corrosión electroquímica es la relación del área catódica al área anódica, lo que se conoce como efecto de área. Una relación de área desfavorable es la constituida por un área catódica grande y una anódica pequeña. Con la aplicación de una cierta cantidad de corriente a una pareja metálica, por ejemplo, de electrodos de cobre y de hierro de diferentes tamaños, la densidad de corriente es mucho mayor para el electrodo más pequeño que para el más grande. Es por ello, que el electrodo anódico más pequeño se corroerá mucho más rápido, por lo que debe evitarse la relación área del cátodo grande/superficie de ánodo pequeña.

#### **4.7.6.3. Corrosión por picadura**

La picadura es una forma de ataque corrosivo localizado que produce hoyos pequeños agujeros en un metal. Este tipo de corrosión es muy destructivo para las estructuras de ingeniería si provoca perforación del metal. Sin embargo, si no existe perforación, a veces se acepta una mínima picada en los equipos de ingeniería. Frecuentemente la picadura es difícil de detectar debido a que los pequeños agujeros pueden ser tapados por los productos de la corrosión. Asimismo, el número y la profundidad de los agujeros puede variar enormemente y por eso la extensión del daño producido por la picadura puede ser difícil de evaluar. Como resultado, la picadura, debido a su naturaleza localizada, frecuentemente puede ocasionar fallos inesperados.

La picadura puede requerir meses o años para perforar una sección metálica. La picadura requiere un periodo de iniciación, pero una vez comenzada, los agujeros crecen a gran velocidad. La mayoría de estas se desarrollan y crecen en la dirección de la gravedad y sobre las superficies más bajas de los equipos de ingeniería.

Los agujeros empiezan en aquellos lugares donde se produce un aumento local de las velocidades de corrosión. Inclusiones, otras heterogeneidades estructurales y heterogeneidades en la composición sobre la superficie del metal son lugares comunes donde se inicia el agujero. Las diferencias entre las concentraciones de iones y oxígeno crean celdas de concentración que también pueden ser el origen de las perforaciones.

Se cree que la propagación de un agujero trae consigo la disolución del metal en el agujero mientras se mantiene un alto grado de acidez en el fondo del hoyo. Este proceso de propagación en un medio salino oxigenado ha sido ilustrado en la ilustración 11 para un metal ferroso.

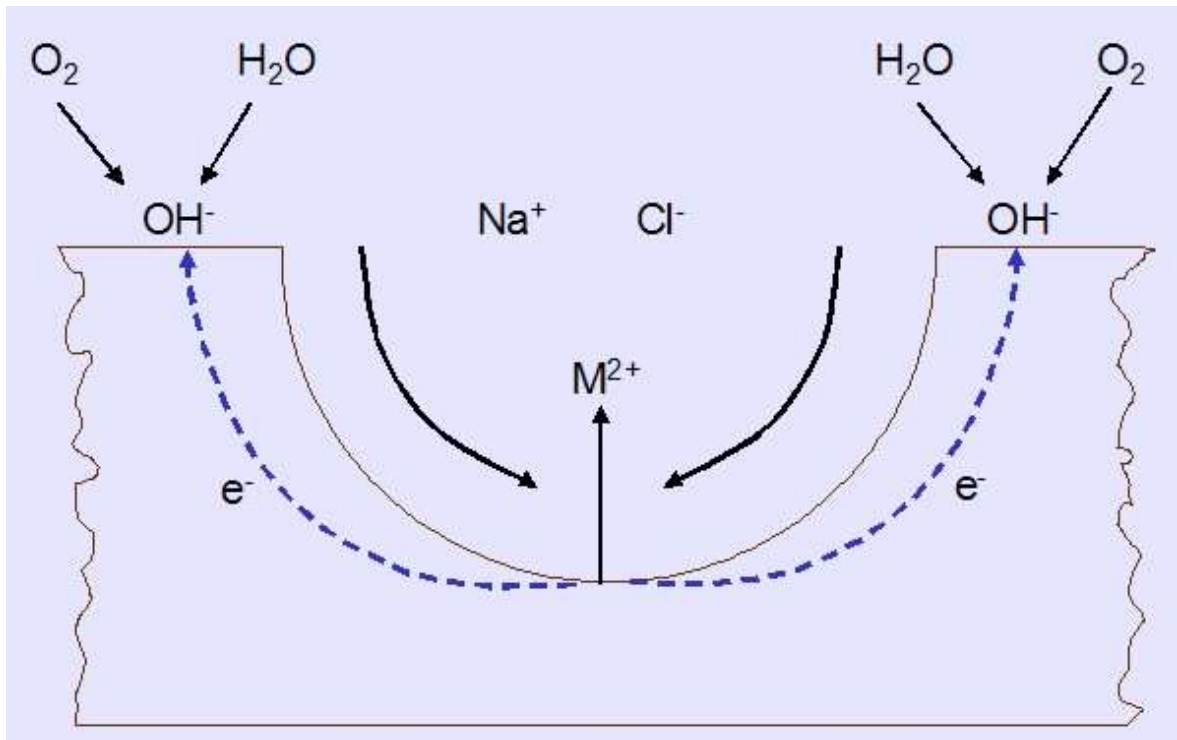
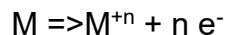


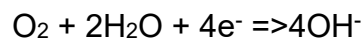
Ilustración 11 Dibujo esquemático del crecimiento de un agujero en un acero inoxidable sumergido en una solución salina aireada.

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

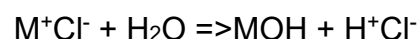
En el ánodo la reacción del metal en la parte más inferior del agujero es la siguiente:



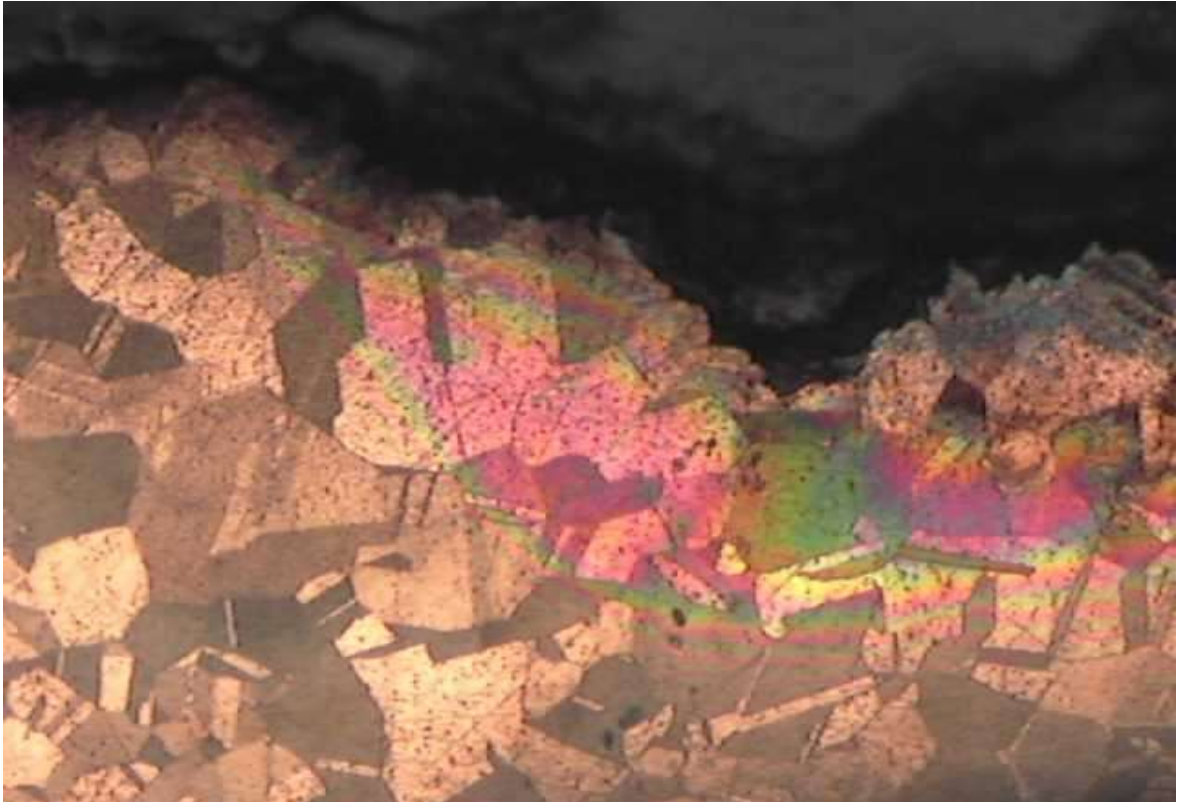
En el cátodo, la reacción se lleva a cabo en la superficie del metal que rodea al orificio, es la reacción del oxígeno con el agua y los electrones procedentes de la reacción anódica:



De este modo el metal circundante a la picadura está protegido catódicamente. La elevada concentración de iones metálicos en el hueco atrae iones cloruro para mantener neutra la carga. Entonces, el cloruro metálico reacciona con el agua para producir el hidróxido metálico y liberar el ácido de la manera siguiente:



De esta manera se acumula una alta concentración de ácido en el fondo del orificio que hace que se incremente la velocidad de reacción anódica, y el proceso global se hace autocatalítico.



*Ilustración 12 Ejemplo de picadura en un tubo de cobre electrolítico.*

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

Para prevenir la corrosión por picadura en el diseño de equipos de ingeniería, es necesario el empleo de materiales que carezcan de tendencia a la corrosión alveolar. Sin embargo, si para algunos diseños esto no es posible, entonces deberán usarse los materiales con la mayor resistencia a la corrosión. Por ejemplo, si tiene que usarse acero inoxidable en presencia de algunos iones cloruro, el tipo de aleación AISI 316, con un 2% de Mo, además de un 18% de Cr y un 8% de Ni que tiene mayor resistencia a la picadura que el tipo de aleación 304 que solo contiene el 18% de Cr y un 8% de Ni como elementos principales de aleación.

#### **4.7.6.4. Corrosión por grietas**

La corrosión por grietas es una forma de corrosión electroquímicamente localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden existir soluciones estancadas.

La corrosión por grietas tiene una reconocida importancia en ingeniería toda vez que su presencia es frecuente bajo juntas, remaches, pernos y tornillos, entre válvulas y sus asientos, bajo depósitos porosos y en muchos lugares similares. La

corrosión por grietas se produce en muchos sistemas de aleaciones como el acero inoxidable y aleaciones de titanio, aluminio y cobre.

Para que ocurra este tipo de corrosión, la grieta ha de ser lo suficientemente ancha para permitir que se introduzca líquido, pero a la vez lo bastante estrecha para mantener estancado el líquido. Por consiguiente, este tipo de corrosión se producirá más frecuentemente en aberturas de unos pocos micrómetros o menos de anchura. Las juntas fibrosas, que pueden actuar como mechas para absorber una solución electrolítica y a la vez mantenerla en contacto con la superficie metálica, son localizaciones ideales para la corrosión por grieta.

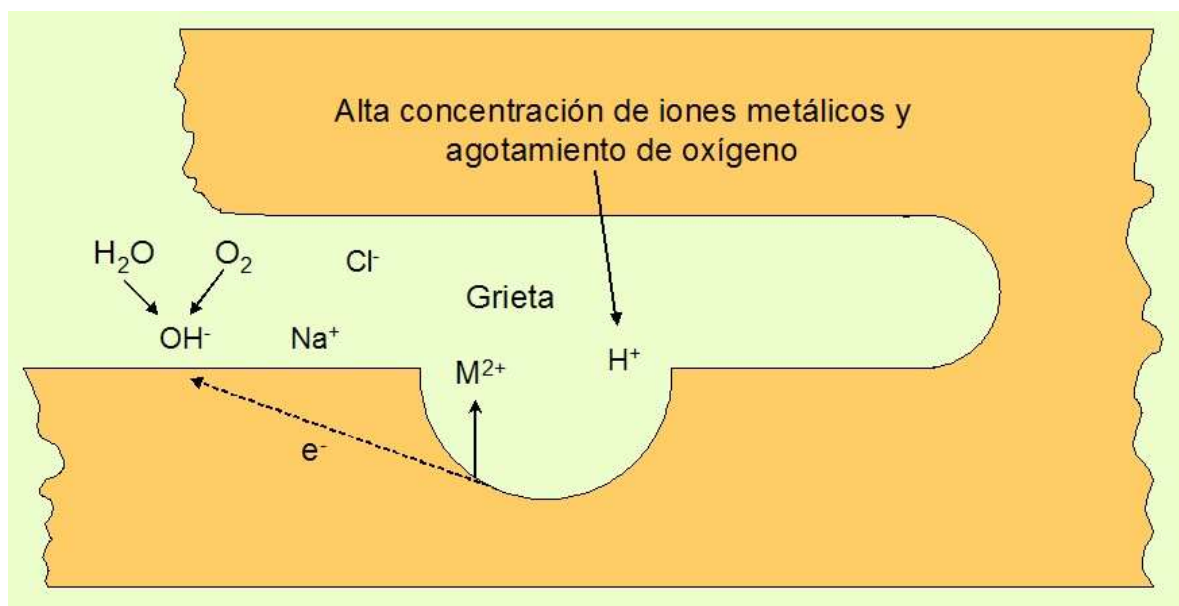
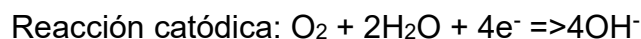


Ilustración 13 Diagrama esquemático del mecanismo de corrosión por hendidura.

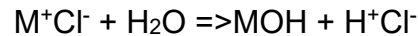
[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

Un mecanismo propuesto, ilustración 13, considera que, inicialmente, las reacciones anódica y catódica en las superficies de las grietas son:

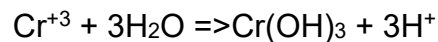


Puesto que la disolución en la grieta se encuentra estancada, el oxígeno que se necesita para la reacción catódica se gasta, pero no se reemplaza. De cualquier modo, la reacción que ocurre en el ánodo  $M \Rightarrow M^+ + e^-$  continúa produciéndose, creándose una alta concentración de iones positivos. Para contrarrestar la carga positiva, un conjunto de iones negativos, principalmente iones cloruro, migra a la

grieta, formando  $M^+Cl^-$ . El cloruro es hidrolizado por el agua, forma hidróxido metálico y libera ácido de la manera siguiente:



Esta producción de ácido disgrega la película pasiva y origina un deterioro por corrosión que es autocatalítico, como en el caso anteriormente discutido para corrosión por picadura. Para el tipo 304 (18% Cr y 8% Ni) de acero inoxidable, se sabe que la acidificación dentro de la grieta se debe con una gran probabilidad a la hidrólisis, de los iones  $Cr^{+3}$  de acuerdo con la reacción:



Puesto que sólo aparecen trazas de  $Fe^{+3}$  en la grieta.

Para prevenir o minimizar la corrosión por grieta en diseños de ingeniería, se pueden emplear los métodos y procedimientos siguientes:

1. Usar en las estructuras de ingeniería ensambles de extremos completamente soldados en lugar de otros atornillados o remachados.
2. Diseñar recipientes para drenaje completo donde puedan acumularse soluciones estancadas.
3. Usar juntas no absorbentes, tales como teflón, si es posible

#### **4.7.6.5. Corrosión intergranular**

La corrosión intergranular es un deterioro por corrosión localizada y/o adyacente a los límites de grano de una aleación. Bajo condiciones ordinarias, si un metal se corroe uniformemente, los límites de grano serán sólo ligeramente más reactivos que la matriz. Sin embargo, bajo otras condiciones, las regiones de límite de grano pueden ser muy reactivas, resultando una corrosión intergranular que origina pérdida de la resistencia de la aleación e incluso la desintegración en los bordes de grano.

Uno de los más importantes ejemplos de corrosión intergranular es la que tiene lugar en algunos aceros inoxidables austeníticos (18% Cr 8% Ni) cuando son calentados o enfriados lentamente a través del rango de temperaturas de 500 a 800°C. En este rango de temperaturas, sensibilizado, los carburos de cromo



( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) pueden precipitar en las interfases del límite de grano, como se muestra en la ilustración 14.

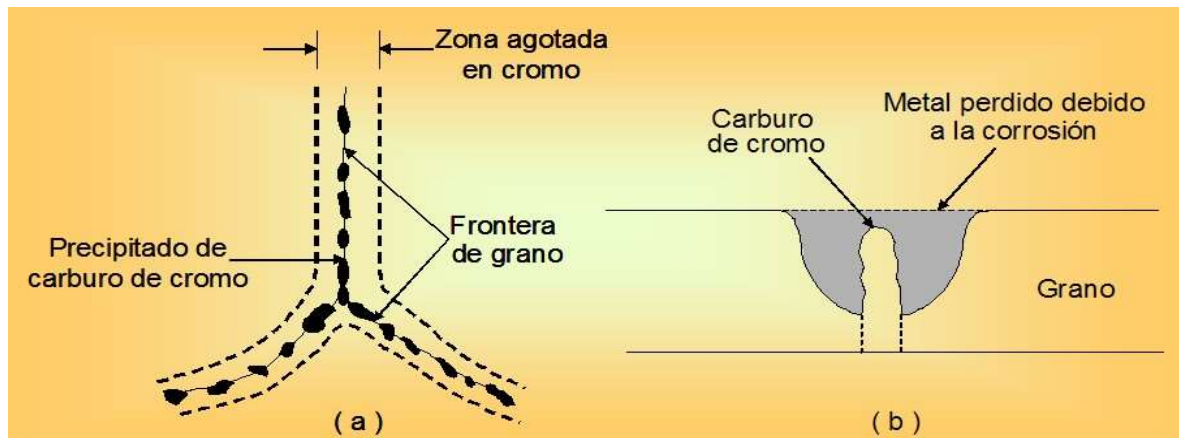


Ilustración 14 Representación esquemática de la precipitación del carburo de cromo en la frontera de grano de un acero inoxidable AISI 304 sensibilizado.

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

La corrosión intergranular del acero inoxidable austenítico puede ser controlada con los métodos siguientes:

1. Utilizando un tratamiento de calentamiento a alta temperatura, 500 a 800°C, seguido de un enfriamiento con agua, los carburos de cromo pueden ser redisueltos y volver a la solución sólida.
2. Añadiendo un elemento que pueda combinarse con el carbono del acero para que no pueda formarse el carburo de cromo. Así, se adiciona niobio y titanio en los tipos de aleación 347 y 321 respectivamente, se dice entonces que están en una condición estabilizada
3. Bajando el contenido en carbono alrededor del 0,03 por 100 en peso o menos para que no puedan precipitar cantidades significativas de carburo de cromo. El acero inoxidable tipo 304L, por ejemplo, tiene su carbono a ese nivel tan bajo.

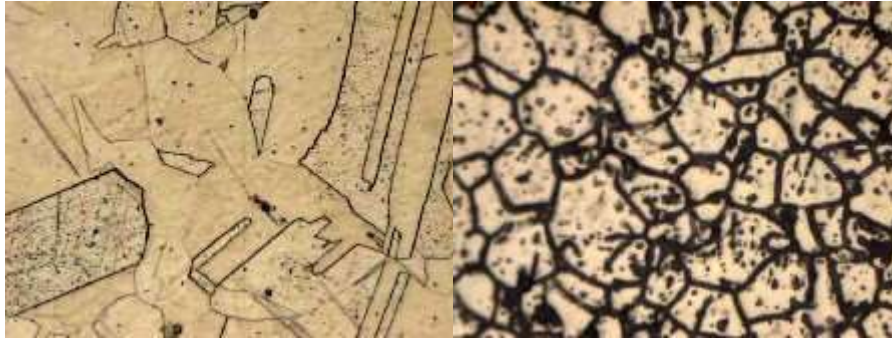


Ilustración 15 a) Microestructura del acero inoxidable AISI 304 sin sensibilizar. b) Aspecto de la corrosión intergranular tras la sensibilización del mismo.

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

#### 4.7.6.6. Corrosión bajo tensión

La rotura por corrosión por esfuerzo o bajo tensión (stress corrosion cracking SCC) de metales se refiere a la rotura originada por la combinación de efectos de tensiones intensas y corrosión específica que actúa en el entorno del metal. Durante la SCC el ataque que recibe la superficie del metal es generalmente muy pequeño mientras que las grietas aparecen claramente localizadas, y se propagan a lo largo de la sección del metal.

Material	Ambiente	Material	Ambiente
Aleación de aluminio	Disoluciones de $\text{NaCl-H}_2\text{O}_2$ Disoluciones de $\text{NaCl}$ Agua de mar Aire, vapor de agua	Aceros ordinarios	Disoluciones de $\text{NaOH}$ Disoluciones de $\text{NaOH-Na}_2\text{SiO}_3$ Disoluciones de nitratos de calcio, amonio y sodio Mezcla de ácidos ( $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-NHO}_2$ ) Disoluciones de $\text{HCN}$ Disoluciones ácidas de $\text{H}_2\text{S}$ Agua de mar Aleaciones $\text{Na-Pb}$ fundidas
Aleación de cobre	Vapores y disoluciones de amoníaco Aminas	Aceros inoxidables	Disoluciones de ácido-cloruro tales como $\text{MgCl}_2$ y $\text{BaCl}_2$ Disoluciones de $\text{NaCl-H}_2\text{O}_2$ Agua de mar $\text{H}_2\text{S}$ Disoluciones de $\text{NaOH-H}_2\text{S}$ Vapor condensado de aguas cloradas
Aleación de oro	Agua, vapor de agua Disoluciones de $\text{FeCl}_2$ Disoluciones de sales de ácido acético	Aleaciones de titanio	Ácido nítrico fumante Agua de mar $\text{N}_2\text{O}_4$ , metanol- $\text{HCl}$
Inconel	Disoluciones de sosa cáustica		
Plomo	Disoluciones de acetato de plomo		
Aleación de magnesio	Disoluciones de $\text{NaCl-K}_2\text{CrO}_2$ Ambientes rurales y costeros Agua destilada		
Monel	Sosa cáustica fundida Acido fluorhídrico Acido fluosilícico		
Níquel	Sosa cáustica fundida		

Ilustración 16 Situaciones que pueden originar corrosión bajo tensión en metales y aleaciones.

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

Los esfuerzos residuales que dan lugar a la SCC pueden ser resultado, por ejemplo, de esfuerzos térmicos introducidos por tasas desiguales de enfriamiento, de un diseño mecánico defectuoso para esfuerzos, de transformaciones de fase durante el tratamiento térmico durante el trabajo en frío, o durante la soldadura. Sólo ciertas combinaciones de aleaciones y ambientes son susceptibles de la SCC. La ilustración anterior recoge algunos sistemas de aleación ambientes en los cuales tiene lugar la SCC. No parece haber un modelo general para los ambientes en los que se produce la SCC en las aleaciones. Por ejemplo, los aceros inoxidable quiebran en atmósferas de cloro, pero no en las que contienen amoníaco. Por el contrario, los latones (aleación Cu Zn) quiebran en atmósferas que tienen cloro. Nuevas combinaciones de aleaciones y ambientes que originan la SCC están siendo descubiertas continuamente.

#### **4.7.6.7. Corrosión erosiva**

La corrosión erosiva puede ser definida como la aceleración en la velocidad de ataque corrosivo al metal debida al movimiento relativo de un fluido corrosivo y una superficie del metal. Cuando el movimiento relativo del fluido corrosivo es rápido, los efectos del desgaste mecánico y abrasión pueden ser severos. La corrosión erosiva está caracterizada por la aparición en la superficie del metal de surcos, valles, hoyos, agujeros redondeados y otras configuraciones dañinas de la superficie del metal, las cuales generalmente se presentan en la dirección de avance del fluido corrosivo.

#### **4.7.6.8. Daño por cavitación**

Este tipo de corrosión es causado por la formación e implosión de burbujas de aire o cavidades llenas de vapor, en un líquido que se encuentra cerca de la superficie metálica. La cavitación ocurre en la superficie de un metal donde el líquido fluye a gran velocidad y existen cambios de presión, como por ejemplo en impulsores de bomba y propulsores de barco. Cuando suceden numerosas implosiones puede hacerse un daño considerable a la superficie del metal. Separando las películas superficiales y arrancando partículas de metal de la superficie, la cavitación puede incrementar la velocidad de corrosión y originar desgastes superficiales.

#### **4.7.6.9. Corrosión por desgaste (frotamiento)**

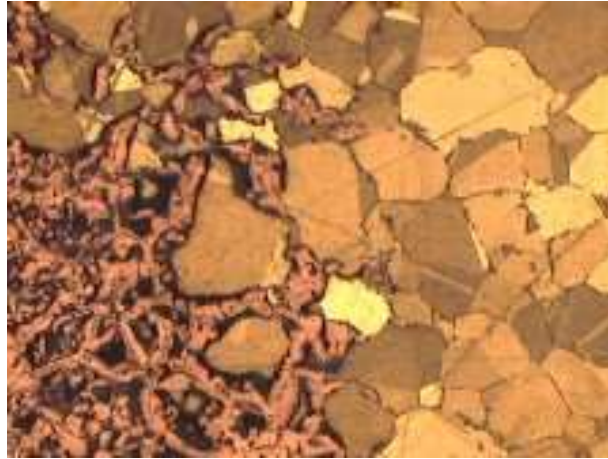
Este tipo de corrosión tiene lugar en las interfases entre materiales bajo carga, es decir en servicio, sometidos a vibración y deslizamiento. La corrosión por desgaste aparece como surcos u hoyos rodeados de productos de corrosión. En el caso de la corrosión por desgaste de metales, se observa que los fragmentos de metal entre las superficies rozadas están oxidados y algunas capas de óxido se encuentran disgregadas por la acción del desgaste. Como resultado, se produce una acumulación de partículas de óxido que actúan como un abrasivo entre superficies con un ajuste forzado, tales como las que se encuentran entre ejes y cojinetes o mangas.

#### **4.7.6.10. Corrosión selectiva o desaleante**

La disolución selectiva es la eliminación preferencial de un elemento de una aleación sólida por procesos corrosivos. El ejemplo más común de este tipo de corrosión es la descincificación que tiene lugar en los latones, consistente en la eliminación selectiva del cinc que está aleado con cobre. Procesos similares también ocurren en otras aleaciones, como la pérdida observable de níquel, estaño y cromo de las aleaciones de cobre; de hierro en hierro fundido, de níquel en aceros y de cobalto en las stellitas.

Por ejemplo, en la descincificación de latón con 70% de Cu y 30% de Zn, el cinc se elimina preferentemente del latón, dejando una matriz esponjosa y débil, ilustración 17. El mecanismo de descincificación del cobre involucra las tres etapas siguientes:

- 1) Disolución del latón.
- 2) Permanencia de los iones cinc en la disolución.
- 3) Electrodeposición del cobre en solución sobre el latón.



*Ilustración 17 Ejemplo de la descincificación del latón.*

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_4.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_4.html)

#### **4.7.7 Factores que favorecen la corrosión:**

##### **4.7.7.1 Oxígeno**

El oxígeno disuelto es el agente oxidante por excelencia, la velocidad de la corrosión será más elevada en los aceros cuanto más cantidad de oxígeno tengamos.

##### **4.7.7.2 Temperatura**

En principio a mayor temperatura, mayor velocidad de corrosión, sin embargo, en las aguas tropicales debido a la enorme cantidad de organismos marinos, la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se reduce, amortiguando de esta forma la velocidad de la corrosión.

##### **4.7.7.3 Velocidad**

El movimiento del agua afecta al transporte de oxígeno disuelto a las zonas catódicas y elimina los productos de corrosión con lo que el proceso de la corrosión aumenta mucho, al aumentar la velocidad, aumenta la probabilidad de que aparezcan fenómenos de la corrosión-erosión por turbulencias que aceleran los procesos de corrosión.

##### **4.7.7.4 Cloruros**

Un alto contenido de cloruros puede bajar el potencial del metal y de esta forma incrementar la reacción de corrosión.

#### **4.7.8. Control de la corrosión**

En las situaciones prácticas más importantes, la degradación no puede ser totalmente eliminada, pero al menos puede ser controlada, consiguiendo la vida en servicio prevista.

Existen tres etapas muy significativas para la definición del tiempo de vida de un componente: el diseño, la construcción y el uso. La información conseguida a través del comportamiento del componente debe aportar la experiencia que permita conseguir el tiempo de servicio planificado.

En situaciones prácticas la corrosión no puede ser eliminada como tampoco las tensiones. Desde el punto de vista tensional es conveniente reducir en lo posible su nivel de las tensiones axiales, lo que se consigue:

- Eliminando concentradores de tensiones.

- Con tratamientos superficiales que introduzcan el pretensionado de compresión.

Desde el punto de vista de corrosión los métodos genéricos para su prevención están en las líneas de:

- 1 - Modificación del diseño.
- 2 - Modificación del medio.
- 3 - Selección de materiales.
- 4 - Protecciones anódicas.
- 5 - Protecciones catódicas.
- 6 - Aplicación de capas de protección: Recubrimientos.

La corrosión puede ser controlada o prevenida por métodos muy diferentes. Desde un punto de vista industrial, los aspectos económicos de la situación son normalmente los decisivos respecto al método a elegir. Por ejemplo, un ingeniero debe determinar si es más económico reemplazar periódicamente determinado equipamiento o fabricarlo con materiales que sean altamente resistentes a la

corrosión, pero más caros, de tal forma que duren más. Algunos de los métodos más comunes de control o prevención de la corrosión se muestran en la figura 18.



*Ilustración 18 Métodos comunes de control de corrosión.*

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_5.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_5.html)

#### 4.7.8.1 Modificación del diseño

En ingeniería un diseño adecuado de un equipamiento resulta importante tanto para prevenir la corrosión como para seleccionar los materiales adecuados. Se deben considerar los materiales teniendo en cuenta los requerimientos mecánicos, electrónicos y térmicos necesarios y adecuados. Todas estas consideraciones deben sopesarse con las limitaciones económicas. En el diseño de un sistema, la aparición de problemas específicos de corrosión puede requerir la consulta a expertos en la materia. Sin embargo, algunas reglas generales de diseño, como las siguientes, deben ser tenidas en cuenta:

1. Se ha de tener en cuenta la acción penetrante de la corrosión junto con los requerimientos de tensión mecánica cuando se considere el espesor del metal utilizado. Esto es especialmente importante para las tuberías y tanques que contengan líquidos.
2. Son preferibles los recipientes soldados que los remachados para reducir la corrosión por grieta. Si se usan remaches, hay que elegir aquellos que, sean catódicos a los materiales que se combinan.
3. Si es posible, se deben usar metales galvánicamente similares para la estructura completa. Se han de evitar metales no similares que puedan dar lugar a corrosión galvánica. Si se atornillan juntos metales no similares galvánicamente,

hay que usar juntas y arandelas no metálicas para prevenir contactos eléctricos entre los metales.

4. Es preciso evitar una tensión excesiva y concentraciones de tensión en entornos corrosivos, para prevenir la ruptura por corrosión bajo tensión. Esto es especialmente importante cuando se utilizan aceros inoxidable, latones y otros materiales susceptibles a este tipo de ruptura en ciertos entornos corrosivos.

5. Se deben evitar recodos agudos en sistemas de tuberías por donde circulan líquidos. En las áreas donde cambia la dirección del fluido bruscamente, se potencia la corrosión por erosión.

6. Se ha de cuidar el diseño de tanques y otros recipientes para que sean fáciles de desaguar y limpiar. Depósitos estancados de líquidos corrosivos provocan la aparición de celdas (o pilas) por concentración potenciando así corrosión.

7. Se deben diseñar sistemas que faciliten el traslado y sustitución de aquellas piezas que se espera queden inservibles en poco tiempo. Por ejemplo, las bombas en las plantas químicas deberían ser fácilmente trasladables.

8. Es importante diseñar sistemas de calefacción que no den lugar a zonas puntuales calientes. Los cambiadores de calor, por ejemplo, debieran ser diseñados para conseguir gradientes de temperatura uniformes.

En resumen, es preciso diseñar sistemas en condiciones tan uniformes como sea posible y evitar la heterogeneidad.

#### **4.7.8.2 Modificación del medio corrosivo**

El medio puede ser básicamente gaseoso, líquido o sólido. La modificación del medio es importante para deducir las tasas de corrosividad.

Si el medio es gaseoso la modificación debe atender a las posibilidades de formación de electrolito líquido. Fundamentalmente hay que controlar:

Humedad relativa.

Componentes volátiles del proceso.

Contaminantes volátiles.

Temperatura.

Si el medio corrosivo es líquido puede actuarse incidiendo en su conductividad, su pH, posibilidades de formación de film pasivo resistente, eliminación de O<sub>2</sub>



disuelto.

Algunos de los métodos más importantes para reducir la corrosión por cambios ambientales son: bajar las temperaturas, disminuir la velocidad de los líquidos, eliminar el oxígeno de los líquidos y reducir las concentraciones de iones.

1. Generalmente, bajando la temperatura de un sistema se consigue reducir la corrosión, debido a que la velocidad de reacción disminuye a bajas temperaturas. No obstante, existen algunas excepciones en las cuales se da el fenómeno inverso; por ejemplo, el agua del mar a ebullición es menos corrosiva que el agua de mar fría debido a que la solubilidad del oxígeno disminuye con el aumento de la temperatura.

2. Disminuyendo la velocidad de un fluido corrosivo se reduce la corrosión por erosión. Sin embargo, para metales y aleaciones que se pasivan, es más importante evitar las disoluciones estancadas.

3. Eliminar el oxígeno de las disoluciones acuosas es, algunas veces, provechoso para reducir la corrosión; por ejemplo, las calderas de agua suelen ser desoxigenadas para reducir la corrosión. Sin embargo, para sistemas que dependen del oxígeno para pasivarse, la desaireación es indeseable.

4. La reducción de la concentración de iones corrosivos en una solución que está corroyendo un metal puede hacer que disminuya la velocidad de corrosión del metal. Por ejemplo, la reducción de la concentración del ion cloruro en una disolución acuosa reducirá el ataque corrosivo sobre aceros inoxidables.

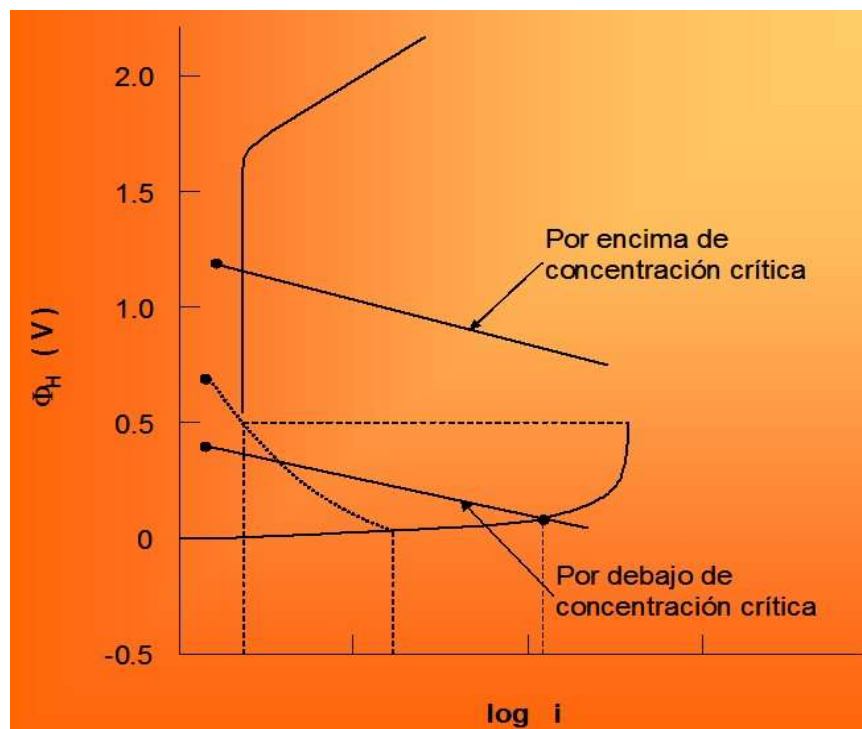
El modo más generalizado de modificación del medio se consigue, especialmente si el electrolito está en circuito cerrado, es mediante el uso de inhibidores de la corrosión. Los inhibidores son, esencialmente, catalizadores de retardo. La mayoría de los inhibidores han sido desarrollados por experimentos empíricos y, muchos, los proporciona la naturaleza. Sus acciones también varían considerablemente. Por ejemplo, los inhibidores tipo absorción son absorbidos por una superficie y forman una película protectora. Los inhibidores tipo desoxidante o barretero reaccionan para eliminar agentes de corrosión, tales como el oxígeno, de una disolución.

Se clasifican generalmente en:

- 1) Inhibidores anódicos.
- 2) Inhibidores catódicos.
- 3) Inhibidores de absorción.

Los **inhibidores anódicos** aumentan la polarización del ánodo por reacción con los iones del metal que se corroe para producir películas pasivas, o capas salinas de solubilidad limitada que cubren el ánodo.

Supone hacer pasivo bajo los potenciales característicos de corrosión de aquel sistema metales - medio, que sin el inhibidor no tenía aquel comportamiento. En la ilustración 19 podemos ver las curvas de potencial  $V - I$  transformadas. La intensidad de corrosión coincide con la  $i$  pasiva del ánodo inhibido.



*Ilustración 19 Polarización anódica por pasivador.*

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12\\_5.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12_5.html)

Los **inhibidores catódicos** producen la inhibición en la reacción catódica, tanto sobre los iones  $H^+$  en medio ácido, o los oxidrilos  $OH^-$  en medio básico, aumentando la polarización catódica, y con ello la corriente de corrosión.

Los **inhibidores de absorción** son moléculas orgánicas largas con cadenas laterales que son adsorbidas desde la superficie metálica. La masa de la molécula puede limitar la difusión de  $O_2$  a la superficie o retener los iones metálicos sobre la superficie con lo que se consigue reducir la velocidad de corrosión.

#### 4.7.8.3. Selección de materiales.

Un medio primario para disminuir los procesos corrosivos es la selección del material más adecuado para aquel medio. Debe seleccionarse en función del binomio medio-aleación.

Sin embargo, no es fácil esta selección por lo restringido del campo de selección, ya que no se conoce una aleación óptima para todos los medios posibles. Para cualquier aleación existe el medio que produce fuerte corrosión.

Tampoco es fácil la selección pues además hay que realizarlo atendiendo a los procesos de unión, soldadura, tratamientos, etc., que añaden parámetros que sensibilizan el material.

En cualquier caso la selección de la aleación debe ir asociada con la de algún proceso adicional de protección como los que se citan en los puntos siguientes. Existen, sin embargo, algunas reglas generales que son bastante aceptadas y que pueden ser aplicadas cuando se seleccionan metales y aleaciones resistentes a la corrosión para aplicaciones de ingeniería. Estos son:

1. Para condiciones no oxidantes o reductoras tales como ácidos y soluciones acuosas libres de aire, se utilizan frecuentemente aleaciones de níquel y cromo.
2. Para condiciones oxidantes se usan aleaciones que contengan cromo.
3. Para condiciones altamente oxidantes se aconseja la utilización de titanio y sus aleaciones.

Como referencia muy general se citan las aleaciones de mayor aplicabilidad en medios corrosivos y el ión que más nocivo le resulta.

	<u>ION</u>
Aceros aleados (Cr, Ni)	$NO_3^-$ , $OH^-$ , $Cl^-$
Acero inoxidable (Cr, Ni)	$Cl^-$
Brones y Latones (Cu, Al, Zn, Ni)	$NH_3^-$
Aluminios	$Cl^-$

Titanio y aleaciones	H <sup>+</sup> , O <sub>2</sub> o altas temperaturas
Níquel y aleaciones	Alcalis, Acidos oxidantes

Las aleaciones que no se pasivan en un medio muestran velocidades de corrosión crecientes con el incremento del voltaje.

Los metales que se pasivan en un medio corrosivo muestran un mínimo para ciertas condiciones de polarización anódica.

Sin embargo se entiende que el metal pasivado sigue un mínimo proceso de corrosión.

Los materiales poliméricos tales como los plásticos y los cauchos son débiles y blandos y en general menos resistentes a los ácidos inorgánicos fuertes que los metales y aleaciones, y en consecuencia su utilización como materiales primarios en resistencia a la corrosión es muy limitada. Sin embargo, a medida que aumenta la disponibilidad de nuevos materiales plásticos resistentes a la corrosión, su presencia en la industria se hace cada vez más importante. Los materiales cerámicos poseen una resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas calificable de excelente, pero tienen la desventaja de ser quebradizos para resistencias a tensión bajas. Por tanto, la utilización de materiales no metálicos en el control de la corrosión concreta principalmente en la producción de forros, juntas y recubrimientos.

#### **4.7.8.4. Protección anódica.**

La protección anódica está fundamentada en la pasivación de un metal anódico cuando se le somete a un potencial más positivo que el de  $E^0$  de corrosión. Para ciertos metales y electrolitos sucede que al aumentar el potencial aumenta fuertemente la oxidación hasta alcanzar una intensidad máxima  $i_{max}$ . A partir de este punto y para pequeños incrementos de  $E$  la densidad de corriente disminuye hasta la  $i$  pasiva, que indica unos bajos valores de corrosión. Este bajo nivel de oxidación se mantiene para valores de la tensión mayores a  $E_{pp}$ , pero no tanto para llegar a la destrucción de la capa pasiva, transpasiva.

Los electrolitos que pueden proteger a cada metal o aleación son seleccionados, de acuerdo con la tabla de iones que los pasivan formando una película pasiva protectora en la superficie. Así el acero puede protegerse anódicamente por los

iones sulfúrico, fosfórico o álcalis; pero no con los iones cloro. Sin embargo, el titanio puede protegerse por los iones cloro.

La protección anódica se aplica a aleaciones que se pasivan con rapidez para pequeñas densidades de corriente.

#### **4.7.8.5.- Protección catódica por corriente impresa y ánodos de sacrificio**

La protección catódica por corriente impresa es un sistema complementario de protección al revestimiento de la obra viva del buque. Se trata de una técnica muy útil para el control de la corrosión del casco. El hierro como metal, en su estado normal, presenta un potencial negativo de aproximadamente  $-600\text{mV}$ , por lo que cuando entra en contacto con un medio acuoso, tiende a transferir electrones al medio y por tanto a oxidarse. Se ha comprobado que cuanto el potencial negativo del metal alcanza los  $-800\text{ mV}$ , esta transferencia de electrones se detiene, paralizando la degradación del metal. Consiste por tanto en la aplicación de una corriente negativa al metal que hay que proteger y asignarle el papel de polo positivo al electrolito (o sea el agua del mar), consiguiendo rebajar el potencial del metal hasta tal punto de conseguir su inmunidad a la corrosión, sin necesidad de poner ánodos de sacrificio, convirtiendo así el casco en un gran ánodo, respecto del medio que lo rodea. El sistema puede ser aplicado sobre cualquier tipo de buques, superficies flotantes, diques, instalaciones portuarias, etc. Su instalación consta de los siguientes componentes.

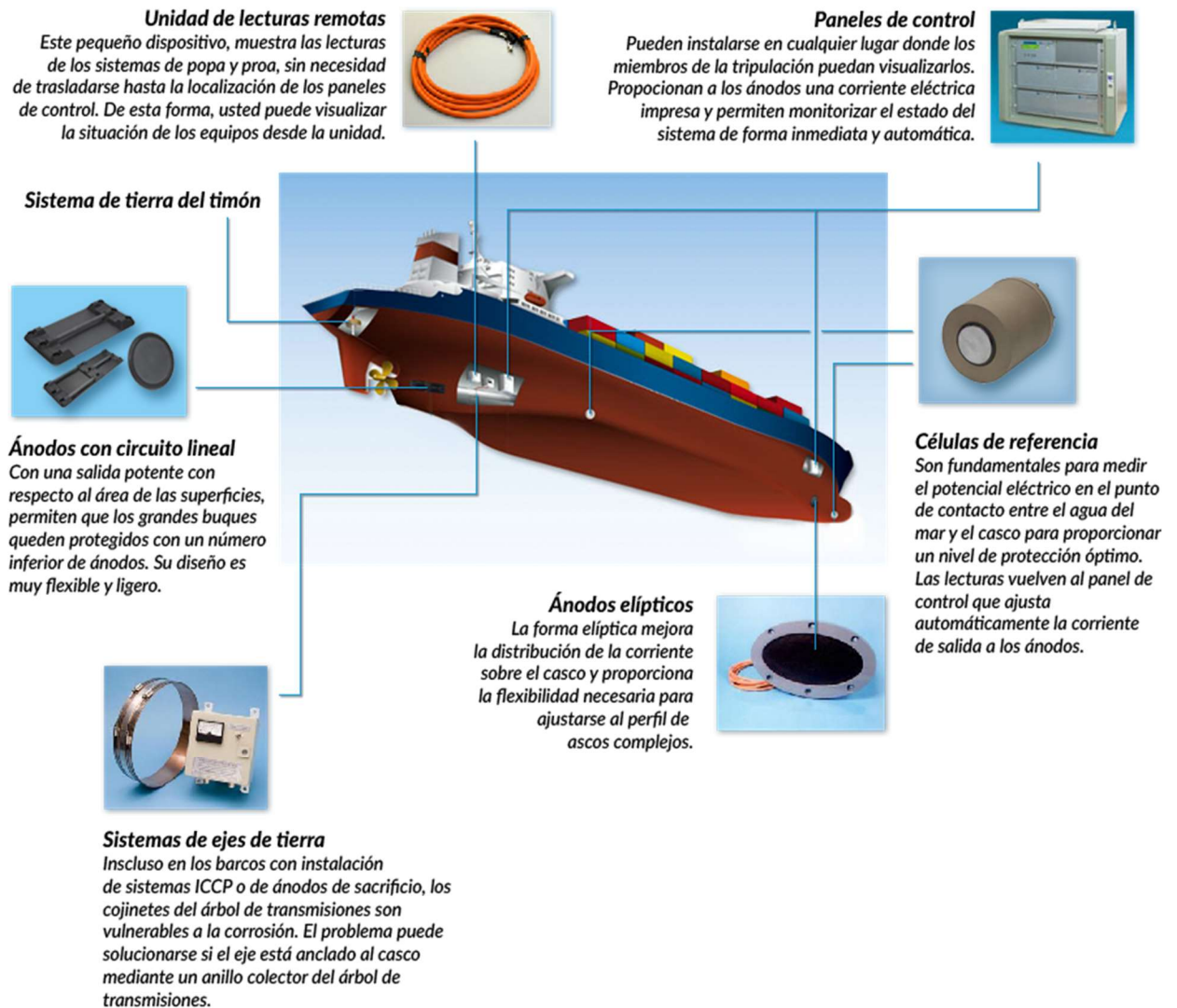


Ilustración 20 Esquema ICCP

<http://www.llalco.com/assets/llalco/img/divisiones/naval/catodica-foto-2-es.png>

El número y cantidad de componentes depende fundamentalmente del tamaño del buque, las zonas de navegación, etc. Esta disposición es necesaria para asegurar una distribución adecuada de la corriente de protección en toda la obra viva del buque.

La protección catódica por ánodos de sacrificio consiste en producir una corriente denominada corriente galvánica a través del contacto de dos metales diferentes por medio del agua, siendo el casco del buque el cátodo y distribuyendo ánodos de sacrificio a lo largo de este (el número dependerá del tamaño que tenga el buque) oxidándose antes que el resto del casco.

Aunque ya hemos descrito en el apartado 2 los tipos de corrosiones que pueden aparecer en el casco, nos centraremos en conocer cómo evitar la corrosión galvánica o electroquímica:

De cara a evitar esta corrosión se utilizan los llamados ánodos de sacrificio y sistema de corrientes impresas. Los ánodos son piezas de metal fuertemente electronegativo para que se disuelvan antes que las partes que deseamos proteger (casco). Estos los podemos encontrar de diferentes formas y material. Los más usados son los ánodos de zinc, metal más anódico respecto de otros metales usados en la construcción de barcos. Los ánodos de aluminio, también usados en cascos de acero principalmente por su liviandad y bajo costo. En cambio, para barcos que navegan en agua dulce y salada alternativamente, son más recomendables los ánodos de magnesio.

A continuación, vemos los tipos de ánodos:

Extremo anódico (activo).

-Magnesio

-Zinc

-Aluminio, Cadmio

-Acero o Hierro

-Plomo

-Estaño

-Níquel

-Latones

-Cobre.

-Bronces

-Monel

-Titanio

-Acero inoxidable

-Plata.

-Grafito

-Oro

-Platino

-Extremo catódico (noble).

Los circuitos de corrientes impresas para control del voltaje de corrientes galvánicas, se instalan para prevenir las variaciones que se observen entre las distintas partes del casco y los ánodos de sacrificio. Transforman las estructuras que se han de proteger en un cátodo induciéndole una corriente inversa desde un ánodo inerte.

La corrosión electrolítica, aunque no es preocupante cuando el buque se haya navegando, sin embargo, es un problema muy frecuente en los puertos.

#### **4.7.8.5.1 Funcionamiento del sistema de corrientes impresas.**

El sistema de corrientes impresas, cuenta principalmente con una Unidad de Potencia, que va alojada en un armario estanco para su instalación en la sala de Máquinas, y alimentada con un voltaje predeterminado.



*Ilustración 21 Unidad de control de corrientes catódicas*

<http://worldmaritimenews.com/wp-content/uploads/2014/03/Cathelco-Introduces-New-Series-of-Quantum-Control-Panels.jpg>



Normalmente se suministra con capacidades que van desde 20 a 900 A (dependiendo del tipo y del fabricante). Cuentan con un sistema de control que recibe y procesa la señal proveniente de los electrodos de referencia y al mismo tiempo se encarga de controlar los rectificadores, que son los encargados de convertir la corriente alterna de alimentación en corriente continua y que es derivada como salida de corriente del sistema a través de los ánodos.

Cada unidad dispone de medidores que permite al personal de a bordo verificar el funcionamiento del sistema de forma periódica.

Los materiales de los que están hechos estos ánodos de referencia son del mismo material que los ánodos de sacrificio, solo que estos disponen de unos cables de conexión donde envían la señal.



*Ilustración 22 Electrodo de referencia de Zinc D=125mm*

<http://www.cathelco.com/iccp-related-products/types-of-reference-electrodes/>

Estos ánodos de referencia para la obra viva del buque los podemos encontrar de diferentes formas según el fabricante:

**-Ánodos en circuito lineal:** Éste tipo de ánodo, cuenta con una gran intensidad de corriente, en comparación con la superficie del mismo, permitiendo la protección de buques de grandes dimensiones con un número reducido de ánodos, su diseño puede ser fácilmente adaptable y al tener poco peso, les hace idóneos para su instalación en las formas curvas del casco.



*Ilustración 23 Ánodo lineal 125-200A*

<http://www.cathelco.com/iccp-related-products/cathelco-anode-types/>

Este ánodo está diseñado con dos tubos de 32 mm de diámetro cada uno para lograr salidas de hasta 200 amperios.

Tamaño: 740x400mm

Peso: 7kg

**Ánodos elípticos:** La forma elíptica mejora la distribución de la corriente y facilita su adaptación sobre las curvas complejas del casco.



*Ilustración 24 Ánodo elíptico*

<http://www.cathelco.com/iccp-related-products/cathelco-anode-types/>

Dimensiones 564 x 335 x 30mm

Peso: 13 kg

**Ánodos circulares:** Sin indicados en aquellos buques en los que se requiere un perfil de casco muy liso; ya que estos ánodos pueden montarse sin apenas sobresalir de la superficie del mismo en zonas donde el espacio es limitado.

Como superficie de emisión de corriente, se utiliza un revestimiento de platino o de una mezcla de óxidos metálicos con soporte de titanio.



*Ilustración 25 Ánodo elíptico*

<http://www.cathelco.com/iccp-related-products/cathelco-anode-types/>

Estos ánodos se pueden cambiar fácilmente por un buzo utilizando un procedimiento simple.

Peso: 4kg

Diámetro: 370mm

#### **Los electrodos de referencia.**

Los electrodos de referencia son unos dispositivos muy importantes situados en dos ó cuatro localizaciones (dependiendo de las dimensiones del buque) distribuidos en la obra viva del buque.

El electrodo de zinc fabricado, debe estar compuesto de una aleación tal, que le confiera ciertas características de estabilidad, garantizando de la señal recibida en la Unidad de Control de Potencia se ajusta a la realidad y es adecuada a la impedancia interna del sistema.

El zinc, es idóneo en éste tipo de sistema por la robustez de su construcción y además, porque en caso de avería mecánica, la señal que recibirá el sistema será de sobreprotección, evitándose daños en el revestimiento del casco.

Cuando la unidad de control, recibe una señal de autoprotección, detiene la señal enviada por el electrodo y activa una señal de alarma.

Cabe destacar que la zona de la hélice y la mecha del timón son zonas que deben ser puesta a masa, debido a que normalmente no se encuentran unidas eléctricamente al casco, debido principalmente al lubricante presente en los engranajes y/ó el empleo de materiales aislantes, son el eje de la hélice y la pala del timón (y aletas estabilizadoras si las hubiera).

Por ello el timón lleva instalado el sistema de Protección Catódica mediante la instalación de un cable que haga masa en cualquier parte del casco e igual se trata si tuviera aletas estabilizadoras.

El eje de cola dispondrá de dos escobillas rozantes de grafito, sobre un anillo de desgaste de tipo abrazadera.



*Ilustración 26 Escobillas del eje*

<http://www.cathelco.com/iccp-related-products/shaft-earthing-systems/>

En el caso del eje de la hélice, la unión a la misma se realiza mediante una banda de plata, colocada sobre el eje principal, sobre la zona del eje intermedio; sobre ésta se conectarán unas escobillas de alto contenido en plata, garantizando el contacto eléctrico en todo momento.



*Ilustración 27 Ánodos instalados en el casco del buque*

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Brosen\\_propelersterntychy.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Brosen_propelersterntychy.jpg)

#### 4.7.8.6. Protección mediante recubrimientos

##### Pintura naval

Se puede definir como una mezcla mecánica o la dispersión de pigmentos o polvos, normalmente opacos, en un líquido o medio.

- a) La pintura se debe diseñada para ser aplicada con distintos medios; brocha, rodillo, aspersion o inmersión.
- b) Después de ser aplicada, se debe de solidificar y tener adherencia sobre la superficie
- c) Debe hacer el trabajo para el cual fue diseñado

Protección

Decoración

Funciones especiales



*Ilustración 28 Buque con estado de la pintura en deficiente estado*

<http://fotos.subefotos.com/aaa9cf60100ac35d54141bcaa50ccc08o.jpg>

Una pintura moderna de aplicación naval consta de los siguientes componentes básicos: el pigmento (que proporciona color), el vehículo (disolvente más la resina) y distintos aditivos.

Los diversos tipos de resinas, también llamadas ligador (de composición polimérica), dan lugar a diferentes tipos de pinturas, con idoneidad específica para aplicaciones concretas.

Por otra parte, hay que tener en cuenta los diversos ingredientes que suelen contener las pinturas. Algunos de ellos pueden ser nocivos. Por ello, se aconseja consultar la ficha técnica y de seguridad para realizar una manipulación sin riesgos para la salud. También hay que tener en cuenta el mecanismo de secado-curado por el que una pintura pasa de estado líquido a sólido seco. El secado es, básicamente, un proceso exclusivamente físico de evaporación del disolvente. En cambio, el curado añade al proceso físico citado otras reacciones químicas complejas. Desde un punto de vista funcional, también hemos de distinguir entre pinturas de película final dura y las blandas o pegajosas; de ellas, las primeras son las más usuales y extendidas.

#### **4.7.8.6.1 Tipos de pintura**

Las pinturas comercializadas en el ámbito naval pueden clasificarse según los siguientes criterios.

- A. Según la aplicación de destino, tenemos pinturas para decoración, pintura para suelos, pinturas de protección industrial y pinturas de fabricación.
- B. Según el tipo de ligador o resina, existen multitud de ellas como son pinturas al aceite, poliésteres, acrílicas, epoxílicas, poliuretánicas, de silicona, etc.
- C. Según el número de componentes (mono y bi- componentes)



*Ilustración 29 Diferentes tipos de pintura*

[http://www.decoestilo.com/wp-content/uploads/2010/04/pintura\\_1.jpg](http://www.decoestilo.com/wp-content/uploads/2010/04/pintura_1.jpg)

Entre las diversas formas de agrupar las familias de pinturas, podemos citar las siguientes clasificaciones:

**Por el nivel de capa específica de la propia pintura:**

-Pinturas de imprimación

-Pinturas selladoras

-Pinturas de acabado

Las imprimaciones son las primeras capas de pintura que se aplica sobre la pieza, las imprimaciones están diseñadas y formuladas para proteger la pieza contra la oxidación y la corrosión, así como para ser la base de un buen anclaje para las posteriores capas de pintura.

Los selladores son las capas de pintura que se ubican entre las imprimaciones y las pinturas de acabado, generalmente se utilizan cuando se ha aplicado masilla a la pieza, con objeto de sellar y asilar la masilla de la capa de acabado, así como mejorar la adherencia y compatibilidad con las siguientes capas de pintura.



Las pinturas de acabado hacen referencia a todo el conjunto de pinturas que se utilizan para dar color a la pieza, son pinturas que han de ser resistentes a la abrasión, la luz ultravioleta, agentes químicos, la humedad, etcétera, dado a que son las pinturas que se encuentran en contacto directo con el exterior.

**Por el sector al cual se destina su aplicación:**

- Pintura para el sector automovilístico
- Pintura para la industria general
- Pintura para la edificación y construcción
- Pintura decorativa (hogar)

Las pinturas están diseñadas en función del sector al cual van a ir destinados, por ejemplo las imprimaciones utilizadas en el sector automovilístico son totalmente diferentes a las imprimaciones utilizadas en la fabricación de barcos transatlánticos, debido a los diferentes requerimientos funcionales (la pintura de los barcos ha de ser muy resistentes a ambientes extremadamente húmedos y salinos) así como los diferentes materiales sobre los que se aplica la pintura (los coches utilizan mucho aluminio así como plásticos de distinta composiciones, mientras que los barcos utilizan principalmente acero).

**Por el número de capas aplicadas en el sistema de pintura:**

- Pintura directa
- Monocapa
- Multicapa

Las pinturas denominadas directas corresponden al conjunto de pinturas que se aplican directamente sobre el material o sustrato, dichas pinturas ofrecen cierta resistencia tanto a la oxidación, así como a la radiación ultravioleta y otros agentes externos, aportando directamente el color, brillo y estética final.

Las pinturas monocapas se denominan al sistema clásico de aplicación de 2 capas de pintura compuesto de imprimación más esmalte, la capa de imprimación protege el material frente a la oxidación y la corrosión, así como favorece la adherencia de la siguiente capa de pintura, la última capa llamada comúnmente

esmalte o brillo directo es la que aporta el color, el brillo y la resistencia a la luz y agentes ambientales.

Las pinturas bicapas corresponden al sistema de pintura compuesto por 3 capas, imprimación más base color y laca, en este caso el acabado final se consigue por medio de 2 capas diferentes, una primera capa que aporta el color, así como efectos metalizados, y una última capa de barniz o laca transparente que aporta el brillo y la protección de la pintura frente agentes externos.

Por último, nos encontramos con las pinturas tricapas, en las que el sistema de aplicación de pinturas está compuesto por 4 capas, la primera capa de imprimación y las 3 últimas capas corresponden al acabado, mediante estas tres últimas capas se consigue los efectos buscados (cambio de color en función de la incidencia de la luz y el ángulo en el cual lo veamos), este tipo de pinturas son utilizadas principalmente en el sector automovilístico.

#### **Por el grado de emanación de compuestos volátiles:**

-Pintura al polvo

-Pintura al agua

-Pintura de alto contenido en sólidos

-Pintura al disolvente

Por motivos ecológicos y referentes a la seguridad laboral, se han desarrollado nuevas gamas de pintura que tienen por objeto reducir la cantidad de solventes que se emiten y se utilizan durante la mezcla, aplicación y curado, dado que produce una fuente de emanación de compuestos orgánicos volátiles perjudiciales tanto para el ser humano como para el medioambiente.

Las pinturas al polvo son las más ecológicas puesto que no necesitan ni contiene ninguna concentración de solventes, las pinturas al agua contienen una ínfima concentración de solvente la cual resulta despreciable, les sigue las pinturas de alto sólidos las cuales necesitan menos cantidad de diluyente que las pinturas al disolvente.

**Por el número de componentes o recipientes necesarios para que seque o cure la pintura:**

-Pintura de 1 componente

-Pintura de 2 componentes

Las pinturas de 1 componente son aquellas pinturas que no necesitan ser mezcladas con ningún endurecedor con objeto de que se produzca el secado, este tipo de pinturas secan por la acción de la humedad, luz ultravioleta, altas temperaturas, etc.

Las pinturas de 2 componentes son aquellas que necesitan añadir un endurecedor durante el proceso de mezcla, con la finalidad de conseguir y acelerar el secado y curado de la pintura.

**Por la resina base que está compuesta la pintura:**

-Pinturas Epoxi

-Pinturas Poliuretano

-Pinturas Acrílicas

-Pinturas Alquídicas

-Pinturas de Poliéster

-Pinturas vinílicas

-Pinturas de caucho

-Pinturas de silicatos

-Pinturas de siliconas

-Etcétera.

Debido a la química de la resina base o polímero base, cada tipo de pintura ofrece unas características y cualidades propias las cuales pueden mejorarse mediante la adición de las cargas y aditivos, por ejemplo, las pinturas en base silicona son pinturas que repelen el agua, así como facilitan la limpieza de grafitis, las pinturas

en base silicatos son altamente resistentes a la temperatura por ello son resinas utilizadas en las pinturas anticorrosivas.

#### **4.7.8.6.2 Operaciones y prescripciones del pintado**

La materialización de un sistema de protección contra la corrosión y los diferentes esquemas de pintado que lo conforman deben contemplarse en todos los buques existentes y los de nueva construcción. El proceso de materialización consta de las siguientes fases:

- A. Preparación de superficies en la construcción de módulos, ensamblaje, varada y mantenimiento a bordo.
- B. Pre-tratamiento de superficies metálicas (primera etapa en el esquema).
- C. Aplicación del resto del esquema según la tabla de datos.
- D. Control de ejecución en cada fase.
- E. Pruebas finales de verificación de cumplimiento.

#### **4.7.8.6.3 Tratamiento de superficies**

La primera fase de la prescripción de operaciones se ocupa del tratamiento de superficies, previo a cualquier aplicación de pintura. Entre las diferentes técnicas de preparación, mencionamos las siguientes:

- Técnicas del alcance limitado: acoge la limpieza manual y aquella que se realiza con soporte de herramientas mixtas mecánico-manuales.
- Chorro de agua de limpieza previo para la eliminación de la sal, trabajando a baja presión entre 250-750 bar.
- Chorro abrasivo de granalla, ya sea metálica, no metálica o materiales especiales, con posibilidad de elegir dureza de partículas, tamaño de grano y huella de acabado. (Actualmente, no se utiliza, sino en casos muy concretos)
- Chorro de agua de alta presión a 750, o muy alta presión entre los 750 y los 3000 bar.
- Técnicas decapantes por adición de productos químicos.
- Adecuaron y secado final de la superficie tratada.

-En toda la fase de tratamiento de superficies se atenderá a la prescripción del esquema de pintado en lo concerniente a los grados de preparación según norma ISO 8501- y que prevé diferentes grados con denominaciones St, St-2, St-3. Sa1, Sa2, Sa2 (1/2) y Sa3



*Ilustración 30 Operario tratando el casco del buque*

<http://www.carenadoscanarios.es/inc/img/inicio2.jpg>

#### **4.7.8.6.4 Aplicación y combinación de pintura**

En una fase de la prescripción de operaciones se establece que antes de la aplicación, resulta imprescindible conocer o consultar la ficha técnica de cada tipo de pintura con el fin de aplicar procedimientos correctos: protección de partes no pintables, mezclado y disolución, homogeneización, filtrado, personal auxiliar y medios de sujeción o anclaje del operario aplicador, método de aplicación (brocha, rodillo, pistola con o sin aire) y secado- curado.

Además, para la elección del producto y combinación de pinturas adecuadas, en el mercado existen numerosos fabricantes y distribuidores que ofrecen diversidad de productos y la información técnica pertinente. La elección de producto suele hacerse en base a la funcionalidad, naturaleza, color-RAL, brillo,

monocomponente, bicomponente, resistencia a la abrasión, forma de aplicación, etcétera. Dentro de la recomendación hecha por los suministradores, se aconseja respetar el sistema de protección anticorrosión y esquema suministrados al buque desde su construcción, no olvidando que, para mejoras o modificaciones, debe acudir a un experto o soporte técnico del fabricante.



*Ilustración 31 Operario pintando el casco del buque*

<http://www.yachtpainter.es/img/servicios/antifouling/antifouling-2.jpg>

#### **4.7.9. Conclusión**

Se ha analizado el fenómeno de la corrosión, sus causas, las de la polarización como fenómenos de amortiguamiento y se ha derivado en todos los medios que se disponen para la prevención de los procesos de corrosión tales como las protecciones catódicas, y anódicas, inhibiciones de electrolitos, selección de materiales adecuados y protecciones superficiales activas o de barrera. Dado que la mayor parte de la corrosión de materiales involucra el ataque químico de los metales por celdas electroquímicas, se ha analizado las condiciones de equilibrio y cómo es posible relacionar las tendencias de un metal a corroerse en un medio acuoso standard con la definición de sus potenciales electroquímicos. Sin embargo, puesto que los sistemas en corrosión no están en equilibrio se ha estudiado la cinética de estas reacciones, así como los factores cinéticos que la afectan como polarización y formación de películas pasivas.

Se han descrito los tipos de corrosión más importantes, así como su importancia en determinados diseños de ingeniería. A altas temperaturas se debe tener aún más cuidado pues la oxidación puede llegar a ser catastrófica.

La prevención de los procesos de corrosión, o su limitación, puede conseguirse por medios muy diferentes. De todos ellos destacamos la selección de los materiales y su calidad, el empleo de diferentes recubrimientos, y en determinados casos protecciones anódicas o catódicas.



---

# “INGENIERÍA MARINA: SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA A BORDO”

---

## ANEXO

---

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**  
**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: **SEPTIEMBRE- 2016**

AUTOR: Alberto Javier Fraga Rivas

Fdo.: Alberto Javier Fraga Rivas



## 5-ANEXO

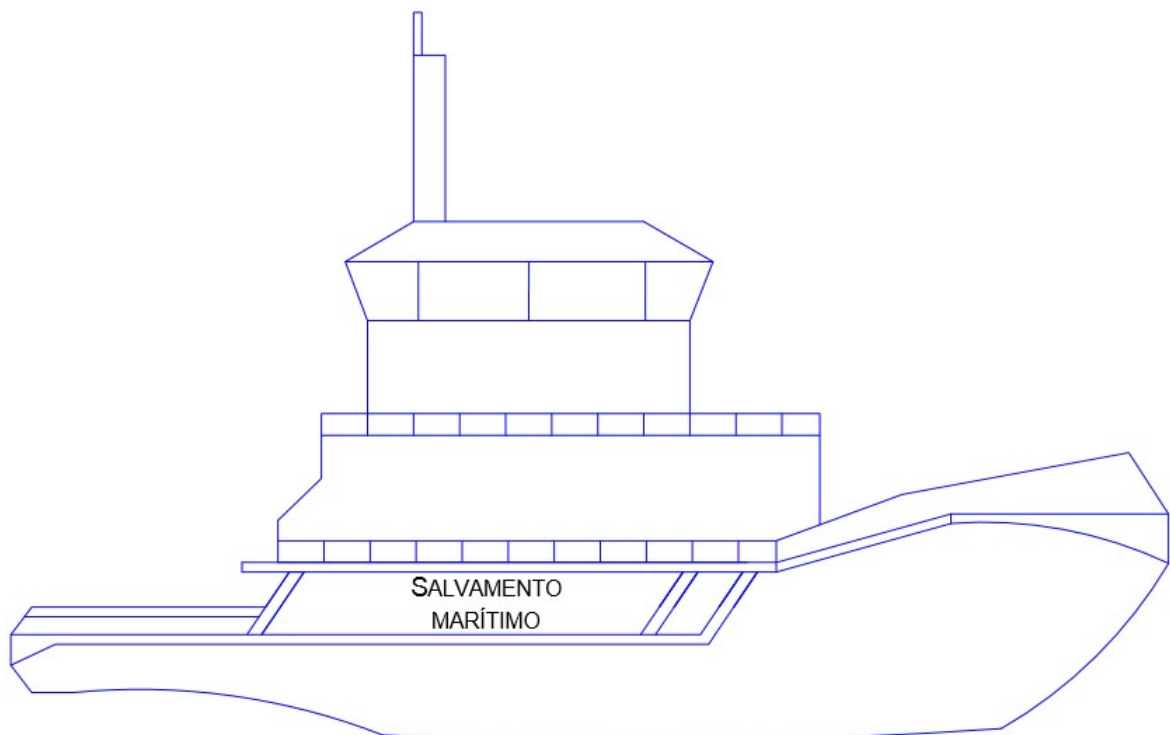
### 5.1-Descripción del buque

#### 5.1.1. Detalles de la naviera / armadora

##### B/S María Pita

En este trabajo de fin de grado se describirá el buque B/S María Pita, uno de los remolcadores de Salvamento Marítimo, lugar donde he realizado las prácticas académicas de dos meses de duración.

Definiremos además de las características del buque, todas las maquinas existentes en él.



*Ilustración 32 Buque María Pita (P.A)*

#### 5.1.2. Detalles del proyecto y construcción

Este buque botado en 2008 cuenta con una eslora de 39.70 metros, una potencia de tiro de 60 toneladas y una autonomía, a velocidad de crucero, de 6000 millas.

Entre otras características cabe destacar:

1. Eslora: 39.7 m
2. Manga: 12.5 m
3. Puntal: 5.8 m
4. Calado: 4.2 m
5. Potencia: 5090 HP

6. Velocidad: 13 nudos
7. Autonomía: 6000 millas
8. Tripulación: 10+2 personas
9. Potencia de tiro: 60 toneladas
10. Número IMO: 9429118
11. GT: 907

Las anteriores características le permiten atender una serie de misiones, entre las que se pueden destacar, el remolque de buques, el apoyo a barcos con problemas, la lucha contra incendios y el rescate de náufragos.

Para las misiones de rescate, el remolcador dispone además de una embarcación auxiliar semirrígida. Dispone además de un servicio exterior contra incendios. Incorpora dos bombas extintoras con una capacidad total de 3000 metros cúbicos a la hora, a una presión de 14 bares, con un sistema de rociadores que permite crear una cortina de agua para proteger la superestructura y la cubierta del buque, posibilitando así una mayor aproximación a las zonas de siniestro.

El buque posee dos balsas salvavidas de 12 personas, marca Duarry situadas a babor y estribor en cubierta castillo.

El buque posee dos balsas salvavidas de 20 personas, marca Duarry situadas a babor y estribor en cubierta castillo.

El buque posee un bote de rescate marca Maritime Partner, modelo Seabear 23 MK II, situado en la parte de babor en la cubierta castillo.

### **5.1.3. Características generales del casco**

El casco del buque de Salvamento Marítimo María Pita está constituido de acero principalmente

### **5.1.4. Capacidades de los tanques**

El buque también presenta los diferentes tipos de tanques:

- 6 tanques de lastre con capacidad de 97,4 m<sup>3</sup>
- 13 tanques de gasoil, uno de ellos para reboses la capacidad total de los mismos es de 359,8m<sup>3</sup>, los tanques de gasoil más grandes son los tanques número 4 de estribor y babor y estos se sitúan en el centro del buque y presentan 50 m<sup>3</sup> cada uno

-5 tanques de aceite los cuales tienen una capacidad de 21,1 m<sup>3</sup> de ellos 2 tanques son de aceite hidráulico, 1 de aceite para la hélice, otro de aceite para el motor y el último tanque de aceite sucio.

-2 tanques de agua dulce capacidad total 115,6 m<sup>3</sup>

-2 tanques de dispersante capacidad total 12 m<sup>3</sup>

-6 tanques varios de los cuales:

-1 tanque de espuma 13,2 m<sup>3</sup>

-1 tanque de aguas aceitosas 1,7 m<sup>3</sup>

-1 tanques de aguas negras 6,9m<sup>3</sup>

-1 tanques de derrames sucios, otro de derrames limpios y un último de lodos cada uno de ellos con una capacidad de 1,7 m<sup>3</sup>

#### **5.1.5. Consumos diarios**

El consumo diario en puerto ronda los 200 litros de gasoil diarios y en navegación con los 2 principales a 900rpm y un auxiliar D9 encendido ronda los 800l/h.

### **5.2 – Servicios Generales**

#### **5.2.1 Servicio de Lastre**

El buque María Pita presenta 6 tanques de lastre con capacidad de 97,4 m<sup>3</sup> distribuidos a lo largo del casco, como citamos anteriormente.

#### **5.2.2 Servicio de Agua Sanitaria**

El buque utiliza agua dulce de puerto, rellenando los tanques de agua dulce de 100m<sup>3</sup> de capacidad una vez al mes.es decir no se utilizada el generador de agua dulce.

#### **5.2.3 Servicio de Ventilación (habilitación y sala de máquinas)**

El buque usa el sistema de ventilación a la habitación las 24 h al día, en la sala de máquinas se pone un ventilador de la máquina y el ventilador de la sala de control durante la jornada laboral.

#### **5.2.4 Instalación de Lucha Contra Incendios**

El “María Pita” presenta 12 extintores de Co<sub>2</sub> y 12 extintores de polvo seco, además de varias mangueras contraincendios con sus respectivas lanzas.

Además, hay 6 botellas de Co<sub>2</sub> en dicho pañol, en caso de incendio en la sala de máquinas pueda ser disparado.

### **5.3 Sala de Máquinas – Propulsión Diésel**

#### **5.3.1 Motores Principales: Piezas fijas y móviles**

Dispone de dos motores principales Diesel ABC TIPO (M) DZC.

Tipo: Motor ABC 8 (M) DZC-1000-176 (A)

1. 8: Número de cilindros
2. M: Motor de propulsión tipo marino
3. DZC: Tipo de motor, 4 carreras, en línea, motor sobrecargado con interenfriador
4. 1000: Velocidad del motor (rpm)
5. 176: Número de código para la presión media eficaz ( $P_e$ )
6. A: Sentido de rotación, contrario a la dirección del movimiento de las agujas del reloj, visto desde el extremo del volante del motor.

Numeración de los cilindros

La numeración de los cilindros comienza con el cilindro más cercano al volante.

#### **Consumo**

El consumo de combustible a plena carga es:  $H_u=3,32$  Tm/h

Mediciones normales

- 1) Número de cilindros: 8
- 2) Desplazamiento volumétrico por cilindro: 15.95dm<sup>3</sup>
- 3) Relación de compresión: 12.1/1
- 4) Desplazamiento volumétrico total: 8 cil= 127.6 dm<sup>3</sup>
- 5) Diámetro interior: 256 mm
- 6) Carrera: 310 mm
- 7) Diámetro de la cápsula del cojinete principal: 184 mm
- 8) Diámetro de la cápsula del cojinete de cabeza grande: 178 mm
- 9) Diámetro del pasador del pistón: 110 mm
- 10) Diámetro del émbolo de la bomba de inyección: 20 mm
- 11) Diámetro de espárrago del bloque de cilindros: M27\*2 mm
- 12) Anchura de la cápsula del cojinete principal: 88 mm
- 13) Anchura de la cápsula del cojinete de cabeza grande: 79 mm
- 14) Anchura del manguito del cojinete de cabeza pequeña: 95 mm
- 15) Anchura del cojinete del eje de levas: 65 mm
- 16) Longitud de las varillas de empuje: 738 mm

- 17) Longitud de los espárragos del bloque de cilindros: 376 mm
- 18) Altura del anillo de compresión: 4 mm
- 19) Altura del anillo raspador de aceite: 8 mm
- 20) Elevación de la válvula de admisión: 20.40 mm
- 21) Elevación de la válvula de escape: 20.40 mm
- 22) Elevación de la aguja de chorro del inyector: 0.6 m
- 23) Elevación de la leva de admisión: 18.3 mm
- 24) Elevación de la leva de escape: 18.3 mm
- 25) Elevación de la leva de inyección: 18 mm
- 26) Distribución de los cilindros: 380 mm
- 27) Distribución de los cilindros centrales: 400 mm
- 28) Número por cilindro en válvula de admisión: 2 mm
- 29) Número por cilindro en válvula de escape: 2 mm
- 30) Número por cilindro en anillo de pistón de tapa cromada: 1 mm
- 31) Número por cilindro en anillo de compresión: 2 mm
- 32) Número por cilindro en anillo raspador de aceite: 1 mm



*Ilustración 33 Motor Principal (P.A)*

### 5.3.2 Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración de los motores principales y auxiliares se lleva a cabo mediante agua dulce.

Esta agua dulce es enfriada en los box coolers, mediante un sencillo intercambiador de calor con agua de mar.

Los motores del buque tienen una temperatura de agua dulce a plena carga de aproximadamente 90c, en ocasiones el motor de puerto cuando tenía mucha carga esta temperatura subía y se activaba la alarma de alta temperatura.

De esta manera al utilizar agua dulce evitamos problemas de corrosión etc.

Los únicos equipos que utilizan agua de mar a bordo son las bombas contraincendios y las 2 plantas de aire acondicionado.

Temperaturas en (° C)

Sistema refrigerante (salida del motor):

1. Funcionamiento normal: 80 ° C a 85 ° C
2. Señal de aviso: 90 ° C
3. Señal de parada: 95 ° C

Sistemas de refrigerante

1. Capacidad del motor (motor básico): 275 litros
2. Enfriador de aire: 28.5 litros

### 5.3.3Sistemas de lubricación

Capacidades de los sistemas de lubricación y refrigerantes (litros)

1. Capacidad de la caja del cigüeñal para la puesta en servicio o después de renovar el aceite: 80 litros
2. Regulador UG-8D y UG-8L: 1.6 litros

Lubricante

MOBILGARD ADL 30 (800 litros)

Circuito de lubricación (entrada del motor):

1. Funcionamiento normal: 77 ° C a 82 ° C
2. Señal de aviso: 85 ° C
3. Señal de parada: 90 ° C

### 5.3.4 Sistema de Combustible

Combustible: Gas-oil

Características:

1. Viscosidad: La viscosidad del combustible debe ser inferior a 100 segundos Redwood I a 100 ° F (38 ° C), factor determinante en la eficiencia de la atomización y en cuanto los motores MDZC no están equipados para un precalentamiento del combustible.

2. Contenido de azufre: El contenido de azufre del combustible determina cuanto ácido sulfúrico se formará por medio de la condensación de los gases de combustión.

Si no se neutraliza este ácido sulfúrico por medio del aceite lubricante, tendrá lugar un desgaste excesivo en los cojinetes, cilindros, anillos de pistones y válvulas. El contenido de azufre tendrá, por consiguiente, una influencia directa sobre la selección del aceite lubricante.

3. Contenido de cenizas y residuos de carbono: Proporcionan una indicación del residuo después de quemar el combustible o después de una destilación destructiva, según métodos de análisis aceptados.

### 5.3.5. Sistema de Admisión y Escape

Reglaje de las válvulas: cifras teóricas.

Intervalos prácticos de abertura y cierre en grados del ángulo del cigüeñal (°C)

Admisión:

1. Se abre antes de T.D.C.: 70 °C

2. Se cierra después de B.D.C.: 40 °C

Escape:

1. Se abre antes de B.D.C.: 62 °C

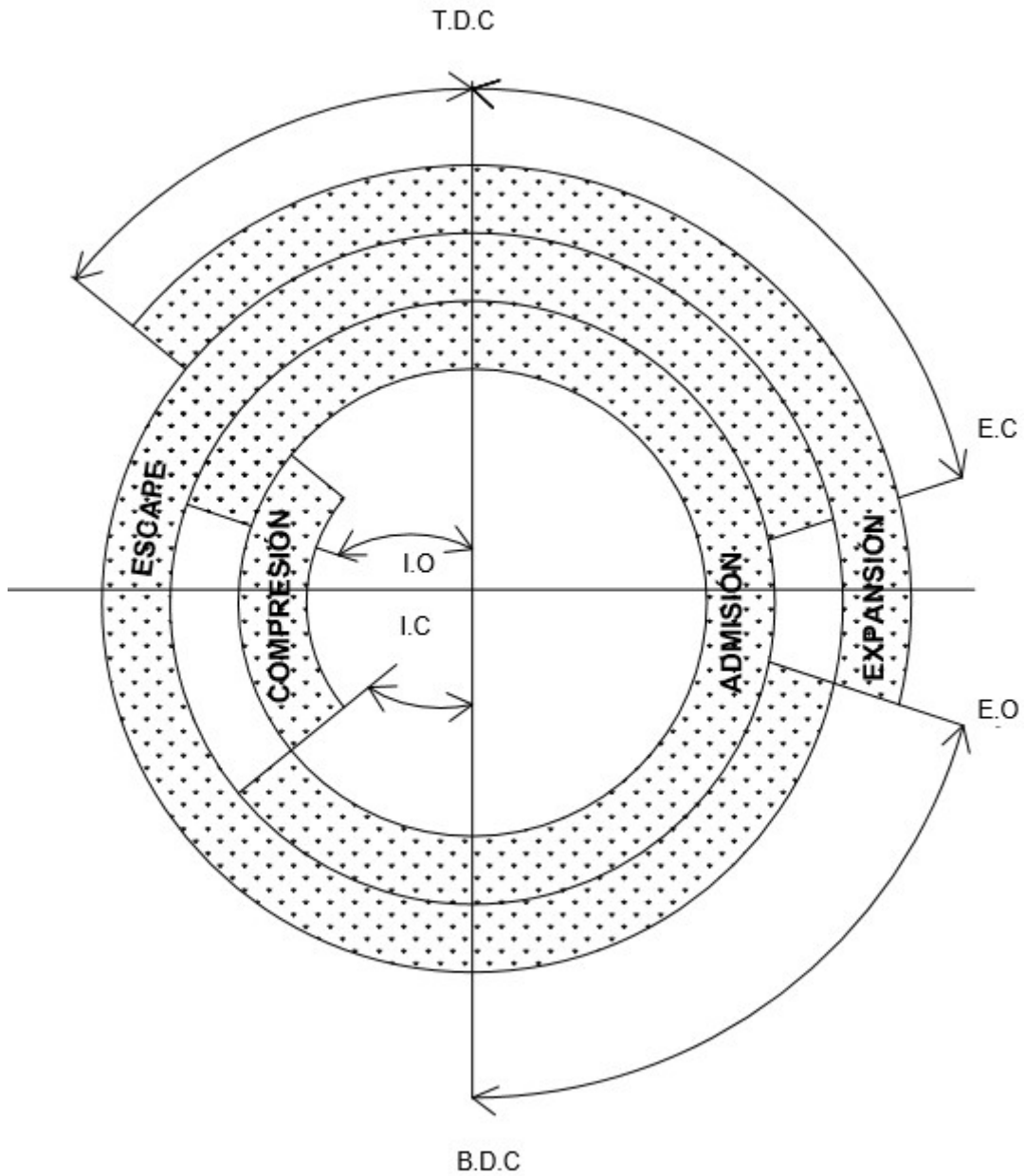
2. Se cierra después de T.D.C.: 65 °C

Solape: 135 °C

Para dichos ángulos se han tomado en cuenta los espacios libres de las válvulas en condiciones frías. Ellos son los siguientes:

1. salida: 0.40 mm

2. entrada: 0.20 mm



*Ilustración 34 Reglaje de válvulas cifras teóricas (P.A)*

T.D.C.= Punto muerto superior

B.D.C.= Punto muerto inferior

B.I.= Comienzo de la inyección

I.O.= Abertura de admisión inicial

E.O.= Abertura de escape inicial

E.C.= Cierre de escape posterior



Reglaje $\alpha$ : B.I	
Rpm	8 DZC
750	18,5°
900	20°
1000	20°

Tabla 1 Reglaje

### Observación

Ya que el perfil de las levas de entrada y salida se considera con una inclinación inicial de acuerdo con una curva armónica, es muy difícil en la práctica medir los intervalos antedichos de abertura y cierre.

El control se limita a la medición de la posición del cigüeñal con ambos puentes de válvula empujados hacia adentro durante la fase de cambio de gases, a saber:

1. la salida se cierra
2. la entrada se abre

Al abrir los puentes de válvula a la misma altura, ocurrirá un movimiento teórico de cigüeñal de °CA 2.4 antes el T.D.C. del cilindro de referencia

### Orden de encendido

Nº de cilindros	Sentido de rotación	
	Según el sentido de las agujas del reloj(K)	Según el sentido contrario a las agujas de reloj (A)
8	1-6-2-5-8-3-7-4-1	1-4-7-3-8-5-2-6-1

Tabla 2 Orden de Encendido

### Velocidad crítica

Cada instalación se comprueba para velocidades críticas del motor.

Estas pruebas pueden indicar que, a velocidades determinadas del motor, pueden ocurrir vibraciones torsionales peligrosas, las que pueden ocasionar una avería catastrófica del cigüeñal, de los engranajes, etc... En consecuencia, una marcha continua a estas velocidades del motor es muy peligrosa y dichas velocidades deben marcarse en los indicadores de velocidad del motor como zonas prohibidas.

### **5.3.6. Sistema de Control y Regulación**

El regulador de los motores principales es de la marca woodward modelo ug-8 governor.

Este es un gobernador mecánico hidráulico controlado por microprocesador el cual se utiliza para controlar los motores Diésel, gas, motores de doble combustible o turbinas de vapor.

Este regulador es el encargado de repartir la carga del motor, así como el combustible que será necesario quemar en cada cilindro para la obtención de dicha carga.

Es importante mirar el nivel de aceite del regulador ya que no tiene alarma de bajo nivel de aceite.

### **5.3.7. Sistema de Arranque Neumático**

El sistema de arranque de los motores es sencillo, consiste en soplar el motor con aire comprimido proporcionado por los compresores de aire. Esta maniobra nos garantizara un arrancado seguro, debido a que si soplamos y sale agua es posible que exista una camisa rajada o cualquier otro problema.

Una vez que procedemos al soplado el compresor arranca inmediatamente para volver a rellenar la botella de aire.

Este arranque se realiza a una presión de 30 bar aproximadamente y mientras se realiza el soplado el motor gira mediante aire comprimido.

Cada motor tiene una válvula principal de cierre del aire comprimido para tareas de mantenimiento.

### **5.3.8. Sistema de Alarmas y Seguridades**

Los motores principales presentan alarmas en caso de que algún parámetro de funcionamiento sea incorrecto, saltara una alarma en el ordenador del control.

Algunas de estas alarmas que presentan los motores principales son:

Alarma de parada del motor principal

Alarma de sobrecarga

Alarma de alta temperatura en algún cilindro

Alarma de baja presión de aceite

Alarma de baja presión diferencial de aceite

Alarma de baja presión de combustible etc.

### 5.3.9. Chumacera de empuje / Reductoros

El buque María Pita no lleva instalado ni chumaceras de empuje ni reductoros.

Pero si lleva instalado una multiplicadora la cual es utilizada para el alternador de cola y el accionamiento de las bombas fifi (sistema contra incendios)

La multiplicadora que lleva instalada el buque es de la marca Kumera.



*Ilustración 35 Multiplicadora (P.A)*

### 5.3.10. Eje de cola / Cojinetes de apoyo

El buque lleva instalados 5 cojinetes y una junta cardan en cada eje.

Normalmente el cojinete numero 4 daba problemas de alta temperatura.

### 5.3.11. Propulsores (FPP / CPP / WaterJet)

Tipo: Propulsores Schottel

Hélice del timón: SPR 1215CP

Forma de la unidad: Z-Drive

Relación de reducción de engranajes: 3.582:1

Material de la carcasa: Material esférico GGG40

Valores de la hélice:

Valores en disposición de la hélice: 1850 kW

Velocidad de entrada de propulsión en el SRP: 1000 rpm

Factor de servicio:  $S_r = 0.900$

**Instalación:**

Conexión al casco: soldada

Placa del fondo del pocete: suministro atornillado

Longitud del vástago de la hélice: 300 mm

**Hélice:**

Diámetro de la hélice: 2400 mm

Tipo de hélice: de paso variable

Número de palas: 4

Diseño de la hélice: con una moderada inclinación

Distribución del paso de la hélice: hacia adelante 70%, hacia atrás 30%

Material de la hélice: GS- CuAl<sub>10</sub>FE<sub>5</sub>Ni<sub>5</sub>-C

Dirección de sintonización de la hélice: A estribor en sentido de las agujas del reloj, a babor en contra de las agujas del reloj

**Inyector:**

Tipo de inyector: Tipo 19-A, atornillado

Material del inyector: acero naval, superficie interior, acero inoxidable.

**Rendimiento:**

Diseño de la hélice: tracción a punto fijo

Rendimiento: 6000 tons. (basado en una reducción del empuje del casco del 6%)

**Pesos:**

Peso, por empujador: 19 tons

Contenido de aceite por empujador: 1850 litros

**Sistema de lubricación:**

Sistema de lubricación: autónomo

Requerimientos de enfriamiento: 2.2 m<sup>3</sup>/h con agua de mar a <45 ° C

**Lubricante:**

Sistema hidráulico: MOBIL DTE 24 (2100 litros)

Engranajes: MOBIL GEAR 600XP68 (25 litros)

**Gobierno:**

Velocidad de gobierno: 180 grados en 12 segundos

Capacidad de gobierno: 48 kW

Transmisión de gobierno de la bomba hidráulica: transmisión por correas

Embrague

El embrague del Schottel es operado neumáticamente.

Línea de eje

Longitud de la línea del eje al motor: 10 m

Tipo de línea de eje: dos árboles de transmisión, un eje intermedio, un eje de talón.

Sello en mamparo: 2



*Ilustración 36 Schottel Babor(P.A)*

## **5.4 – Sala de Máquinas – Planta Eléctrica**

### **5.4.1. Motores Auxiliares: piezas fijas y móviles**

Motores auxiliares

Tipo

Dispone de dos motores auxiliares Volvo Penta D9MGKC

Generalidades

Número de cilindros: 6 en línea

Cilindrada: 9.4 dm<sup>3</sup>

Peso en seco (excepto aceite de motor y refrigerante), motor sin alternador ni bastidor, aproximadamente: 115 kg

Rendimiento (1500 rpm / 1800 rpm)

Potencia en espera: 263 kW / 292 kW

Potencia propulsora: 239 kW / 265 kW

#### **5.4.2. Motores Auxiliares: refrigeración, lubricación, combustible, admisión-escape y arranque**

Holgura de válvula, valores de ajuste (motor frío)

Admisión: 0.45 mm

Escape: 0.50 mm

Temperaturas de escape (1800 rpm)

A potencia en espera: 480 ° C

A potencia propulsora: 420 ° C

Sistema de lubricación (capacidad de aceite, incluso filtro, aprox.)

Sin inclinación del motor: 46 litros

Diferencia de volumen, min - máx: 12 litros

Lubricante: ULTRA M SHP 15W-40 (30 litros)

Sistema de refrigeración:

Capacidad del sistema de agua dulce (incluso intercambiador de calor, aprox):

39 litros

Calidad del agua (ASTM D4985)

Total de partículas sólidas: <340 ppm

Dureza total: <9.5 °dH

Cloruro: <40 ppm

Sulfato: <100 ppm

Valor pH: 5.5-9

Silicio (según ASTM D859): <20 mg

Hierro (según ASTM D1068): < 0.10 ppm

Manganeso (según ASTM D858): < 0.05 ppm

Conductividad (según ASTM D1125): <500 MS/cm

Contenido orgánico, C O D<sub>mn</sub>(según ISO 8467): <15 mg KMn O<sub>4</sub>/l

Sistema eléctrico:

Tensión de sistema: 24 V

Tensión del alternador de aire acondicionado/amperaje máx.: 28 V / 60 A

Potencia del alternador de aire acondicionado, aprox.: 1700 W

Densidad del electrolito de batería a +25°C

Batería totalmente cargada: 1.28 g/cm<sup>3</sup>

Batería recargada: 1.13 g/cm<sup>3</sup>



*Ilustración 37 Motor Auxiliar Volvo Penta (P.A)*

#### **5.4.3. Generadores: rotor, estator, escobillas, ventilación, regulador y disyuntores**

Alternador.

Tipo Alternador Stamford HCH534F2.

Características generales.

AVR: MX 341

PF: 0.80

Voltaje: 400 V

KVA: 282.0

RPM: 1500

AMPS: 407.0

Temperatura ambiente: 50°C

Hz: 50

Fases: 3

Recinto: IP23



*Ilustración 38 Alternador Motor Auxiliar D9 (P.A)*

#### **5.4.3.1 Motor auxiliar de puerto y Motor de emergencia**

Tipo

Motor auxiliar de puerto Volvo Penta D7A T/TA Marine Genset

Generalidades

Número de cilindros: 6

Desplazamiento: 7.15 litros (437 in<sup>3</sup>)

Juego de válvulas:

Entrada: 0.30 mm (0.0118")

Salida: 0.50 mm (0.0197")

Peso en seco, sin generador ni bastidor, aprox.: 670 kg (1477 lbs)

Temperaturas de salida

Para el 25% del poder estándar de ISO: 220 ° C (428 ° F)

Para el 50% del poder estándar de ISO: 315 ° C (599 ° F)

Para el 75% del poder estándar de ISO: 405 ° C (761 ° F)

Para el 100% del poder estándar de ISO: 475 ° C (887 ° F)

Para el 110% del poder estándar de ISO: 500 ° C (932 ° F)

Sistema de lubricación:

Capacidad del aceite, incluyendo filtros, aprox.: 21 litros

Presión del aceite a la velocidad de operación: 320-350 kPa

Baja presión de aceite: 150 kPa

Lubricante: ULTRA M SHPD 15W-40 (30 litros)



**Sistema de refrigeración:**

Capacidad del sistema de agua dulce, aprox.: 40 litros

Temperatura del refrigerante a funcionamiento normal: 83-95 ° C (181-203 ° F)

Punto de alta temperatura: 105° +- 0.5 ° C (221° +- 1 ° F)

**Sistema eléctrico:**

Tensión de sistema: 24 V

Voltaje/amperaje máximo en el alternador: 28 V / 60 A

AC a la salida del alternador: 1700 W

Densidad de los electrolitos en la batería a +25°C (77 ° F):

Batería totalmente cargada: 1.28 g/cm<sup>3</sup>

Batería recargada: 1.13 g/cm<sup>3</sup>

**Agua:**

Contenido total de partículas sólidas: <340 ppm

Dureza total: <9.5 °dH

Cloruro: <40 ppm

Sulfato: <100 ppm

Valor pH: <5.5-9

Silicio: <20 mg

Hierro: <0.10 ppm

Manganeso: <0.05 ppm

Conductividad: <500 MS/cm

Contenido orgánico C O D<sub>Mn</sub>:<15 mg KM<sub>n</sub> O<sub>4</sub>/l



*Ilustración 39 Motor Auxiliar Volvo Penta D7 (motor de puerto P.A)*

**5.4.4. Distribución Eléctrica 380V-400V – 50 Hz (salvo generación a 3,3 ó 6,6 kV; Cuadro principal: barras principales, servicios esenciales y no esenciales; Sistema de emergencia: generador, cuadro de emergencia y consumidores**

Dentro del buque tenemos varios servicios los cuales funcionan a 400v los esenciales estarán duplicados en el pañol de emergencia en la cubierta inferior del puente.

Allí se encontrarán los controles de las bombas contraincendios un motor d9 un compresor de emergencia el cual se puede arrancar con una manivela etc.

Esos serán los servicios esenciales en caso de emergencia a causa de que tengamos una vía de agua o un incendio en la sala de máquinas.

Los servicios de 400v son:

- Ventilador de máquinas v1 puede funcionar en modo ventilación y extracción
- Bomba de baldeo y lastre contraincendios nº 1
- Bomba de reserva agua dulce de refrigeración de servicios varios
- Bomba de achique de lodos
- Bomba de trasiego de combustible

- Bomba de reserva de aceite motor principal babor
- Bomba de reserva agua dulce motor principal babor
- Bomba de reserva combustible motor principal babor
- Bomba de descarga aguas fecales
- Bomba de reserva aceite schottlel babor
- Purificadora de combustible
- Separador de sentinas
- Generador de agua dulce
- Hélice de propulsión babor
- Enchufe taller de maquinas
- Unidad presurizadora
- Compactadora de basuras
- Arrancador de bombas trasiego de aceite
- Compresor de aire de arranque
- Incinerador
- Tanque de preparación de lodos
- Cocina horno
- Compresores de aire acondicionado
- Purificadora de aceite
- Calentador de la purificadora de aceite
- Planta de tratamiento aguas negras
- Máquina de limpieza
- Hélice propulsión estribor
- Triturador de basuras
- Grupo hidróforo agua dulce
- Unidad automática de aire acondicionado en la cámara de control
- Compresor de aire servicio
- Auxiliar incinerador
- Cuadro de control grupo hidráulico
- Bomba de baldeo c.i y lastre nº2
- Bomba de sentinas
- Bomba de reserva agua dulce de refrigeración de servicios varios estribor
- Bomba de trasiego de combustible
- Bomba de reserva agua dulce m.p estribor

- Bomba de reserva combustible m.p eb
- Bomba de agua dulce suministro a exterior
- Bomba de reserva aceite schottle estribor



*Ilustración 40 Servicios a 400v*

#### **5.4.5 Distribución Eléctrica 220V-250V – 50 Hz –Transformadores; Sistema de emergencia: baterías y alumbrado de 24v**

- Alumbrado del puente
- Alumbrado del alojamiento
- Cuadro de resistencia difusores aire acondicionado
- Taladro soldadura
- Equipo fifi babor y estribor (monitor)
- Alumbrado cuadro principal
- Alumbrado sala de maquinas
- Mesa de cubierta
- Enchufes maquinas
- Calefacción de los alternadores cola y motores auxiliares
- Luces de navegación
- Cuadro de protección catódica
- Taller del eléctrico

- Esmeriladora
- Lavadora y secadora
- Planchadora industrial
- Secadores de aire
- Cargador automático de baterías
- Unidad aire acondicionado del puente
- Torno eléctrico
- Cámara de congelados, antecámara y cámara de frescos
- Ventilación local de propulsores, hélice de proa, y extracción purificadora
- Detección de incendios
- Planta tratamiento aguas negras
- Generador de iones
- Calentador agua dulce maquinas

#### Servicios 24v

- Cargador de baterías y automación



*Ilustración 41 Cargador de Baterías (P.A)*

Además, contamos con 2 transformadores 400/230v en control de máquinas y varios cuadros principales para el acople de alternadores.

Cada alternador de cola y cada motor auxiliar incluido el de puerto tienen su cuadro principal, además del cuadro principal de sincronización donde realizaba el acople y desacople de los diferentes motores auxiliares.

## 5.5 – Sala de Máquinas – Instalaciones

### 5.5.1. Sistema de Refrigeración (Agua Salada / Baja Temperatura / Centralizado)

En el buque solo había refrigeración por agua salada para las 2 plantas de aire acondicionado y bombas contraincendios.

El resto de la refrigeración se realiza mediante un intercambiador de calor llamado box cooler (uno a estribor y otro a babor) el cual enfría el agua dulce con agua salada, evitando de este modo los problemas que origina el agua salada como por ejemplo corrosión etc.



*Ilustración 42 Box Cooler (P.A)*

### 5.5.2. Sistema de almacenamiento y trasiego de combustible al tanque de servicio del motor

El buque tiene 12 tanques de combustible y 2 de diarios, solamente es posible llenar los tanques de diario a través de los tanques de sedimentación (tanques nº 1)

De este modo desde el tanque 2 al 6 de babor o estribor podemos aspirar combustible de cualquiera de ellos y llenar los tanques 1, para una vez llenados la

depuradora aspira el combustible lo depura y lo introduce en el tanque de diario para la posterior quema en los motores.



*Ilustración 43 Válvulas de Trasiego (P.A)*

### **5.5.3. Sistema de almacenamiento y trasiego de lubricantes a motor y equipos**

El buque María Pita presenta diferentes aceites para los diferentes motores y equipos.

De este modo para los motores principales y reguladores del motor principal utiliza el lubricante mobilgard adl 30.

En los propulsores Schottel para el sistema hidráulico utilizamos mobil dte 24 y para los engranajes mobilgear 600 xp 100.

En los compresores de aire Spere MOBIL RARUS 827 y en las depuradoras westfalia MOBILGARD 312

Para las multiplicadoras kumera y hélice de proa mobilgear 600 xp 68

Cañones fifi mobil dte 24

Maquinillas:

Sistema hidráulico mobil dte 24 y engranajes caja reductora mobilgear 600 xp 320

Lubricación general con grasa:

Cojinetes motores eléctricos cojinetes, bombas, conservación de maquinaria, etc (arga complex litio ep) lubricación de equipos sometidos a altas cargas y velocidades lentas, engranajes abiertos, cables, en ambientes con presencia de agua (arga wr ep)

Protección de maquinaria de cubierta mobiltac 375 nc

Protección de cables de acero mobilarma 798

Limpieza general:

Limpieza de tanques, planchas, maquinaria, sentinas etc (dispersante marino nº3)

Estos aceites se encuentran estibados en los diferentes tanques que tiene el buque para ello.

#### **5.5.4. Instalación de Aire Comprimido (aire de arranque, control y taller)**

El buque tiene 3 compresores de aire Spere uno de ellos es de emergencia.

Cada mes se utiliza uno y al mes siguiente se cambia al otro, cada uno con su botella y respectivas válvulas.

Antes de arrancar cualquier motor se procederá si es un motor principal a soplar el motor con aire comprimido, en el momento de realizar esta maniobra se observará que el compresor arranca inmediatamente para cargar la botella.

En el caso de arrancar un motor auxiliar se soplará la botella ya que no es posible soplar el motor auxiliar in situ, de este modo se arrancará el motor posteriormente desde el control.

### **5.6 – Sala de Máquinas – Equipos**

#### **5.6.1. Generador de Agua Dulce**

El generador de agua dulce a bordo era el llamado desalinizador Aquamar Electric el cual fue diseñado para obtener agua dulce a partir del agua de mar mediante el principio de osmosis inversa.

El agua obtenida mediante osmosis inversa es de una excelente calidad para aplicaciones industriales y apta mineralmente para el consumo humano.



En ciertas condiciones para el consumo humano es necesario un fácil post tratamiento (ajuste de Ph y esterilización) que garantice la total potabilidad de la misma.

Al utilizar únicamente electricidad como fuente energética la producción de agua dulce es inmediata y no depende de ningún otro equipo, ni está a expensas de la función que desempeñe en el barco, ni de las condiciones de mar, pues la calidad es siempre la misma.

La unidad se presenta en un módulo compacto de tamaño y peso reducido, que facilita su instalación, pero siempre pensando en la amplitud para las operaciones de mantenimiento. El funcionamiento del generador, una vez puesto en marcha, es prácticamente automático y solo requiere de las funciones básicas de entretenimiento de sus componentes.

Los generadores de agua dulce Aquamar Electric están basados en el principio de osmosis inversa. Esta, aplicada a la desalinización, consiste en la eliminación de las sales disueltas en el agua de mar, mediante la utilización de una membrana semipermeable de material sintético (membranas osmóticas) que solo permiten el paso de agua a través de ella, rechazando todas las demás sustancias que contenga como sales, materia orgánica, minerales etc.

El generador de osmosis Aquamar Electric es un equipo compacto montado sobre un bastidor. Sobre el van montados los componentes principales como, por ejemplo:

- Válvula de retención rechazo
- Válvula de descarga al mar
- Válvula de limpieza química
- Presostato de alta
- Válvula de regulación
- Alimentación de agua salada
- Filtros finos de 50 y 5 micras
- Célula salinométrica
- Válvula solenoide de 3 vías
- Caudalímetro de producción

- Manómetro de baja presión
- Cuadro eléctrico
- Bomba de alta presión
- Vasos de presión con membranas
- Manómetro de alta presión
- Presostato de baja

Algunos datos técnicos

- Producción de agua potable: 3,2m<sup>3</sup>
- Salinidad producción: <500ppm
- Presión máxima descarga agua producida: 2bar
- Caudal de agua de alimentación: 1,107m<sup>3</sup>/h
- Presión circuito de baja presión: 1 a 4 bar
- Temperatura agua de alimentación: 25c°
- Suministro eléctrico: 220V- 400V 50-60Hz

### **5.6.2. Depuradoras (aceite, combustibles y sentinas)**

Las depuradoras de aceite y combustible eran de la marca westfalia de tipo centrifugo, modelo OTC 3-02-137

Los principales componentes de las depuradoras son

- 1 Tambor que provoca el efecto de purificación y clarificación consta de:
  - Aro de cierre
  - Diafragma
  - Anillo roscado
  - Plato separador
  - Juego de platos
  - Camisa del tambor
  - Fondo
- 2 Recinto de solidos: acoge los sólidos eliminados en el juego de platos

El principio de funcionamiento de las depuradoras centrifugas es que se utilizan para separar mezclas de líquidos o para eliminar solidos contenidos en suspensión en líquidos o mezclas de líquidos.

Al girar el tambor de la centrifuga genera grandes fuerzas centrifugas.

Por acción de estas fuerzas centrifugas, se logra en un tiempo muy breve la separación de líquidos mezclados y o la eliminación de sólidos.

Los componentes de mayor densidad se desplazan hacia la periferia del tambor, mientras que los de menor densidad se dirigen hacia el centro de la misma.

Para obtener estas fuerzas centrifugas considerables se imprime gran velocidad al tambor. Las altas velocidades de rotación permiten obtener una gran eficiencia, pero además someten el material de la centrifuga a grandes esfuerzos.



*Ilustración 44 Depuradoras de aceite y gas oil (P.A)*

### **5.6.3. Separador de Aguas Oleosas (sentinas)**

Tipo:

Separador de sentinas DELTA OWSA 1m<sup>3</sup>/h

Características técnicas:

-Capacidad: 4.5 m

-Máxima altura de aspiración: -0.5 bar

-Vacío normal en aspiración: neumática P

#### Válvulas:

- Descarga de aceite: neumática P
- Descarga de efluente: neumática P
- Recirculación a sentinas: neumática P
- By-pass etapa absorción: neumática P
- Entrada etapa adsorción: neumática P
- Limpieza: Solenoide
- Consumo de motores eléctricos: 380 V y 50 Hz: 0.75 kW

#### Ppm meter:

- Rango: 0-30 ppm
- Precisión:  $\pm 5$  ppm (de acuerdo a IMO)
- Flujo para muestra: 0.5-4 l/min
- Temperatura de muestra: +10 a +40°C
- Alimentación: 115/220 V ac; 24 V dc

#### Resistencia calefacción:

- Eléctrico: 380 V y 50 Hz 2250 kW
- Vapor: Máximo 180kg/h a 6 bar
- Consumo de aire: Máximo 0.5 l/min a 7bar
- Consumo de agua de limpieza (sólo en modo limpieza): Máximo 70 l/min a 1.5bar

#### Componentes.

- Tanque separador y tanque de adsorción: 2 tanques montados en bancada común: uno para el separador de gravedad y otro para la etapa de adsorción, fabricados de chapa de acero dulce y protegidos contra la corrosión por chorreado SA 2 – ½ y dos capas de coaltar Epoxy. Los componentes internos de estos tanques están fabricados en polipropileno y PVC.
- Monitor de hidrocarburos: El objetivo del monitor es medir el contenido de hidrocarburos libres o emulsionados en agua para satisfacer los requisitos de la Resolución MEPC 107 (49) de la IMO.

El monitor tiene dos celdas de medida, que permiten la lectura simultánea en dos diferentes etapas del separador, antes y después de la segunda etapa,

controlando su puesta en marcha, así como la descarga y la parada automática de la unidad.

-Bomba: Se instala una bomba de desplazamiento positivo tipo JABSCO Serie 9710, con las siguientes características:

-Caudal: 50 l/min (máximo)

-Presión: 2.5 bar

-Cuerpo: Bronce

-Impulsor: Neopreno

-Eje: Acero inoxidable tipo 316 S31 a BS970

-Cierre eje: Mecánico, carbón-cerámico

-Rodamientos: bolas

-Motor eléctrico: 0.75 kW, 380 V, 50 Hz

-Otros componentes:

--Válvulas neumáticas mandadas por pistón: Son válvulas de asiento, normalmente cerradas por un muelle de tamaño de  $\frac{3}{4}$ " ,cuerpo de bronce, rango de 0 a 10 bares y una presión de control de 4 a 10 bares.

Al aplicar aire al pistón se abren y se puede comprobar su funcionamiento por el indicador visual en el centro superior del cilindro. Estas válvulas son instaladas para las siguientes funciones:

1. Descarga de aceite (V8)
2. Descarga al mar (V16)
3. Recirculación a sentinas (V17)
4. By-pass etapa adsorción (V6)
5. Etapa adsorción en servicio (V5)

-- Válvulas solenoides neumáticas: Válvulas de tres vías, normalmente cerradas sin tensión.

Cada una de estas válvulas acciona su correspondiente válvula de pistón:

1. La VS5 acciona la V5 para que entre en servicio la etapa de adsorción
2. La VS6 comanda la válvula V6 de by-pass de la etapa de adsorción
3. La VS8 acciona la válvula V8 de descarga de aceite
4. La VS16 comanda la válvula V16 de descarga al mar
5. La VS17 acciona la válvula V17 de recirculación a sentinas

Estas válvulas van agrupadas en un bloque de mando neumático con una entrada común de aire de control de rosca 1/8". El aire debe ser filtrado.

--Válvula de seguridad:

1. Salida de agua de limpieza (V7): de material de bronce, de tamaño 1"×1" PN-25, con asiento de viton y una presión de taraje de 1.5bar
2. Descarga de seguridad (V 22): de material de bronce, de un tamaño de 1/2"×3/4" PN-25, asiento de viton y una presión de taraje de 3bar.

--Sistema de descarga automática de aceite: incluye electrodos, relé de nivel, sensor y accesorios.

El relé electrónico de nivel está instalado en el interior del cuadro de control y como complemento de la tarjeta de análisis de ppm. Cuando el nivel de aceite en el tanque llega al electrodo bajo, se activa el relé, parando la bomba, se cierra la válvula de descarga al mar y se abren las válvulas de descarga de aceite y entrada de agua para la limpieza. De esta manera comienza a descargarse el aceite.

Cuando el nivel de aceite llega al electrodo superior, el relé se desactiva volviendo el separador a su funcionamiento normal y continúa en esta posición hasta que el aceite alcance de nuevo el electrodo inferior y efectúe una nueva secuencia.

El electrodo tiene las siguientes características: el material es de acero inoxidable AISI 316, una longitud. corto de 70 mm y una longitud. largo de 140 mm, una temperatura máxima de 70°C y una presión máxima de 10 atm.

--Válvula manual de tres vías (V 20): para recirculación a la sentina de acuerdo a los requerimientos MECP 107 (49). Sus características son: material de latón cromado, un tamaño de 3/4"G (H) PN-25, y una temperatura máxima de 200°C.

--Manómetro (PI): se instala a la salida de la bomba con su correspondiente válvula de aislamiento, sus características son: material de caja inoxidable y un baño de glicerina, y un rango de lectura de 0 a 4 bar.

--Manovacuómetro (PV): se instala en el tanque de gravedad y tiene las siguientes características: hecho de material de caja inoxidable y un baño de glicerina, y un rango de lectura de -1 a 3 bar. Incluye su válvula de aislamiento.

--Panel de control: incluye relés, arrancador para la bomba, fusibles, lámparas, etc... Su función es controlar la correcta operación del sistema.

--Resistencia eléctrica (RSI): fabricada en acero inoxidable y con las siguientes características: con una tensión de 380 V y 50 Hz, un consumo de 2.25 kW, y una conexión de 2" de gas.

--Termostato (TSI): para el control de la resistencia, sus características son: una longitud de vaina de 100 mm, una conexión M-20, un rango de temperatura de 0 a 90°C, y una temperatura de taraje de 45°C.



*Ilustración 45 Separador de Sentinas (P.A)*

#### **5.6.4. Planta de tratamiento de Aguas Residuales (grises y negras)**

Tipo:

Planta de aguas negras Hamworthy PCH 1553.

Descripción y operación:

Son unos sistemas de inodoros de vacío que utilizan la presión diferencial para conducir los desechos a través del inodoro y de las tuberías.

Las tuberías del sistema de vacío son más pequeñas y más ligeras que las tuberías por gravedad convencionales, y se pueden colocar en cualquier orientación y a través de obstáculos. Esto significa un coste del material más bajo, ahorro en la mano de obra y una gran flexibilidad de diseño.

Básicamente, el sistema de generación de vacío de Hamworthy consta de un eyector con una válvula de retención y una boquilla, y un interruptor de vacío. Una

ventaja adicional de los eyectores, bombas e interruptores de vacío es que se suministran según sea necesario.

### Descripción detallada y operación

#### Eyector

El eyector es el corazón del equipo de generación de vacío. Las principales características son:

La bomba del eyector extrae agua de residuos, ya sea de la unidad de aireación o de la de vacío, y lo conduce a través de la tobera convergente.

El líquido sale de la boquilla como un chorro de alta velocidad. Las ecuaciones de conservación de la energía dictan que el aumento en la velocidad está acompañada por una caída en la presión. La caída en la presión induce un flujo en el fluido secundario que rodea el chorro en la cámara de aspiración que en consecuencia genera un vacío en el sistema de tuberías.

El agua del aire y de los residuos que es inducida se mezcla con el fluido de accionamiento en la cámara de mezcla y se descarga a través de la recuperación de energía del difusor cónico de nuevo a la unidad de tratamiento de aguas residuales o de recogida de vacío.

Una válvula de retención montada en la entrada de la cámara de succión se cierra para mantener el vacío en el sistema de tuberías conectado cuando la bomba detiene el eyector que hace recircular el agua de deshecho.

#### Bomba de eyección.

Una sola etapa, no cierra la obstrucción de la bomba centrífuga, junto con un flujo radial impulsor único por un conducto abierto adecuado para el manejo de aguas residuales sin tratar.

La placa de desgaste integral con superficies endurecidas y el borde del impulsor proporcionan una acción de corte de fibras.

El eje de la bomba de acero de alta aleación sirve como el eje del motor. Los rodamientos de los rodillos se han adaptado a las tensiones alternas encontradas en el manejo de aguas residuales. El sellado del eje es por cierre mecánico.

El funcionamiento de la bomba del eyector en AUTO es controlado por el interruptor de vacío.



Interruptor de vacío.

El nivel de vacío en el sistema de tubería es controlada por el interruptor de vacío. El interruptor inicia y detiene la bomba de eyección. A medida que el vacío en el sistema cae por debajo de un valor establecido se inicia la bomba de eyección. Si el nivel de vacío sigue cayendo la bomba SEGUIMIENTO se inicia para ayudar con la regeneración de la aspiradora. Cuando el vacío ha sido restaurado a un segundo valor establecido se detendrá la bomba.

El nivel de parada de vacío se establece mediante el ajuste de la perilla en la parte superior del indicador deslizante en la escala en la parte frontal del interruptor.

El nivel de vacío inicial se ajusta mediante el ajuste de la perilla estriada dentro del interruptor, alcanzado por la eliminación de su tapa. Este botón moleteado ajusta el diferencial entre la posición de parada y la configuración de inicio, es decir, si el nivel de parada de vacío se cambia girando la perilla en la parte superior del interruptor de nivel de vacío de inicio será también ser cambiado por la misma cantidad de tal manera que el diferencial entre los dos se mantendrá sin cambios.

Controles eléctricos.

Cada bomba de eyección está provista de un interruptor AUTO/MANUAL/PARO. Cuando se selecciona AUTO la bomba está controlada por un interruptor de vacío montado en el sistema de tubería. Cuando se selecciona MANUAL el interruptor de vacío se anula y la bomba se puede ejecutar de forma continua.

Bajo el control AUTO se inicia cuando la bomba principal de un temporizador se activa en el panel de control. Si la bomba sigue funcionando después de un período ajustable (inicialmente establecido en 15 minutos), se inicia una alarma de baja presión de vacío.

Un interruptor de alarma de bajo nivel de vacío impide el funcionamiento en seco de la bomba de expulsión.

Requerimiento de agua de dilución.

La recogida de aguas residuales es altamente concentrada debido al reducido volumen de agua de limpieza.

Las aguas residuales recolectadas se tratan en una planta de tratamiento biológico, para que las bacterias digieran aeróbicamente los residuos que se deban diluir.

La conexión de agua de dilución se proporciona en el tanque de aireación de las plantas de tratamiento de aguas residuales Hamworthy Super Trident que se suministran para tratar las aguas residuales recolectadas mediante el vacío.

El agua de dilución, de mar limpia o agua dulce, se debe utilizar de forma continua directamente a la conexión del tanque de aireación a razón de aproximadamente 50 litros/persona/día.

Se debe tener cuidado, para asegurar que el agua de dilución combinado y el flujo de las aguas negras no exceda la carga hidráulica diaria diseñada en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Las tasas máximas de dosificación están indicadas en la siguiente tabla:

Tamaño de la unidad	Velocidad de dosificación l/min
ST0	0.4
ST1A	0.7
ST2A Y RT20	1.3
ST3A	2
ST4A Y RT40	2.5
ST6A Y RT60	4
ST8A Y RT80	5
ST10	7
ST13	9
ST15	11
ST20	15
ST25	18
ST30	21
ST40	28
ST50	35
ST60	44

*Tabla 3 Dilución máxima de las tasas de dosificación del agua*

Se calcula la dosificación necesaria de la siguiente forma:

11 personas

50l/persona

11 per\* 50l/per= 550 litros

550 l / 1440 min= 0,38 l /min

Por lo que el tamaño de la unidad será ST0.

Instalación.

Conmutador de vacío y manómetro.

El conmutador de vacío y el medidor de presión se suministran normalmente para la instalación por parte del cliente en el sistema de tuberías de vacío.

Ellos deben instalarse lo más cerca posible del eyector y deben ser montados en un colector separado, para reducir las posibilidades de que el agua residual que entra, como se indica a continuación:

Eyector bomba.

General

El equipo de generación de vacío se suministra normalmente montado, con todas las tuberías de interconexión, en un Hamworthy STP o VCU.

Tuberías de succión y descarga.

Al seleccionar el diámetro interior de la tubería se deben sumar las pérdidas por fricción de la tubería. Las pérdidas excesivas afectarán desfavorablemente a la fiabilidad del sistema.

La línea de aspiración debe elevarse continuamente hacia la bomba o debe disponerse la ventilación de la línea por otros medios adecuados.

Todas las tuberías deben establecerse libres de estrés.

Las válvulas (de bola o puerta) deben montarse directamente sobre la bomba de tal manera que la bomba se pueda quitar sin vaciar primero la tubería.

Debe ser instalada una válvula de retención en la línea de descarga tan cerca de la bomba como sea posible para evitar el flujo de retorno del agua residual bombeada después de detener la bomba de expulsión.

Montaje de la bomba.

La bomba debe anclarse con cuatro tornillos de fijación, para permitir la posterior eliminación sin necesidad de soltar las conexiones de la brida.

Debe preverse para un suministro adecuado de aire de refrigeración del motor.



*Ilustración 46 Planta de tratamiento de Aguas Negras (P.A)*

### **5.6.5. Incinerador de lodos y residuos orgánicos**

Tipo:

Incinerador Detegasa DELTA IRLA-10

Características generales.

-Incinerador:

Capacidad máxima: 100000 kcal/h

Cantidades a quemar: en lodos 15 l/h mientras que en residuos sólidos 25kg/h

Máxima temperatura de la cámara de combustión: 1450°C

Depresión en la cámara de combustión: 25 mm c.a.

Máxima temperatura en el forro exterior de la carcasa: 60°C

Peso total: 1380 kg

Potencias:

Motor quemador: 90 W

Motor dosificador lodos: 0.18 kW y 50 Hz

Potencia total en operación incluido ventilador y bomba de circulación de lodos:

12.387 kW y 50 Hz

Aire comprimido: 18 kg/h a 6bar.

Conexiones:

Aire comprimido: DN-15

Alimentación y retorno de D.O.: DN-15

Alimentación de lodos: DN-25

Salida gases de combustión: DN-200

-Extractor de gases:

Capacidad: 1890 Nm<sup>3</sup>/h

Presión diferencial: 560 mm c.a

Temperatura de trabajo: 400°C

Potencia del motor: 5.6 kW

-Bomba dosificadora de lodos:

Capacidad: 50l/h

Potencia del motor: 0.18 kW y 50 Hz

-Bomba circulación de lodos:

Capacidad: 1.250 l/h

Potencia del motor: 0.37 KW y 50 Hz

Objeto

El objeto de éste incinerador es eliminar por combustión todos los residuos sólidos y líquidos combustibles.

Sólidos:

Procedentes de compactadora de residuos de cocinas.

Procedentes de trituradoras.

Trapos y materiales de limpieza.

Cualquier otro tipo de residuo sólido combustible

Líquidos:

Lodos procedentes de drenajes de tanques, aceites y combustibles.

Lodos procedentes de aguas separadas de sentinas.

Lodos procedentes de depuraciones de aceites y combustibles.

Lodos procedentes de aguas residuales mezclados con residuos.



*Ilustración 47 Incinerador (P.A)*

#### **5.6.6. Sistema de Protección Catódica**

El buque “María Pita” lleva instalados 18 ánodos de sacrificio de cobre en los box cooler del buque.

Encontrándose de forma par, es decir 2 en la misma zona, en 9 zonas diferentes:

- Box Cooler aux nº 1
- Box Cooler aux nº 2
- Box Cooler auxiliar de puerto
- Box Cooler servicios varios estribor y babor
- Box Cooler motor principal estribor y babor (por duplicado)

Siendo sus valores para el sistema de corrientes impresas (sistema ICAF) entre 0,2-0,45A y 2,93-3,43V

Además, el buque lleva 14 ánodos de sacrificio adosados al casco en diferentes zonas.

#### **5.6.7. Gestión de lodos e incinerador**

La gestión de lodos a bordo la realizábamos depositando estos al tanque de lodos, posteriormente cuando teníamos programado navegar, el día anterior procedíamos a trasegar mediante la bomba de lodos, estos mismos del tanque al depósito.

(también se limpiaba el filtro de la bomba de lodos una vez finaliza el trasego)

Normalmente generábamos una cantidad elevada de agua en los lodos por lo que cuando navegábamos nos costaba coger temperatura en el incinerador.

Para regular la temperatura en el incinerador tenemos la grampa del aire y el flujo de lodos que estamos introduciendo.

Si el incinerador baja de temperatura levemente mientras está quemando es que el aire o el flujo de lodos introducido es excesivo, por lo que deberemos jugar con ambos parámetros.

Con frecuencia ocurría que el incinerador trabajaba próximo a los 1200c° donde se activa la alarma de alta temperatura, por lo que abríamos el aire para que bajara la temperatura de la cámara de combustión.

Es importante mantener el nivel de agua correcto en el incinerador.

#### **5.6.8. Planta frigorífica para conservación de alimentos (gambuza)**

El buque tenía 3 gambuzas para la conservación de alimentos una cámara de frescos que trabajaba alrededor de unos 8-10c°, una antecámara que funcionaba sobre 0-2c° y la cámara de congelados que funcionaba a temperaturas cercanas a los -20c°

La cámara de frescos poseía su propio compresor, pero la cámara de congelados y la antecámara compartían el mismo compresor lo que al uso viene siendo una cámara con diferentes temperaturas.

La cámara de frescos se le cambio la sonda de temperatura y se le cambio la placa base durante mi estancia debido a que formaba una cantidad enorme de hielo en el evaporador.

Como consecuencia de esto subía la temperatura en la cámara de frescos alrededor de los 20c°.

#### **5.6.9. Planta frigorífica para Aire Acondicionado**

El buque constaba de 2 plantas frigoríficas para aire acondicionado, una para la habitación y otra para la sala de máquinas.

Contaban con el esquema habitual de cualquier planta frigorífica compresor, condensador, depósito de líquido etc.



*Ilustración 48 Planta de Aire Acondicionado P.A*

### **5.6.10 Otros equipos**

#### **Calentador**

Marca: Boreal

Equipo: Calentador de paso HRC-15 de 15 kW

Modelo: 83.831102

Cliente: Alfa Laval Iberia, S.A.

#### Descripción del equipo

El calentador está construido en acero al carbono y se compone de un cuerpo cilíndrico soldado por un extremo a un fondo y por otro a una brida DIN-2632.

Las 12 resistencias eléctricas blindadas son de tipo recambiable y están formadas bajo tubo  $\varnothing 12$  de acero inoxidable AISI-304, y se encuentran instaladas dentro de unas fundas de acero al carbono ST-35 fijadas a la brida ciega de soporte DIN-2527 mediante soldadura TIG, formando lo que se denomina grupo calefactor. Éste se fija en el cuerpo del calentador atornillando la brida ciega a la brida de cuello DIN-2632. Una vez montado el grupo calefactor, las resistencias blindadas afectan al cuerpo del calentador en toda su longitud. El calentamiento se realizará mediante contacto directo de las fundas que albergan las resistencias con el fluido. La longitud inmersa de la resistencia es de 700 m. La gran ventaja de las resistencias recambiables respecto a las fijas es la posibilidad de reemplazarlas independientemente en caso de avería sin necesidad de vaciar la instalación.



La entrada del fluido tiene lugar por la brida DIN-2635 DN-32 y el tubo soldado al fondo y la salida por la brida DIN-2635 DN-32 y el tubo más cercano a la caja de conexiones del grupo calefactor.

El calentador está provisto de aislante térmico granular vermiculita de 40 mm de espesor protegido por una chapa remachada de acero galvanizado de 1 mm de espesor y pintada de color azul RAL-5002.

La caja de conexiones está fabricada en chapa de acero al carbono y cuenta con un grado de protección IP-65. Se encuentra soldada a la brida soporte DIN-2527. Esta caja contiene los embornamientos de las resistencias.

El bulbo del termostato de seguridad está alojado en una funda de  $\varnothing 9.5$  de acero inoxidable AISI-321 soldada mediante TIG a la brida soporte DIN-2527 y el cuerpo se encuentra instalado en una caja estanca IP-65 montada sobre la caja de conexiones del calentador.

El control de la temperatura del fluido se realiza a través de un termostato Danfoss RT-106 situado en la pieza de salida en la tubería de salida.

El calentador está diseñado para ser instalado en posición vertical y para ello está provisto de un soporte en la parte superior y otro en la parte inferior del equipo.

Características del calentador:

Potencia instalada: 15 kW

Alimentación: 400 V y 50 Hz

Número de etapas: 2 de 7.5 kW

Grado de protección: IP-65

Control y seguridad: 1 termostato Danfoss RT-106 para el control de la temperatura de salida del fluido. 1 termostato Danfoss RT-106 con rearme manual para la seguridad de alta temperatura del fluido.

Carga específica: 2 W/cm<sup>2</sup>

Fluido a calentar: aceite

Presión de diseño: 10 kg/cm<sup>2</sup>

Presión de prueba: 15 kg/cm<sup>2</sup>

Temperatura de diseño: 120°C

Código de diseño: ASME VIII



*Ilustración 49 Calentador P.A*

### **Compresores de aire de arranque.**

Tipo.

Compresor de aire SPERRE HL2/90 (2 compresores para aire de arranque).

Descripción general.

Compresores de 2 cilindros y dos etapas. Los cilindros están acomodados en forma de V, en un ángulo de 90° de cada uno. Los cilindros y los enfriadores de aire comprimido son refrigerados con aire a través de un ventilador incorporado. La presión de suministro se determina ajustando la válvula de seguridad. El aire de enfriamiento lo suministra un ventilador montado en el volante.

El compresor y el motor están conectados a través de un acoplamiento flexible de alta resistencia.

Los rodamientos y las paredes del cilindro están lubricados por salpicado.

Aceite lubricante.

El volumen de aceite lubricante es de 4 litros.

Aceite: MOBIL RARUS 827

Presiones y temperaturas normales.

Temperaturas durante el servicio, con velocidad de eje de 1750 rpm. Los valores son válidos para una temperatura ambiente de 40°C y una presión de salida de 30bar.

Presión luego del cilindro de baja presión (BP): 3-4bar

Temperatura luego del cilindro de baja presión (BP): 145-165°C

Temperatura luego del enfriador de baja presión (BP): 55-65°C

Temperatura luego del cilindro de alta presión (AP): 175-190°C

Temperatura luego del enfriador de alta presión (AP): 45-55°C

Las temperaturas serán menores a velocidades de eje más lentas.

Tolerancias límites de desgaste.

Tolerancias de los extremos para los anillos del pistón: Empuje un pistón sin sus anillos dentro del cilindro hasta la mitad y coloque el anillo del pistón en el cilindro de manera tal que éste ejerza presión contra la parte superior del pistón. Retire el pistón y mida el espacio libre entre los extremos del pistón con un calibrador de verificación de piezas.

Diámetro del pistón	Espacio libre para los anillos nuevos en el cilindro nuevo	Máximo espacio libre permisible
50mm	0,2-0,35mm	0,7mm
90mm	0,35-0,55mm	0,9mm

*Tabla 4 Tolerancias de los extremos para los anillos del pistón*

Altura libre en las ranuras de los anillos del pistón: Limpie los anillos del pistón y las ranuras de los anillos. Instale el anillo en la ranura y mida la altura libre del anillo en la ranura con un calibrador de verificación de piezas.

	Espacio libre para los anillos nuevos en el pistón nuevo	Máximo espacio libre permisible
Anillo superior	0,015-0,04mm	0,6mm
El resto de los anillos	0,00-0,025mm	0,4mm

*Tabla 5 Altura libre en las ranuras de los anillos del pistón*

Espacio libre entre el pistón y el cilindro: Mida el espacio libre con un comparador de cuadrante, mida el cilindro y el pistón por separado. O bien, se puede colocar

el pistón en el cilindro y medir el espacio libre con calibradores de espesores. Se debe medir el espacio libre del pistón en el área que se encuentra sobre la ranura del anillo superior.

Diámetro del pistón	Espacio libre para los anillos nuevos en el cilindro nuevo	Máximo espacio libre permisible
50mm	0,2mm	0,6mm
90mm	0,3mm	0,7mm

*Tabla 6 Espacio libre entre el pistón y el cilindro*

Espacio libre entre la parte superior del pistón y la cabeza del cilindro/válvula:

La distancia entre la corona del pistón y la cabeza del cilindro (válvula) no debe ser menos de 0.75 mm. El espesor normal del obturador es de aproximadamente 1.0 mm y la corona del pistón puede proyectar un máximo de 0.25 mm sobre el cilindro al centro muerto superior.



*Ilustración 50 Compresores de Aire P.A*

### **Compresor de aire de servicio**

Tipo.

Compresor de aire SPERRE HL2/120 (1 compresor para aire de servicio)

Descripción general.

Compresor de 2 cilindros y dos etapas. Los cilindros están acomodados en forma de V, en un ángulo de 90° de cada uno. Los cilindros y los enfriadores de aire comprimido son refrigerados con aire a través de un ventilador incorporado. La presión de suministro se determina ajustando la válvula de seguridad. El aire de enfriamiento lo suministra un ventilador montado en el volante.

El compresor y el motor están conectados a través de un acoplamiento flexible de alta resistencia.

Los rodamientos y las paredes del cilindro están lubricados por salpicado.

Aceite lubricante.

El volumen de aceite lubricante es de 4 litros.

Aceite: MOBIL RARUS 827

Presiones y temperaturas normales

Temperaturas durante el servicio, con velocidad de eje de 1450 rpm. Los valores son válidos para una temperatura ambiente de 40°C y una presión de salida de 30bar.

Presión luego del cilindro de baja presión (BP): 2.5-3.5 bar

Temperatura luego del cilindro de baja presión (BP): 140-170°C

Temperatura luego del enfriador de baja presión (BP): 50-60°C

Temperatura luego del cilindro de alta presión (AP): 190-230°C

Temperatura luego del enfriador de alta presión (AP): 50-60°C

Las temperaturas serán menores a velocidades de eje más lentas.

Tolerancias límites de desgaste.

Tolerancias de los extremos para los anillos del pistón: Empuje un pistón sin sus anillos dentro del cilindro hasta la mitad y coloque el anillo del pistón en el cilindro de manera tal que éste ejerza presión contra la parte superior del pistón. Retire el pistón y mida el espacio libre entre los extremos del pistón con un calibrador de verificación de piezas.

Diámetro del pistón	Espacio libre para los anillos nuevos en el cilindro nuevo	Máximo espacio libre permisible
77mm	0,45-0,55mm	0,8mm
120mm	0,4-0,6mm	1,0mm

*Tabla 7 Tolerancias de los extremos para los anillos del pistón*

Altura libre en las ranuras de los anillos del pistón: Limpie los anillos del pistón y las ranuras de los anillos. Instale el anillo en la ranura y mida la altura libre del anillo en la ranura con un calibrador de verificación de piezas.

	Espacio libre para los anillos nuevos en el pistón nuevo	Máximo espacio libre permisible
Anillo superior	0,015-0,04mm	0,6mm
El resto de los anillos	0,00-0,025mm	0,4mm

*Tabla 8 Altura libre en las ranuras de los anillos del pistón*

Espacio libre entre el pistón y el cilindro: Mida el espacio libre con un comparador de cuadrante, mida el cilindro y el pistón por separado. O bien, se puede colocar el pistón en el cilindro y medir el espacio libre con calibradores de espesores. Se debe medir el espacio libre del pistón en el área que se encuentra sobre la ranura del anillo superior.

Diámetro del pistón	Espacio libre para los anillos nuevos en el cilindro nuevo	Máximo espacio libre permisible
77mm	0,2mm	0,6mm
120mm	0,22mm	0,6mm

*Tabla 9 Espacio libre entre el pistón y el cilindro*

Espacio libre entre la parte superior del pistón y la cabeza del cilindro/válvula: El espacio libre entre la parte superior del pistón y la válvula debe ser de 1.0-1.5mm.

## 5.7 Cálculo

El cálculo de la instalación de ánodos de sacrificio y del sistema de corrientes impresas (ICCP), para el casco del buque debe ser diseñado para el intervalo en el que el buque entre en dique seco, para este tipo de embarcación la varada se

realiza normalmente cada 2 años, pero el cálculo se realizará para un periodo de un año.

### 5.7.1 Conceptos del calculo

#### Factor de deterioro de recubrimiento para el diseño de protección catódica

El factor de deterioro del recubrimiento  $f_{dr}$ , describe la reducción de la corriente de protección necesaria debida a la aplicación de un recubrimiento eléctricamente aislado. Este factor tiene un valor mínimo de 0 y máximo de 1. Cuando este factor es 0, el recubrimiento es 100% aislado eléctricamente, cuando este factor es igual a 1 significa que el recubrimiento no tiene propiedades reductoras de la intensidad. Este factor de deterioro no debe confundirse con la degradación aparente de un examen visual, una pintura que muestra una extensa área de ampollas puede tener todavía unas propiedades de aislamiento eléctrico buenas y también puede darse el caso contrario, que una superficie aparentemente perfectamente revestida pueda no estar aislada eléctricamente.

El factor de deterioro es función de las propiedades de la pintura, parámetros operacionales y tiempo,  $f_{dr}$ , puede expresarse como:

$$F_{dr} = a + b \cdot t$$

Donde  $t$  expresado en años, es la edad de la pintura y  $a$  y  $b$  son constantes dependientes de las propiedades de la pintura y del ambiente.

### 5.7.2 Protección del casco

#### Intensidad generada por el casco del buque

$$I_t = \text{Intensidad Total} = (S_{m_c} \times D_{c_c} \times f_{d_{r_f}}) + (S_{m_h} \times D_{c_h})$$

$S_{m_c}$  = Superficie mojada del casco que la determinaremos con la siguiente fórmula:

$$S_{m_c} = (1,8 \times L_{bp} \times D) + (B_c \times L_{bp} \times B)$$

- $L_{bp}$  la eslora entre perpendiculares

- $D$  el calado

- $B_c$  el coeficiente de bloque

- $B$  la manga

$$S_{m_c} = (1,8 \times 34,520 \times 4,2) + (0,492 \times 34,520 \times 12,5) = 473,27 \text{ m}^2$$

$S_{m_h}$ : Superficie mojada de la hélice, disponemos de dos hélices de diámetro exterior 2400 mm Y 4 palas, la superficie mojada de ambas es de 19 m<sup>2</sup>.

Estado Superficial	Medio agresivo	Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> )
Acero desnudo	Agua de mar velocidad (1-15 m/s)	150-600
Acero pintado (epoxi, vinílica, clorocaucho)	Agua de mar	25-35
Acero pintado (sujeto a roces de fondo)	Agua de mar	50-210
Acero desnudo	Agua dulce en movimiento	56-66

*Tabla 10 Densidades de corriente de protección en distintos medios agresivos*

$D_{c}$ : Densidad de corriente del casco, 35 mA/m<sup>2</sup>

$D_{h}$ : Densidad de corriente de la hélice, 220 mA/m<sup>2</sup>

$f_{drf}$ : Factor de deterioro de recubrimiento final

$f_{drf} = a + b \times t_f$

$t_f$  Es el tiempo para el cual vamos a diseñar la instalación de ánodos de sacrificio, que en nuestro caso es 1 año. Vamos a aplicar un factor de deterioro alto, porque el sistema de pintura no lo vamos a incluir, ya que se trata de una embarcación de salvamento marítimo y la aplicación del recubrimiento no es tan estricta como pueda ser en otro tipo de buques.

$f_{drf} = 0,4$ , es decir que consideramos que la pintura tiene una eficiencia del 60% a lo largo de ese año para el que se va a diseñar el sistema de protección catódica.

La intensidad total requerida será:

$$I_t = (473,27 \times 35 \times 0,4) + (19 \times 220) = 10805,78 = 10,8A$$

### **Intensidad de corriente en un año**

Cantidad de corriente gastada en un año =  $I_t \times 365 \times 24 = 94608 \text{ Ah}$

Para el cinc el suministro de corriente es de 820 Ah/Kg

Tabla Propiedades de los ánodos



	Ánodo de zinc	Ánodo de Magnesio	Ánodo de aluminio		
Propiedad	MIL-A 18001-H	MIL-A 24412-A	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Composición %	Cd = 0,025 - 0,15 Al = 0,10 - 0,50 Fe = 0,005 máx. Pb = 0,006 máx. Cu = 0,005 máx. Si = 0,125 máx.	Cu = 0,1 máx. Al = 5 - 7 Si = 0,3 máx. Fe = 0,003 máx. Mn = 0,15 mín. Ni = 0,003 máx. Zn = 2 - 4 Otros = 0,3 máx.	Si = 0,11 - 0,21 Fe = 0,10 máx. Zn = 0,3 - 0,5 Sn = --- Mg = --- Hg = 0,02 - 0,05 In = --- Cu = 0,006 máx. Otros = 0,02 máx.	Si = 0,10 máx. Fe = 0,13 máx. Zn = 3,5 - 5,0 Sn = --- Mg = 0,3 - 0,8 Hg = --- In = 0,02 - 0,05 Cu = 0,006 máx. Otros = 0,02 máx.	0,10 máx. Fe = 0,13 máx. Zn = 4 - 5 Sn = 0,08 - 0,18 Mg = --- Hg = --- In = --- Cu = 0,01 máx. Otros = 0,02 máx.
Rendimiento	0,95	0,5	0,95	0,9	0,5
Potencial de trabajo mV vs Ag / AgCl	-1050	-1550	-1050	-1100	-1100
Potencial vs acero protegido	-250	-700	-250	-350	-350
Capacidad eléctrica teórica A-h / kg ( A-h / lb )	820 (368)	2210 (1100)	2830 (1290)	2700 (1231)	variable

Tabla 11 Datos cálculo

Masa de Zn (Kg)= $94608/820=115,37\text{Kg}$

Según la tabla anterior el rendimiento del ánodo de cinc es del 95%

Y tendremos un factor de utilización de 0.85 según la tabla siguiente

Metal	Capacidad de corriente teórica (A-año/ kg)	Rendimiento %	Factor de utilización %
Zinc	0,094	90	85
Aluminio	0,340	90	85
Magnesio	0,251	50	85

Tabla 12 Valores electroquímicos para el cálculo de vida de los ánodos

Así que la masa real de cinc a instalar será =  $115,37/(0,95 \times 0,85) = 142,87\text{kg}$

### Número total de ánodos a instalar

Los cines que vamos a utilizar para el casco del buque serán de forma de placa para soldar y tendrá un peso de, 5,6 Kg (neto). El número de ánodos será:

Nánodos= Peso total de cinc/ Peso total de cada ánodo=  $142,87/5,6=25,51$ ánodos  
Nos saldría entonces según cálculos 26 ánodos, pero colocaremos 13 ánodos a cada banda.

Siempre se trabaja con pares de cinc, ya que hay que tener en cuenta siempre la simetría y el equilibrio dinámico. Así que, aunque en los cálculos salga un número impar de ánodos, se instalará siempre un número par. Los ánodos deben distribuirse convenientemente alrededor de la superficie mojada del casco con un espacio suficiente para evitar la interacción entre ellos que reduciría la corriente útil.

Su número aumentará en la zona de Popa debido a la alta densidad de corriente originada por la hélice, evitando ciertas zonas.

Debe de mantenerse una superficie libre de ánodos, en esta superficie que vemos libre en la figura, hay muchas turbulencias y además de perjudicar la entrada de agua hacia la hélice también se produciría un desgaste excesivo de los ánodos, esta área depende del diámetro de la hélice, los valores de la figura se dan como referencia ya que dependen de la forma del casco y de la velocidad. Después de instalados los ánodos se realizarán mediciones para verificar que todo el casco del barco se encuentra dentro del potencial de protección entre 0,8 V y -0.9 V.

### **Calculo sistema de corrientes impresas**

Este sistema constara de 2 electrodos de referencia de Cinc (Zn), 2 ánodos de inyección de corriente de óxido de titanio, un armario eléctrico, 2 escobillas de grafito y un aro enorme de cobre.

El cálculo del sistema es relativamente sencillo y se realizara del siguiente modo:

$$I_1 = S_{m_c} \times \text{necesidad de corriente para el casco} = 473,27 \times 0,035 = 16,09 \text{ A}$$

$$I_2 = S_{h_c} \times 2 = 19 \times 2 = 38 \text{ A}$$

$$I_T = I_1 + I_2 = 54,09 \text{ A}$$

Necesitaremos un equipo capaz de satisfacer esta demanda de corriente.



---

**“INGENIERÍA MARINA: SISTEMAS DE  
PROTECCIÓN CATÓDICA A BORDO”**

---

**PLIEGO DE CONDICIONES**

---

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**

**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: **SEPTIEMBRE- 2016**

AUTOR: Alberto Javier Fraga Rivas

Fdo.: Alberto Javier Fraga Rivas

## **6. PLIEGO DE CONDICIONES**

### **6.1 Pliego de condiciones generales**

#### **6.1.1 Condiciones generales**

Aquí se define el astillero que realiza el trabajo, el alcance del trabajo y la ejecución del mismo. Se realizará la instalación de cines en casco y tuberías previamente calculados.

#### **6.1.2 Reglamentos y normas**

El astillero cumplirá la reglamentación del trabajo correspondiente y la contratación de un seguro obligatorio, seguro de enfermedad y reglamentación de carácter social vigente. Deberá cumplir con la norma UNE 24042 “Contratación de Obras. Condiciones Generales”. Se seguirán los reglamentos de seguridad y normas técnicas de obligado cumplimiento para este tipo de instalación.

#### **6.1.3 Materiales**

Todos los materiales empleados serán de primera calidad. Cumplirán las especificaciones y tendrán las características indicadas en el proyecto

#### **6.1.4 Recepción de material**

El director de obra de acuerdo con el astillero dará a su debido tiempo su aprobación sobre el material recibido y confirmará que permite una instalación correcta.

#### **6.1.5 Organización**

El astillero actuará de patrono legal, aceptando todas las responsabilidades que le correspondan y quedando obligado al pago de los salarios y cargas que legalmente están establecidas y en general, a todo cuanto legisle en decretos u órdenes sobre el particular ante o durante la ejecución de la obra. La organización de la obra estará a cargo del astillero y al astillero corresponderá también la responsabilidad de la seguridad contra accidentes. El astillero deberá informar al director de obra de todos los planes de organización técnica de la obra, así como de la procedencia de los materiales. Para los contratos de trabajo, compra de material o alquiler de elementos auxiliares que el astillero considere oportuno llevar a cabo y que no estén reflejados en el proyecto, solicitará la aprobación previa del director de obra, corriendo a cuenta del astillero.

## **6.1.6 Ejecución de la obra**

### **6.1.6.1 Comprobación del replanteo**

En el plazo máximo de 15 días hábiles a partir de la adjudicación definitiva al astillero, se comprobarán en presencia del director de obra, de un representante del astillero y del armador del barco, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del reglamento. Dicha acta, reflejará la conformidad del replanteo a los documentos contractuales, refiriéndose a cualquier punto, qué en el caso de disconformidad, pueda afectar al cumplimiento del contrato. Cuando el acta refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto valorado a los precios del contrato.

### **6.1.6.2 Programa de trabajo**

En el plazo de 15 días hábiles a partir de la adjudicación definitiva, el astillero presentará el programa de trabajo de la obra, ajustándose a lo que sobre el particular especifique el director de obra, siguiendo el orden de obra que considere oportuno para la correcta realización de la misma, previa notificación por escrito a la dirección de lo mencionado anteriormente. Cuando el programa de trabajo se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado contradictoriamente por el astillero y el director de obra, acompañándose la correspondiente modificación para su tramitación.

### **6.1.6.3 Comienzo**

El astillero estará obligado a notificar por escrito o personalmente de forma directa al director de obra la fecha de comienzo de los trabajos.

### **6.1.6.4 Plazo de ejecución**

La obra se ejecutará en el plazo que se estipule en el contrato suscrito con la propiedad o en su defecto en las condiciones que se especifiquen en este pliego.

## **6.1.7 Interpretación y desarrollo del proyecto**

La interpretación técnica del proyecto corresponde al técnico director de obra. El astillero está obligado a someter a éste a cualquier duda, aclaración o discrepancia que surja durante la ejecución de la obra por causa del proyecto, o circunstancias ajenas, siempre con la suficiente antelación en función de la importancia del asunto con el fin de darle solución lo antes posible.

El astillero se hace responsable de cualquier error motivado por la omisión de esta obligación y consecuentemente deberá rehacer a su costa los trabajos que correspondan a la correcta interpretación del proyecto.

#### **6.1.8 Variaciones**

No se consideran como mejoras o variaciones del proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas expresamente por el director de obra sin variación del importe contratado.

#### **6.1.9 Obras complementarias**

El astillero tiene la obligación de realizar todas las obras complementarias que sean indispensables para ejecutar cualquiera de las obras especificadas en el proyecto, estas obras variarán el importe contratado.

#### **6.1.10 Modificaciones**

El director de obra está facultado para introducir las modificaciones que considere oportunas, durante la construcción, siempre que cumpla las condiciones técnicas del proyecto y de forma que no varíe el importe total de la obra. El astillero no podrá hacer alteración alguna de las partes del proyecto sin autorización del director de obra. Tendrá la obligación de deshacer toda clase de obra que no se ajuste a las condiciones expresadas en este documento.

#### **6.1.11 Obra defectuosa**

Cuando el astillero halle en la obra algo que no se ajuste al proyecto, el director de obra podrá aceptarlo o rechazarlo. Si se acepta, se fijará el precio que crea justo con arreglo a las diferencias que hubiera, estando el astillero obligado a aceptar dicha valoración.

Si se rechaza, se reconstruirá a expensas del astillero la parte mal ejecutada sin que ello sea motivo de una reclamación económica o de ampliación del plazo de ejecución.

#### **6.1.12 Medios auxiliares**

Serán por cuenta del astillero todos los medios y maquinaria auxiliar que sean necesarias para la ejecución de la obra. En caso de rescisión por incumplimiento del contrato por parte del astillero, podrán ser utilizados libre y gratuitamente por la dirección de obra hasta la finalización de los trabajos. Todos los medios auxiliares quedarán en propiedad del astillero una vez finalizada la obra, pero no

tendrá derecho a reclamación alguna por desperfectos a que en su caso haya dado lugar.

#### **6.1.13 Conservación**

Es obligación del astillero la perfecta conservación de las obras hasta la fecha de recepción definitiva por la propiedad y quedan a su cargo los gastos derivados de ello.

#### **6.1.14 Subcontratación de obras**

El astillero podrá concretar con terceros la realización de determinadas obras, previo conocimiento por escrito al director de obra, salvo que el contrato disponga lo contrario. Los gastos derivados de la subcontratación correrán a cargo del astillero.

#### **6.1.15 Recepción de las obras**

##### **6.1.15.1 Recepción provisional**

Una vez terminadas las obras, tendrá lugar la recepción provisional y se realizará para ello un reconocimiento detenido del director de obra y la propiedad en presencia del astillero, levantando acta y empezando a contar desde ese día el plazo de garantía si se hallan en estado de ser admitidas. Si no se admiten, se hará constar en el acta y se darán instrucciones al astillero para subsanar los defectos observados, fijándose un plazo para ello. Se procederá de nuevo a un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional, sin que esto suponga gasto alguno para la propiedad.

##### **6.1.15.2 Plazo de garantía**

El plazo de garantía será de al menos un año, contando desde la fecha de la recepción provisional. Durante este tiempo queda a cargo del astillero la conservación de las obras y arreglos de desperfectos derivados de una mala construcción o ejecución de la instalación.

##### **6.1.15.3 Recepción definitiva**

Se realizará después de transcurrido el plazo de garantía o en su defecto a los 6 meses de la recepción provisional. A partir de esa fecha cesará la obligación del astillero de conservar y reparar a su cargo las obras, si bien subsistirán las responsabilidades que pudieran derivarse de defectos ocultos y deficiencias de causa dudosa.

### **6.1.16 Contratación del astillero**

El conjunto de las instalaciones que realizará el astillero que se dedica una vez estudiado el proyecto y comprobada su viabilidad.

### **6.1.17 Contrato**

Se formalizará mediante contrato privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes. Comprenderá la adquisición de todos los materiales, transporte, mano de obra, medios auxiliares para la ejecución de la obra proyectada en el plazo estipulado, así como la reconstrucción de las unidades defectuosas, la realización de las obras complementarias y las derivadas de las modificaciones que se introduzcan durante la ejecución, esta últimas en los términos previstos. La totalidad de los documentos que componen el proyecto técnico de la obra serán incorporados al contrato y tanto el astillero como el propietario deberán firmarlos en testimonio de los que conocen y aceptan.

### **6.1.18 Responsabilidades**

El astillero será el responsable de la ejecución de las obras establecidas en el proyecto, como consecuencia de ello estará obligado a la desinstalación de las partes mal ejecutadas y a su instalación correcta. El astillero es responsable de los accidentes o daños que por errores, inexperiencia o empleo de métodos inadecuados, se produzcan a la propiedad, a los vecinos o terceros en general. El astillero es el único responsable del incumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral respecto su personal, y por tanto, de los accidentes que puedan ocurrir.

### **6.1.19 Rescisión del contrato**

Se consideran causas suficientes para la rescisión del contrato las siguientes:

- 1- Quiebra del astillero
- 2- Modificación del proyecto con una alteración de más de un 25%
- 3- Modificación de la obra sin autorización previa
- 4- Suspensión de las obras ya iniciadas
- 5- Incumplimiento de las condiciones del contrato cuando fue de mala fe
- 6- Terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse completado
- 7- Actuación de mala fe en la ejecución de los trabajos



8- Subcontratar la totalidad o parte de la obra a terceros sin autorización del director de obra y el propietario.

## **6.2 Pliego de condiciones económicas**

### **6.2.1 Mediciones y valoración de las obras**

El astillero verificará los planos y efectuará las mediciones correspondientes. En caso de hallar anomalías reclamará al director de obra y éste lo comunicará a la parte interesada.

### **6.2.2 Abono de las obras**

En el contrato se fijará de forma detallada la forma y plazos en que se abonarán las obras realizadas. Las liquidaciones parciales que puedan establecerse tendrán carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a las certificaciones que resulten de la liquidación final. No suponiendo dichas liquidaciones, aprobación ni recepción de las obras que comprenden. Terminadas las obras se procederá a la liquidación final que se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el contrato.

### **6.2.3 Precios**

El astillero presentará, al formalizarse el contrato, la relación de precios de las obras a realizar, los cuales de ser aceptados tendrán valor contractual y se aplicarán a las posibles variaciones que pueda haber. En caso de tener que realizarse obras no previstas en el proyecto se fijará su precio entre el director de obra y el astillero antes de iniciar la obra y se presentará al propietario para su aceptación o no.

### **6.2.4 Revisión de precios**

En el contrato se establecerá si el Astillero tiene derecho a revisión de precios y la fórmula a aplicar para calcularla. En defecto de esta última, se aplicará a juicio del Director de Obra alguno de los criterios oficiales aceptados.

### **6.2.5 Precios contradictorios**

Si por cualquier circunstancia se hiciese necesaria la determinación de algún precio contradictorio, el Director de Obra lo formulará basándose en los que han servido para la formación del presupuesto de este proyecto, quedando el Astillero obligado, en todo caso aceptarlos.

### **6.2.6 Penalizaciones por retrasos**

Por retrasos en los plazos de entrega de la obra, se podrán establecer tablas de penalización cuyas cuantías y demoras se fijarán en el contrato. Estas cuantías podrán, bien ser cobradas a la finalización de las obras, bien ser descontadas de la liquidación final.

### **6.2.7 Liquidación en caso de rescisión de contrato**

Siempre que se rescinda el contrato por las causas anteriormente expuestas, o bien por el acuerdo de ambas partes, se abonarán al Astillero las unidades de obra ejecutadas y los materiales acopiados a pie de obra y que reúnan las condiciones y sean necesarios para la misma. Cuando se rescinda el contrato, llevará implícito la retención de la fianza para obtener los posibles gastos de conservación, el periodo de garantía y los derivados del mantenimiento hasta la fecha de la nueva adjudicación.

### **6.2.8 Fianza**

En el contrato se establecerá la fianza que el astillero deberá depositar en garantía del cumplimiento de este, o se convendrá una retención sobre los pagos realizados a cuenta de la obra realizada. De no estipularse la fianza en el contrato, se entiende que se adoptará como garantía una retención del 5% sobre los pagos a cuenta citados.

La fianza retenida se abonará al astillero en un plazo no superior a 30 días una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra.

### **6.2.9 Gastos diversos por cuenta del astillero**

El astillero suministrará elementos básicos, tales como agua, energía eléctrica y cuanto uso personal para las propias obras sea necesario. Son gastos por cuenta del astillero, los correspondientes a los materiales, mano de obra y medios auxiliares que se requieran para la correcta ejecución de la obra.

### **6.2.10 Conservación de las obras durante el plazo de garantía**

Correrán por cuenta del astillero los gastos derivados de la conservación de las obras durante el plazo de garantía.

### **6.2.11 Medidas de seguridad**

El astillero deberá cumplir en todo momento las leyes y regulaciones relativas a seguridad e higiene en el trabajo. El incumplimiento de estas será causa de

sanción, siguiendo las especificaciones redactadas en el contrato, donde vendrán reflejadas las distintas cuantías en función de la falta detectada.

### **6.2.12 Responsabilidad por daños**

La propiedad tiene concertada una póliza de responsabilidad civil por daños causados a terceros, en el que figura el astillero como asegurado. Este seguro garantiza la responsabilidad civil de los daños causados accidentalmente a terceros por motivo de las obras. En dicha póliza queda garantizada la responsabilidad civil que pueda serle exigida al astillero por daños físicos y materiales causados a terceros por los empleados del mismo.

Queda excluida toda prestación que deba ser objeto del seguro obligatorio de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales de la seguridad social, a los cuales esta póliza no podrá sustituir o complementar. Igualmente quedan excluidas las sanciones de cualquier tipo, tanto las multas como los recargos en las indemnizaciones exigidas por la legislación laboral.

### **6.2.13 Demoras**

Al encargarse el trabajo se fijará por ambas partes, el programa con la fecha de inicio y de terminación. El astillero pondrá los medios necesarios para ello, que deberán ser aceptados por la propiedad. Solo se considerarán demoras excusables los retrasos o interrupciones imputables a causas de fuerza mayor, tales como huelgas generales, causas naturales, etc. En caso de que el astillero incurra en demoras no excusables, le serán aplicables las siguientes sanciones:

- Por retraso en la incorporación del personal y otros medios necesarios para la finalización del trabajo desde un 1% de la facturación de estos encargos hasta un máximo de 5% por día de retraso.
- Por retraso en la finalización de los trabajos o retrasos en los trabajos intermedios que expresamente se indiquen desde un 1% hasta un 5% por día de retraso
- Por incumplimiento en la limpieza de las instalaciones: 300€ la primera vez aumentando en otros 300€ las sucesivas hasta un máximo de tres veces, a partir de la cual se procederá a restituir por la propiedad las condiciones de limpieza y orden, cargando el coste al astillero

### **6.3 Pliego de condiciones facultativas:**

#### **6.3.1 Normas a seguir**

Las obras a realizar estarán de acuerdo y se guiarán por las siguientes normas: - Reglamentación general de contratación según Decreto 3410/75, del 25 de noviembre. - Artículo 1588 y siguientes del código civil en los casos en que sea procedente su aplicación al contrato que se trate. - Ordenanzas generales de seguridad e higiene en el trabajo, aprobada por orden del 9.3.71 del ministerio de trabajo. - Normas UNE - Plan nacional y ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo - Normas de la compañía suministradora de los materiales.

#### **6.3.2 Personal**

Es astillero tendrá al frente de la obra un encargado con autoridad sobre los demás operarios y conocimientos acreditados y suficientes para la ejecución de la obra. El encargado recibirá, cumplirá y transmitirá las instrucciones y órdenes al director de obra. El astillero tendrá en la obra, el número y clase de operarios que requiera el director de obra, el número y clase de operarios que hagan falta para el volumen y naturaleza de los trabajos que se realicen, los cuales serán de reconocida aptitud y experimentados en el oficio. El astillero estará obligado a separar de la obra a aquel personal que a juicio del director no cumpla con sus obligaciones o realice el trabajo de forma defectuosa, bien por falta de conocimientos o por obras de mala fe.

#### **6.3.3 Admisión y retirada de materiales**

No se procederá al empleo de los materiales sin que estos sean examinados y aceptados en los términos que prescriben las respectivas condiciones estipuladas para cada clase de material, esto será realizado por el director de obra. Se cumplirán con todos los análisis, ensayos y pruebas con los materiales y elementos de las obras que ordene el director de obra.

### **6.4 Pliego de condiciones técnicas:**

#### **6.4.1 Conexión de cines y elementos de protección en general**

Antes de la instalación de los cines, se someterán a un control visual, no deberán de tener poros ni zonas con oclusiones en su superficie, si son de contacto directo (pala de timón) que la zona de contacto sea plana. Si los cines no cumplen con lo anterior serán rechazados para su instalación. Previamente a la instalación se deberá entregar el certificado correspondiente de composición química cumplimentado por el fabricante. Los cines que vayan en el casco serán de una

forma adecuada para que perturbe lo menos posible el flujo del agua. Cada vez que se instale un cinc, se comprobarán los puntos de anclaje y de las conexiones de los terminales de masa, para asegurarse de que los contactos de masa se mantienen correctamente ejecutados y apretados. No se aceptará la instalación del sistema de cableado de cines hasta que se haya realizado una medida de potencial de protección establecido entre los equipos sujetos a protección y el agua de mar. La medida de potencial se llevará a cabo con un electrodo de / adecuado para la medición en agua de mar, junto con el listado de toma de medidas se suministrará un certificado de calibración del equipo de medición. Una vez instalado el cableado de masas de acción galvánica se medirá el aislamiento de cada uno de los conductores de masas de forma independiente.

#### **6.4.2 Instalación de sistemas de protección de tuberías**

Las tuberías del circuito de refrigeración de agua salada de los motores principales y auxiliares y en general todas las tuberías sujetas a vibración o movimientos derivados de la instalación de los equipos sobre silemblock u otros sistemas flotantes estarán convenientemente cableadas para garantizar la conducción del potencial eléctrico mediante este cableado externo.

El cableado entre manguitos deberá realizarse sobre espárragos roscados, previamente soldados a las boquillas de la tubería en ambos extremos de esta. Los espárragos utilizados para la fijación deben tener en la zona de soldadura una superficie plana sobre la que poder realizar el apoyo y apriete del terminal, no se admitirán espárragos procedentes de varilla roscada soldados directamente sobre las boquillas. Las zonas de contacto directo del cable desnudo con el terminal se sellarán mediante fundas termo retráctiles de manera que se garantice la estanqueidad de estos extremos ante la entrada de agua de mar y humedad atmosférica.

#### **6.4.3 Aceptación y rechazo de los materiales e instalación**

##### **6.4.3.1 Aceptación**

Todos los materiales cumplirán en su construcción y pruebas con la norma UNE que les corresponda y en su defecto, con aquellas normas aplicables a cada tipo de material.

#### **6.4.3.2 Rechazo**

El incumplimiento de cada una de las normas será motivo de rechazo del material correspondiente.

#### **6.4.4 Inspección y pruebas de la instalación de la obra**

Durante la fase de ejecución de las obras, el instalador eléctrico se someterá en todo momento a lo especificado en este apartado en lo referente a ejecución, disposición, calidad y en general a todos los requisitos detallados en estas especificaciones.

Previo a la entrega final de la embarcación y a medida que se vayan realizando las obras, el instalador estará obligado a realizar las mediciones establecidas en el protocolo de pruebas. Una vez terminadas las obras de instalación de los cines, se cumplimentarán las últimas mediciones. Si por alguna circunstancia la entrega de la embarcación sufre demora o retraso, al tratarse, de una instalación sometida a desgaste, con una duración finita, el receptor de la embarcación podrá optar por una comprobación del estado de la protección y en su caso si corresponde la renovación de los ánodos para un periodo anual completo. El astillero o en su caso la entidad responsable de la demora, podrá optar por abonar una penalización equivalente al grado de protección que se ha perdido como consecuencia del retraso sufrido.



---

# “INGENIERÍA MARINA: SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA A BORDO”

---

## PRESUPUESTO

---

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**  
**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

FECHA: **SEPTIEMBRE- 2016**

AUTOR: Alberto Javier Fraga Rivas

Fdo.: Alberto Javier Fraga Rivas

**7 PRESUPUESTO****Instalación ánodos de cinc en el casco y sistema de corrientes impresas**

1.ELEMENTO	2.UNIDADES	3.PRECIO UNITARIO	4.PRECIO TOTAL
------------	------------	-------------------	----------------

---

1 Elemento: Ánodos de cinc protección casco

2. Unidades: 26 forma de placa para atornillar de 5,6kg neto (6 kg bruto)

3. Precio Unitario: 22,67€

4. Precio total: 589,67€

1 Elemento: Transporte de la mercancía

2. Unidades: 156 kg ánodos

3. Precio Unitario: 0,96€/kg

4. Precio total:149,76€

1 Elemento: Equipo de corrientes impresas (lccp) incluye 2 ánodos de referencia de Zn, 2 ánodos de inyección de corriente de óxido de titanio, el armario eléctrico, 2 escobillas de grafito y aro de cobre.

2. Unidades: 1

3. Precio Unitario: 18.000€

4. Precio total: 18.000€

1 Elemento: Mano de obra ánodos casco y sistema lccp

2. Unidades: 26 unidades 4 horas, y 34 h lccp

3. Precio Unitario: 40€/h

4. Precio total: 1520€



## 5. CONCEPTO

## 6. PRECIO TOTAL

---

5. Concepto: Control y medición de potencial

6. Precio total: 250€

5. Concepto: Trabajos medición anterior a cobro

6. Precio total: 160€

5. Concepto: Trabajos medición posterior a flote

6. Precio total: 160€

5. Concepto: Verificación posterior a los 3 y 6 meses

6. Precio total: 350€

5. Concepto: Honorarios proyecto

6. Precio total: 600€

5. Concepto: Entrada a astillero

6. Precio total: 340€

5. Concepto: 6% licencias y trámites

6. Precio total: 1363,16€

## 7. IVA

## 8. PRECIO TOTAL

---

7. IVA 21%: 5057,34€

8. Precio Total: 29139,93€

## 8. BIBLIOGRAFÍA

<http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/fcm12.html> (Julio 2016)

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7\\_n13/pdf/a06.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n13/pdf/a06.pdf) Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Agosto 2016)

Protección catódica: ICCP y antifouling Llalco Fluid Technology, S.L., <http://www.llalco.com> (Agosto 2016)

<http://www.cathelco.com/> (Agosto 2016)

Protección Catódica Argo,S.A. <http://www.argo-es.com> (Agosto 2016)

Wilson Walton,Marine corrosión experts. <http://www.wilsonwalton.com> (Agosto 2016)

Cálculo, diseño e instalación de los ánodos de sacrificio en una embarcación pesquera “Sara Báñez García “Universidad de Cantabria

Propuestas anticorrosivas En el diseño de un buque en aguas del Mar del Norte, “Pablo Villamarín Cao” ETSNM – UDC”

Mantenimiento preventivo de la corrosión aplicado a la obra viva del buque “Eduardo Sesé Rodríguez” Universidad de la Laguna”

Sistema de Pintura estándar aplicado a un buque de construcción de acero “Silvia Valeria Soliz Choque” Universidad de la Laguna”

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec\\_7.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_7.htm) (Agosto 2016)

“Información compartida con el proyecto de Daniel Tacón Puga Sistemas de Protección del Casco Septiembre 2016”



---

# “INGENIERÍA MARINA: SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA A BORDO”

---

## PLANOS

---

**GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**  
**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

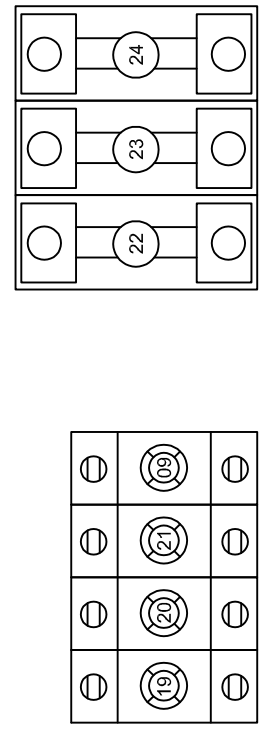
FECHA: **SEPTIEMBRE- 2016**

AUTOR: Alberto Javier Fraga Rivas

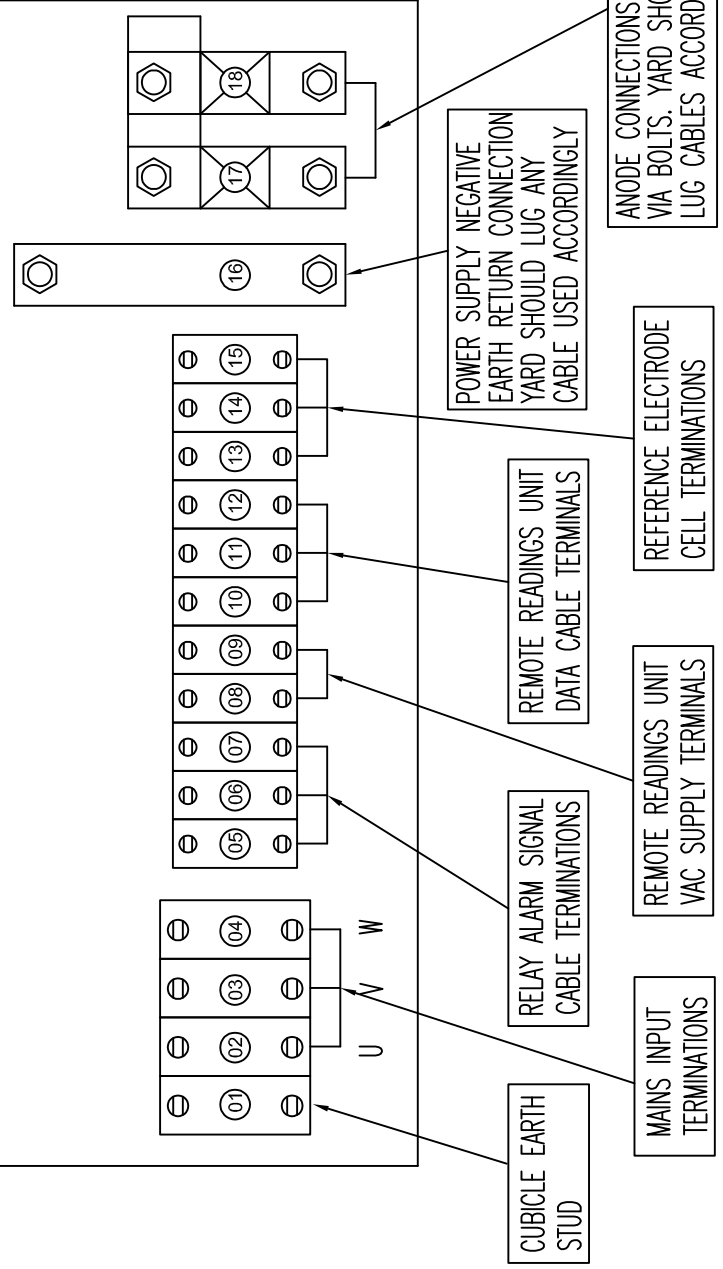
Fdo.: Alberto Javier Fraga Rivas


## **9- PLANOS**

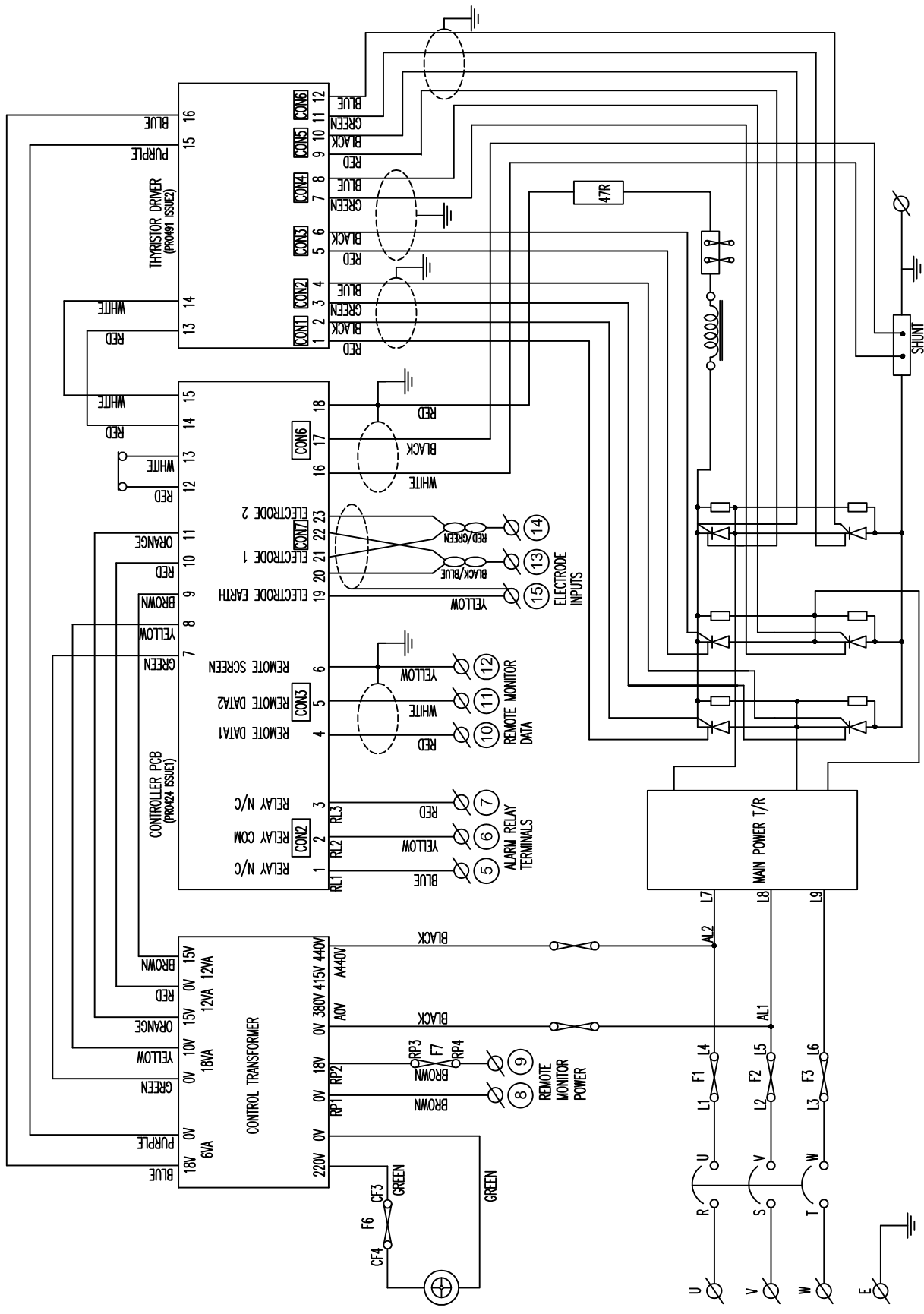
KEY TO CABLE TERMINATIONS:	CABLE SUPPLY
01 ENCLOSURE EARTH	CATHELCO
02 LIVE1 - MINS IN (U)	YARD
03 LIVE1 - MINS IN (V)	
04 LIVE1 - MINS IN (W)	
05 NORMALLY CLOSED RELAY	YARD
06 COMMON RELAY	
07 NORMALLY OPEN RELAY	YARD
08 18V AC POWER RETURN	
09 18V AC POWER OUT - FUSED(F7)	YARD
10 DATA CORE 1	
11 DATA CORE 2	
12 DATA EARTH - SCREEN	YARD
13 PORT ELECTRODE CELL	
14 STBD ELECTRODE CELL	
15 ELECTRODE CELL EARTH - SCREEN	CATHELCO
16 MAIN HULL EARTH RETURN	
17 PORT ANODE	YARD
18 STBD ANODE	
19 TRANSFORMER CONTROL FUSE(F4)	CATHELCO
20 TRANSFORMER CONTROL FUSE(F5)	
21 FAN CONTROL FUSE(F6)	
22 MAINS FUSE - LIVE1(F1)	CATHELCO
23 MAINS FUSE - LIVE2(F2)	
24 MAINS FUSE - LIVE3(F3)	




VIEW AT TERMINAL PLATE IN FRONT OF PSU WITH DOOR OPEN



	<b>CATHELCO LIMITED</b> MARINE HOUSE, DUNSTON ROAD, CHESTERFIELD, DERBYSHIRE, S41 8NY, UK.		TITLE: <b>INPUT CABLE TERMINAL DETAILS FOR          3 PHASE POWER SUPPLY UNIT</b>	PA NO: 	DATE: 01/08/03	SCALE: NOT TO SCALE
	REV:	B 20.09.04 A 16.06.04	FUSE CABLES CATHELCO SUPPLY 18V CORRECTED MODIFICATION:	DRAWN: CAN	CHECK: PL	DRG NO: C 2082



	<b>CATHELCO LIMITED</b> MARINE HOUSE, DUNSTON ROAD, CHESTERFIELD, DERBYSHIRE, S41 8NY, UK.		TITLE: <b>SCHEMATIC CIRCUIT BLOCK DIAGRAM FOR          3 PHASE THYRISTOR POWER SUPPLY UNIT</b>	PA NO: 	DATE: 03/08/09	SCALE: NOT TO SCALE
	REV: A	DATE: 	WIRE COLOURS UPDATED 03/08/09	CHECK: CC	DRAWN: AH	DRG NO: C 2083

# EARTH CONNECTION TO SHIPS MAIN HULL STRUCTURE. USE 1.5MM SQ CORE SHIPS- WIRING CABLE OR SIMILAR, UNLESS PROVIDED BY CATHELCO

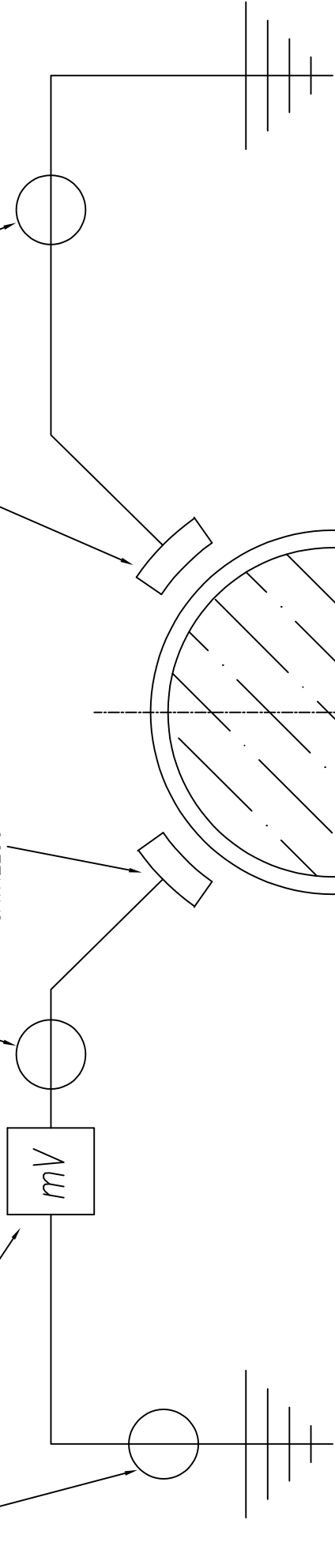
# CABLE CONNECTION TO SHAFT MONITOR BRUSH SET. USE 1.5MM SQ CORE SHIPS- WIRING CABLE OR SIMILAR, UNLESS PROVIDED BY CATHELCO

EARTH CONNECTION TO SHIPS MAIN HULL STRUCTURE. USE 35MM SQ CORE SHIPS- WIRING CABLE OR SIMILAR, UNLESS PROVIDED BY CATHELCO

# SHAFT MONITORING METER BY CATHELCO

# SHAFT MONITORING BRUSH SET BY CATHELCO

SHAFT EARTHING BRUSH SET BY CATHELCO



NOTES:

- 1) ITEMS MARKED BY # ARE OPTIONAL SUPPLY ACCORDING TO CONTRACT DETAILS
- 2) FOR FULL ASSEMBLY INSTRUCTIONS ALWAYS REFER TO THE CATHELCO C-SHIELD MANUAL

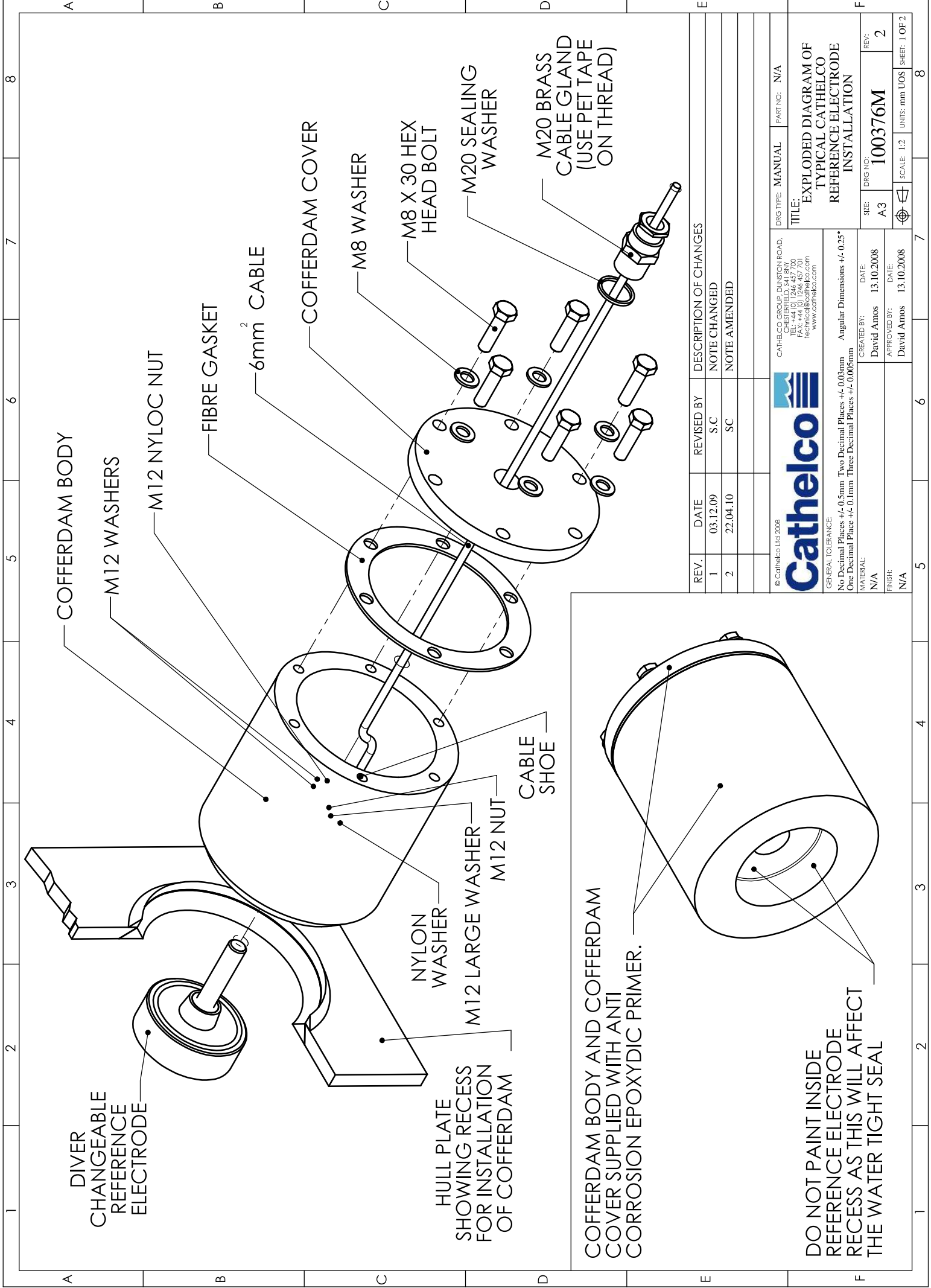


**CATHELCO LIMITED**  
MARINE HOUSE, DUNSTON ROAD,  
CHESTERFIELD, DERBYSHIRE, S41 8NY, UK.

REV:	DATE:	MODIFICATION:
C	28:08:97	CABLE SIZES AMENDED
B	10:05:94	RE-DRAWN

TITLE:  
**WIRING DIAGRAM FOR C-SHIELD  
PROPPELLER SHAFT EARTHING ASSY**

PA NO:	DATE:	SCALE:
	10: MAY: 94	NOT TO SCALE
DRAWN:	CHECK:	DRG NO:
JRH	DP	C1159



REV.	DATE	REVISED BY	DESCRIPTION OF CHANGES
1	03.12.09	S.C	NOTE CHANGED
2	22.04.10	SC	NOTE AMENDED

© Cathelco Ltd 2008

**Cathelco**

CATHELCO GROUP, DUNSTON ROAD,  
CHESTERFIELD, S41 8NY  
TEL: +44 (0) 1246 457 70  
FAX: +44 (0) 1246 457 70  
technical@cathelco.com  
www.cathelco.com

DRG TYPE: MANUAL PART NO: N/A

TITLE: EXPLODED DIAGRAM OF TYPICAL CATHELCO REFERENCE ELECTRODE INSTALLATION

GENERAL TOLERANCE:  
No. Decimal Places +/- 0.5mm Two Decimal Places +/- 0.03mm  
One Decimal Place +/- 0.1mm Three Decimal Places +/- 0.005mm

Angular Dimensions +/- 0.25°

CREATED BY: David Amos DATE: 13.10.2008  
APPROVED BY: David Amos DATE: 13.10.2008

MATERIAL: N/A  
FINISH: N/A

DRG NO: 100376M  
REV: 2  
SIZE: A3  
SCALE: 1:2  
UNITS: mm LOS SHEET: 1 OF 2

DO NOT PAINT INSIDE REFERENCE ELECTRODE RECESS AS THIS WILL AFFECT THE WATER TIGHT SEAL

COFFERDAM BODY AND COFFERDAM COVER SUPPLIED WITH ANTI CORROSION EPOXYDIC PRIMER.

1 2 3 4 5 6 7 8

A B C D E F