

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Técnica Naval**

**Protección catódica de un buque
Ro Ro de 210 Plataformas**

Ismael DÍEZ ORTEGA



Centro: **E. U. I. T. NAVAL**
Titulación: **I. T. NAVAL**
Fecha: **Octubre 2008**





Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



ÍNDICE

ÍNDICE	3
MEMORIA DESCRIPTIVA.....	6
1.0 INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Breve introducción histórica	7
1.2 Definición de corrosión.....	10
1.3 Protección catódica.	12
1.3.1 Diagramas de Pourbaix.	13
1.4 Características del buque	19
1.4.1 Tipo de Buque	19
1.4.2 Disposición General	19
1.4.3 Dimensiones Principales	20
1.4.4 Capacidades de los tanques.	21
1.4.5 Peso Muerto.....	21
1.4.6 Propulsión, Velocidad y Autonomía	21
1.4.7 Acomodación.....	22
2.0 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MECANISMO DE CORROSIÓN.....	23
2.1 Corrosión de tipo electroquímico.	23
2.2 Corrosión directa.....	29
3.0 PÉRDIDAS ECONÓMICAS ORIGINADAS POR LA CORROSIÓN.....	30
4.0 .MÉTODOS DE PROTECCIÓN	33
4.1 Métodos de diseño.....	33
4.1.1 Importancia del diseño de los objetos en la protección anticorrosiva.	34
4.2 Recubrimientos protectores.	35
4.3 Métodos electroquímicos.....	35
5.0 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.....	36
5.1 Parámetros ambientales que afectan a la protección catódica.....	36
5.2 Corrientes impresas contra sistema de ánodos de sacrificio.	38



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



5.3 Potenciales de protección.	40
5.3.1 Medida de potenciales.	41
5.4 Diseño de las densidades de corriente.	41
5.5 Vida de diseño.	42
5.6 Materiales de los ánodos de sacrificio y su rendimiento.	43
5.6.1 Materiales.	43
5.6.2 Rendimiento de los materiales de los ánodos de sacrificio.	46
5.7 Pinturas y su uso en combinación de protección catódica.	47
5.8 Factor de utilización de los ánodos de sacrificio.	49
5.9 Ánodos, su instalación y ubicación (sistema Antifouling).	51
5.10 Resistividad.	53
6.0 Funcionamiento y constitución de los Sistemas de Corrientes Impresas y Antifouling.	55
6.1 Sistema de corrientes impresas.	55
6.2 Sistema Antifouling.	58
CÁLCULOS.	60
7.0 Bases del diseño.	61
7.1 Protección catódica activa.	62
7.1.1 Protección catódica activa externa.	62
7.1.2 Protección catódica activa interna.	65
7.1.2.1 Justificación de los caudales de las tomas de mar.	67
7.1.2.2 Tomas de mar baja, babor y estribor en popa.	67
Valores en los que se basa el cálculo.	68
Cálculo.	68
7.1.2.3 Toma de mar alta de popa.	69
Valores en los que se basa el cálculo.	70
Cálculo.	70
7.1.2.4 Toma de mar proa.	71
Valores en los que se basa el cálculo.	71
Cálculo.	72
7.1.2.5 Sistema redundante en filtros de las tres tomas de mar de popa.	73
Valores en los que se basa el cálculo.	73
Cálculo.	74



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



7.2 Protección catódica pasiva externa e interna.....	74
8.0 CONCLUSIONES.....	76
PLANOS.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	¡Error! Marcador no definido.



**Protección catódica de un
buque Ro-Ro de 210
plataformas**



MEMORIA DESCRIPTIVA



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



1.0 INTRODUCCIÓN

Como indica el título del proyecto: **“DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATODICA DE UN BUQUE RO-RO DE 210 PLATAFORMAS”**, el proyecto consiste en la definición de los sistemas de protección para un navío, tanto activos como pasivos. Para ello tendré que servirme de las reglas, tanto de la Administración Marítima Internacional como de las Sociedades de Clasificación, más concretamente me centraré en el uso del documento técnico de la sociedad de clasificación **Det Norske Veritas**, y su **“recommended practice RP B401”**, **Cathodic Protection Design, 1993**, así como de varios documentos técnicos y sobre todo de la experiencia de profesionales que muy amablemente me han ayudado a esclarecer mis dudas.

El buque será clasificado y diseñado según la sociedad de clasificación **Det Norske Veritas**.

1.1 Breve introducción histórica

La aventura de la humanidad con éstos materiales que nos interesan llamados metales, se inicia alrededor del 5000 AC, en la denominada Edad de los metales, en la cual se produce una evolución muy importante, un cambio consistente en la metalurgia y la creación de útiles de trabajo principalmente. Primero empezaron usando el cobre, el cuál comenzó a emplearse para la creación de adornos, luego surgió la Edad de bronce, en la cual empezamos a crear útiles para trabajo, armas, utensilios domésticos y fue en esta época cuando surgió la navegación. Más tarde comenzó La Edad del Hierro, para el trabajo del cual eran necesarios unos conocimientos y tecnología distintos a la usada en la Edad de Bronce (a partir de éstos conocimientos y tecnología surgió el oficio del herrero).

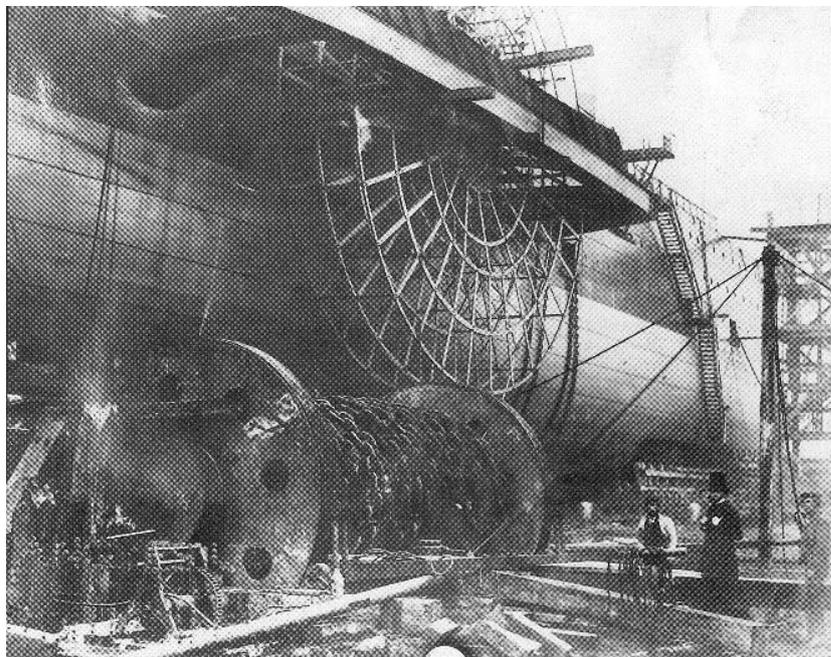


Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Sin embargo y desde los primeros tiempos del empleo de materiales no nobles, desde el momento de su extracción estos reaccionaban con el medio ambiente.

Ahora damos un salto en la historia y viajamos al siglo XIX, en el cuál surgen los primeros buques con cascos de hierro que es lo que nos atañe, debemos nombrar al británico *Vulcan*, botado en 1818, el cual parece haber sido el primer velero construido con ese metal. El primer vapor del mismo material fue el *Aaron Manby*, botado en 1821. Más de veinte años después, se diseñó el *Great Britain*, de 3618 t. También es recordado de aquella época, sobre todo por el enorme tamaño del *Great Eastern*, el cuál fue Botado en 1858 y durante muchos años fue el buque más grande del mundo, sus dimensiones eran de 210 m de eslora por 24 de manga, y tenía ruedas de paletas, hélices y velas. Fue desguazado en 1888.



El buque Great Eastern durante su construcción en los astilleros de John Scott Russell, en el Támesis. En la foto podemos apreciar aunque dificultosamente el gran casco metálico.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Dos siglo antes de todo esto, en el XVII, Platón había propuesto que la corrosión no era más que una segregación de los componentes metálicos de dicho material, pero otros investigadores fueron los que se dieron cuenta que el hierro oxidado pesa más que el hierro antes de su exposición al ambiente, lo cual constituyó el principio de fijación de oxígeno para la constitución de óxido. Lavoisier fue quién culpó al oxígeno como elemento que causaba el aumento de peso en el hierro expuesto a la atmósfera, llegando a decir que toda corrosión era causada por el oxígeno, lo cual se acerca bastante a la realidad.

Y es que a principios del pasado siglo algunos investigadores observaron que el alambre se corroía mucho antes que el hierro, y fue a partir de aquí cuando surgió la idea de que la resistencia a la corrosión es mucho mejor en los metales puros. Esta afirmación anterior, encierra en sí una realidad y es que los materiales que mejor resisten las sollicitaciones mecánicas suelen presentar más problemas desde el punto de vista de la corrosión, que por otro lado suelen ser materiales aleados.

Un ingeniero está normalmente acostumbrado a preocuparse por la elección de los materiales a usar desde un punto de vista de su aplicación, como elementos constitutivos de estructuras a los cuales dotan de resistencia, pero también y a su vez deben hacerlo por su comportamiento químico, en el sentido de su posible reacción con el ambiente y otros metales, es decir su capacidad para evitar corroerse.

En los últimos cincuenta años los conocimientos acerca de los mecanismos de corrosión y degradación de los materiales se han disparado, consecuentemente los medios de prevención del fenómeno han aumentado a la misma velocidad, pero sin embargo el desarrollo tecnológico, impone cada día unas condiciones de empleo cada vez más severas, lo cual origina la necesidad de ir renovando los conocimientos. Sobre todo es muy importante saber cuál va a ser el comportamiento de los diferentes materiales en nuevas condiciones de empleo que generalmente siempre son más severas.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



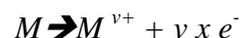
1.2 Definición de corrosión.

El término protección catódica en buques, sin duda alguna está ligado a la corrosión, que es la causante de su existencia, por ello y antes de nada pasaré a definir brevemente el concepto y dar una breve descripción del porqué del mismo.

Los materiales, y en especial los metales, son obtenidos a partir de especies minerales estables en las condiciones normales en las que se encuentran en su entorno (bajo tierra normalmente). Por tanto, al ser extraídos son expuestos a unas nuevas condiciones, las ambientales, y a consecuencia de este cambio intentan estabilizarse química y enérgicamente. El paso espontáneo de estos materiales a su estado natural combinado, es denominado CORROSIÓN.

Desde el momento de la extracción del mineral éste muestra una tendencia inherente a reaccionar con el medio ambiente, de forma que tratan de estabilizarse llegando a su forma combinada. El proceso de corrosión es natural y espontáneo, además cuanto más energía gastamos en la obtención del metal a partir del mineral, más facilidad tendrá para volver a su estado combinado, por lo que podemos decir que más favorecida resulta la reacción de corrosión.

La oxidación es un proceso electroquímico en el que los átomos metálicos pierden electrones. Así un metal M con valencia v , puede experimentar una oxidación según la reacción;



Donde el metal M se oxida (pérdida de electrones), convirtiéndose en un ión con v^{+} cargas positivas al perder sus electrones de valencia. Conviene recordar que un Ion se define como una especie química, ya sea un átomo o una molécula, que posee una carga



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



eléctrica. Los iones cargados negativamente, producido por la ganancia de electrones, se les conoce como aniones (son atraídos por el ánodo) y los cargados positivamente, llamados cationes, consecuencia de la pérdida de electrones (esta vez atraídos por el cátodo).

Por lo dicho en los párrafos anteriores podemos decir que la metalurgia extractiva y corrosión son procesos totalmente opuestos en cuanto a su acción.

La corrosión es el problema frecuente de todas las aplicaciones metálicas, una corrosión no muy importante puede generar la degradación de las características y de la durabilidad de la instalación, legando todo tipo de problemas para la vida y explotación de las diferentes estructuras. En cualquier caso la corrosión es un proceso destructivo en lo que a ingeniería se refiere, y representa una enorme pérdida económica.

Son razones termodinámicas las que fundamentalmente motivan que metales obtenidos a partir de minerales tiendan, en su uso normal a su estado combinado.

Existen muchas definiciones posibles para el término Corrosión, de las cuales podemos tomar como referencia estas; “Corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente” (extraída de <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion>), ésta tomada literalmente de la **Real Academia Española**; “Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma”, o esta última extraída del **Reichanschuss Für Metallschutz**: “Corrosión es la destrucción de un cuerpo sólido causada por una ataque no provocado, de naturaleza química o electroquímica que se inicia en la superficie”. De estas definiciones podemos extraer varias conclusiones; la primera es que según estas definiciones, la corrosión sólo afecta a metales, y la segunda es que se efectúa por reacción química, ó electroquímica con el medio ambiente.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Como podemos ver existen varias formas de corrosión, la química y la electroquímica, a las que vulgarmente también se les denominan corrosión seca y húmeda respectivamente. Cuando nos referimos a corrosión seca, nos estamos refiriendo a una corrosión la cual se produce por una reacción química, sin que exista una corriente eléctrica en el proceso. Se llama húmeda cuando su naturaleza es electroquímica, y se caracteriza por la aparición de una corriente eléctrica dentro del medio corrosivo. Ésta última, es decir, la corrosión húmeda es la que mayor impacto tiene sobre buques, debido a las superficies metálicas sumergidas que tienen, así como los tanques interiores del buque.

Si exceptuamos la corrosión a temperaturas elevadas, que es un proceso puramente químico, los restantes procesos de corrosión son casi siempre de naturaleza electroquímica, tratándose de la formación de una pila, con una corriente eléctrica que circula entre determinadas zonas de la superficie del metal, conocidas con el nombre de ánodos y cátodos, y a través de una solución llamada electrolito capaz de conducir dicha corriente. El funcionamiento de estas pilas da lugar a la corrosión de las zonas anódicas.

El proceso corrosivo como acabamos de ver puede ser clasificado, desde criterios muy variados, aunque quizá la más importante de las clasificaciones es la anteriormente esbozada, y es según el mecanismo, aunque también están según la morfología del ataque, el medio que lo produce, condiciones físicas que lo motiva, etc.

1.3 Protección catódica.

La protección catódica es una técnica de control de la corrosión, que está siendo aplicada cada día con mayor éxito en el mundo entero, ya que cada día se hacen necesarias nuevas instalaciones de conductos para transportar petróleo, productos



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



terminados, agua; así como para tanques de almacenamientos, cables eléctricos, telefónicos, enterrados, así como instalaciones offshore y buques.

Este procedimiento tiene como fundamento la polarización, a potenciales más negativos, de la superficie metálica hasta alcanzar un grado de polarización, en el cual se acepta que dicha superficie metálica es inmune a la corrosión.

Luego de que analicemos algunas condiciones, especialmente desde el punto de vista electroquímico, veremos como resultado la realidad física de la corrosión, después de estudiar la existencia y comportamiento de áreas específicas como Ánodo-Cátodo-Electrolito, y el mecanismo mismo de movimiento de electrones e iones, llega a ser obvio que si cada fracción del metal expuesto de una tubería o una estructura construida de tal forma de coleccionar corriente, dicha estructura no se corroerá porque toda ella sería un cátodo.

En la celda electroquímica (se forma cuando se introducen dos metales en un líquido conductor de la electricidad) se pueden observar los dos fenómenos comentados, la oxidación o pérdida de electrones, y la reducción o ganancia de los mismos, que pueden dar lugar a dos procesos, la corrosión electroquímica y la electrodeposición (que sólo ocurre en determinadas condiciones específicas).

1.3.1 Diagramas de Pourbaix.

Como ya sabemos la protección catódica es uno de los métodos electroquímicos de los que disponemos para luchar contra la corrosión. Para ello disponemos del diagrama de Pourbaix, el cual nos muestra el comportamiento de diferentes metales en función de su potencial respecto al electrodo normal de referencia, el de hidrógeno y su



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



ph, su estudio nos mostrará las opciones que tenemos para la protección de un material y es lo que a continuación veremos.

Podemos decir que existen una serie de hechos de tipo electroquímico o químico de los que informa la termodinámica, y que resultan muy útiles para el estudio de la corrosión. A partir de dichos datos termodinámicos es posible conocer en qué condiciones de Ph y potencial se forman productos sólidos oxidados, que de un modo puedan influir sobre el proceso corrosivo, debido a que dichos productos se quedan en la superficie metálica creando películas más o menos protectoras.

Al igual que dichas capas protectoras, algunos metales catalogados como anfóteros pueden disolverse en medios alcalinos formando aniones solubles. Estamos frente a casos como el del Fe, Zn, Al y otros.

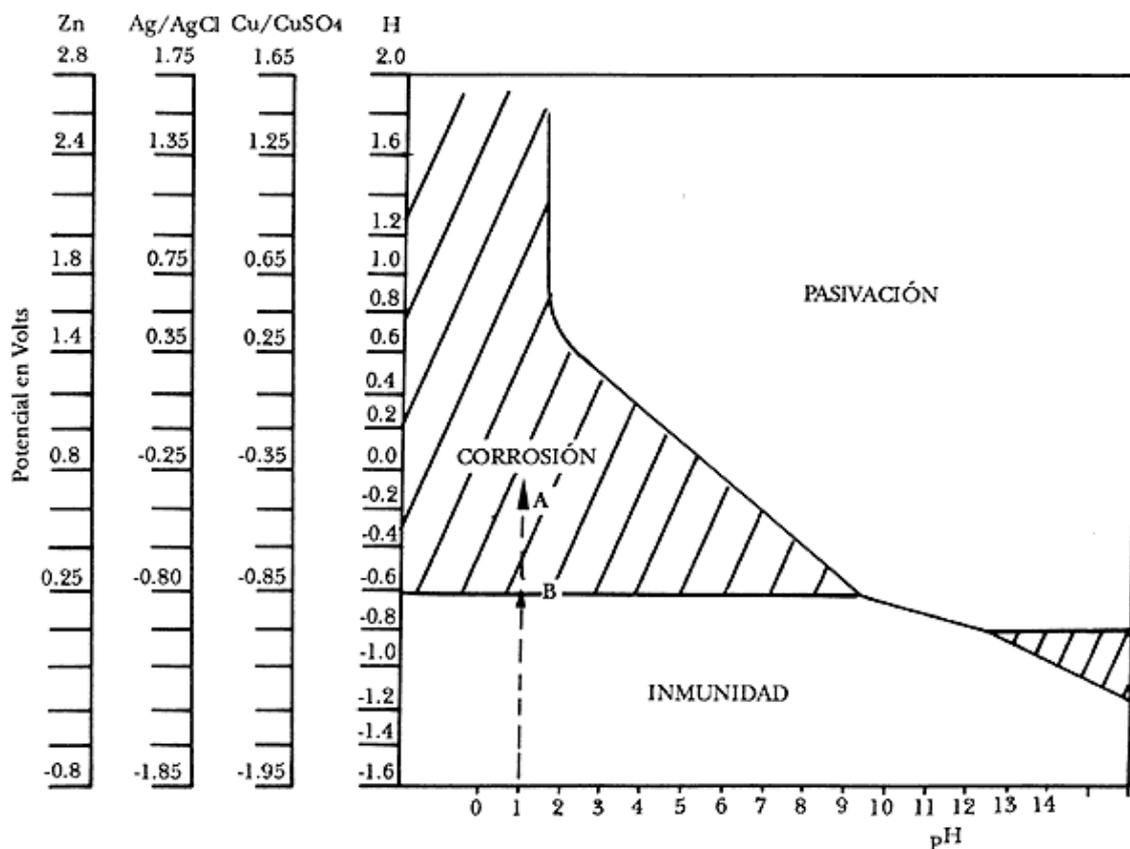


Diagrama Pourbaix para el Hierro.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Fue el profesor Pourbaix quién brillantemente decidió recopilar dichos datos, y exponerlos gráficamente en diagramas, que establecen las distintas fases estables termodinámicamente para cada sistema metal-electrolito en función del Ph y potencial. Las líneas que aparecen en dichos diagramas representan los tránsitos entre las distintas especies correspondientes a reacciones químicas o electroquímicas, donde el equilibrio viene influido por el Ph y potencial.

Como podemos ver este diagrama representa las circunstancias teóricas de la corrosión, de pasivación que ahora explicaremos, y de inmunidad del material, en este caso hierro, en presencia de una solución acuosa a 25 grados centígrados. Si hacemos un examen de dicho diagrama podremos contemplar la protección del hierro de tres formas diferentes:

- Elevar el potencial del material hasta situarse en la zona de pasivación mediante la protección anódica.
- Alcalinizar el medio hasta superar el Ph frontera entre la zona de corrosión y la de pasivación.
- Por último, rebajar el potencial para situarse en la zona de inmunidad mediante la protección catódica.

Para poder entender esto anterior tenemos que añadir un nuevo concepto, el de pasivación. La pasivación es una propiedad que tienen determinados materiales y aleaciones de permanecer totalmente inertes en determinados medios en los cuales y de acuerdo con la termodinámica, deberían comportarse como metales activos, y por tanto disolverse con velocidades altas a través de mecanismos corrosivos electroquímicos.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



La pasivación se puede dar por dos mecanismos principalmente, uno es la formación de una capa de productos oxidados de muy pequeño espesor pero muy compacta, además de ser de muy baja porosidad por lo que al metal lo deja aislado del medio. La otra sería la presencia de capas monoatómicas, generalmente de oxígeno, absorbida por la capa metálica, siendo este caso el menos común.

La pasividad del hierro también puede inducirse por polarización anódica, es decir, obligando al material a trabajar por encima de un determinado valor de potencial. Para dejar claro el término pasivación podemos decir que un material metálico se considera pasivable si al aumentar la concentración de un agente oxidante, la velocidad de corrosión es inferior a la registrada a concentraciones más bajas de oxidante.

Esta propiedad que poseen algunos metales y aleaciones es de máxima importancia, porque nos permite el uso de metales activos de precio más o menos moderados como el aluminio o el cromo en medios de alta agresividad, comportándose en ellos como materiales nobles.

Siguiendo con el tema de la protección catódica, podemos decir que mientras que la cantidad de corriente que fluye, sea ajustada apropiadamente venciendo la corriente de corrosión y, descargándose desde todas las áreas anódicas, existirá un flujo neto de corriente sobre la superficie, llegando a ser toda la superficie un cátodo. Por ello podemos decir que la protección catódica en síntesis consiste en convertir en cátodo toda la superficie metálica a proteger, consiguiendo que por toda ella penetre corriente continua.

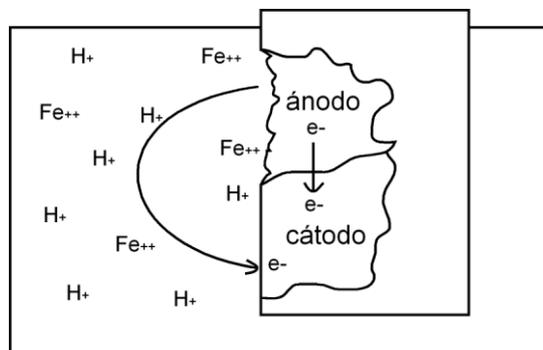
En cierto modo podemos decir que la protección catódica no elimina la corrosión, ésta remueve la corrosión de la estructura a ser protegida y la concentra en un punto donde se descarga la corriente en caso por ejemplo del uso de ánodos de sacrificio.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Cuando un metal se está corroyendo tiene multitud de ánodos y cátodos. Si se produce en su superficie un proceso generalizado de corrosión, se debe a que la pequeña diferencia de potencial de las micropilas, permite que al formarse óxido sobre el ánodo éste se pasive lo suficientemente como para pasar a ser catódico frente a otra zona del material. Consecuentemente lo que sucede es que se van alternando las zonas catódicas y anódicas, y es debido a ello a lo que se debe lo uniforme del ataque.



La figura representa un par ánodo-cátodo en el mismo trozo de metal sumergido en medio electrolítico.

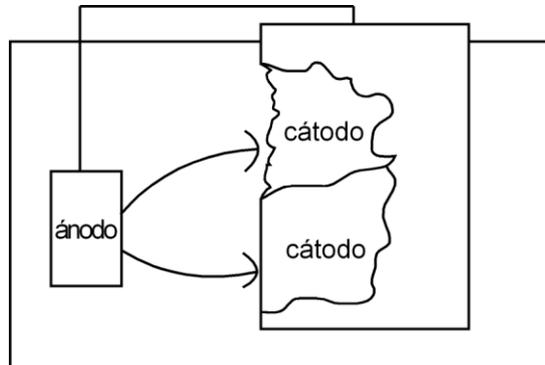
Podemos ver en la figura que en el seno del metal existe un flujo de electrones en el sentido ánodo → cátodo, que permite que continúe la corrosión.

Bien sabemos que en sentido convencional de la corriente es el inverso al de los electrones, entonces podemos decir que la corriente se establece desde el cátodo al ánodo, y en el electrolito sale corriente continua por el ánodo y entra por el cátodo.

Como podemos ver en la figura, las zonas por las que sale la corriente del metal al electrolito es la zona que se va a corroer, estando las zonas en las que penetra dicha corriente protegidas. A continuación un ejemplo de cómo alcanzar la protección mediante un ánodo de sacrificio.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Forma de proteger una placa metálica mediante protección catódica.

La corriente que circulaba por el metal y salía del antiguo ánodo al electrolito, se ve ahora forzada, por la presencia del ánodo de la protección catódica, a seguir por el conductor, desapareciendo ese antiguo ánodo que ahora actúa catódicamente.

Si conectamos un trozo de hierro cuyo potencial electroquímico sea de -0.441 voltios, con un trozo de zinc cuyo potencial es de -0.762 voltios, la diferencia de potencial existente establecerá una corriente eléctrica a través del electrolito, del zinc (actúa como ánodo) al hierro (que ejerce de cátodo). Hemos protegido al hierro de la corrosión sacrificando en su beneficio una placa de zinc. Éste es el fundamento de los métodos de protección llamado protección catódica por ánodos de sacrificio, para proteger un metal lo haremos, simplemente con otro que sea aún más electronegativo que él.

Por último y para finalizar esta introducción voy a definir brevemente los principales sistemas de protección catódica. Dependiendo del tipo de protección a utilizar y de las zonas a proteger distinguiremos los siguientes sistemas de protección catódica:

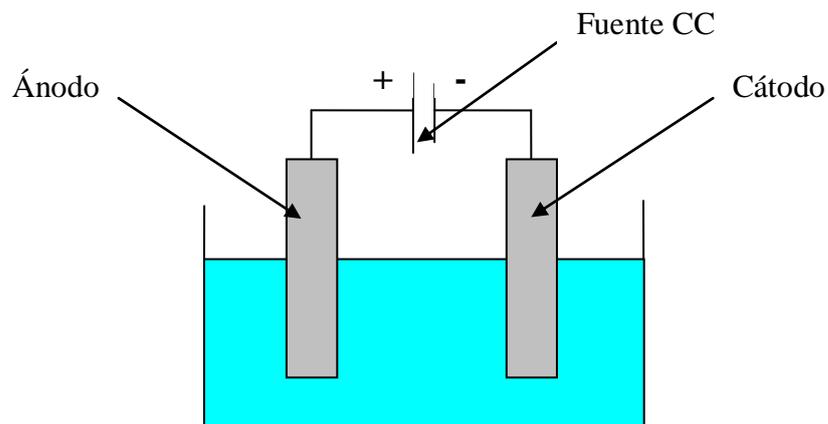
- Protección catódica activa: es la que se realiza mediante un sistema de corrientes impresas, pudiendo ser esta a su vez interna o externa dependiendo de la zona del buque que deseemos proteger. La función de



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



esta protección es la de proteger las planchas del casco y áreas metálicas tales como las tomas de mar, etc. La protección catódica activa interna se utilizará para evitar incrustaciones y corrosión en los sistemas de agua salada, excepto en las tomas de mar de alimentación de las plantas de producción de agua para consumo.



En la figura se representa el principio de funcionamiento de un sistema de protección catódica activa.

- Protección catódica pasiva: se realiza mediante ánodos de sacrificio, y ésta a su vez también puede ser externa o interna.

1.4 Características del buque.

1.4.1 Tipo de Buque

RORO diseñado para operar entre Cádiz y Canarias transportando plataformas (trailers sin cabezas tractoras), contenedores apilados sobre “mafi” (double stack) y turismos. Máximo número de pasajeros: 12 (buque de carga)

1.4.2 Disposición General

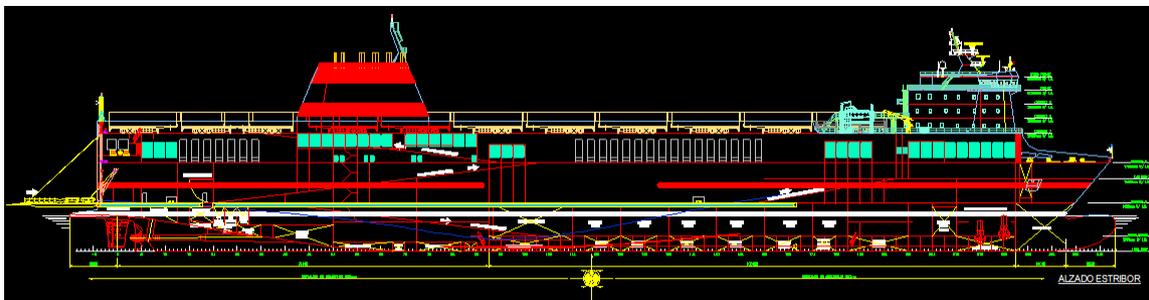


Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Cuatro cubiertas para carga: Bodega Baja (sobre la tapa del doble fondo), Cubierta Principal, Cubierta Superior (semiabierta) y Cubierta de Intemperie. Además en la parte de proa del entrepuente Cta. Principal / Cta. superior se dispone una cubierta fija para coches.

Acomodación situada a proa. (Dispuesta en tres cubiertas mas el puente de gobierno). Los espacios de maquinaria están situados principalmente en la parte de popa, bajo la cubierta principal. Compartimentos para hélices transversales y maquinaria auxiliar, a proa. Tanques de lastre dispuestos en tanques de doble fondo, tanques laterales y piques. Tanques de combustible dispuestos bajo el doble fondo y en los espacios de maquinaria. Acceso de las cargas rodadas por una rampa-puerta al nivel de la Cubierta Principal (popa).



Detalle de disposición general del Ro Ro.

1.4.3 Dimensiones Principales

➤ Eslora total	209,00 m.
➤ Eslora entre P.P	190,00 m.
➤ Manga de trazado	26,50 m.
➤ Calado de trazado de diseño	7,00 m.
➤ Calado de escantillonado	7,10 m.
➤ Puntal a Cbta. Principal	9,60 m.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Alturas Libres

- Cbta. Superior 4,70 m.
- Cbta. Principal, centro/popa 6,85 m.
- Cbta. Principal, bajo cta. coches 4,65 m.
- Bodega Baja 4,70 m.
- Cubierta de coches 2,00 m.
- Acomodación 2,10 m.

Capacidades de Carga

- Nº de módulos de 14,3 m 210
- Además:
- Turismos en cubierta fija 100
- Ancho de caminos de rodadura: 3 m. para trailers
- Tamaño plazas de aparcam. turismos: 4,5 x 2 m.
- Mercancías peligrosas a popa de la cubierta intemperie (Nº 7).

1.4.4 Capacidades de los tanques.

- Fuel oil 1.075 m³.
- Diesel oil 100 m³.
- Aceite lubricante 7,00 m³.
- Agua dulce 700 m³.
- Agua destilada 430 m³.
- Agua de lastre 3400 m³.
- Tanques antiescora 800 m³.
- Agua tanque estabilizador 135 m³.

1.4.5 Peso Muerto

- Al calado de diseño 9.325 Tm

1.4.6 Propulsión, Velocidad y Autonomía



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



- Motores diesel propulsores 4
- M.C.R.: 4 x 10395 kw 41.580 kw
(Potencia máxima continua)

Velocidad en condiciones de servicio

- Al calado de diseño 25,5 nudos
- Autonomía a la velocidad arriba indicada: 3.000 millas náuticas.

1.4.7 Acomodación

- | | | |
|--|-----------|-------|
| ➤ Tripulación | Camarotes | Camas |
| ➤ Camarotes individuales | 28 | 28 |
| Incluyendo un camarote de Armador, dos de alumnos y tres de reserva. | | |
| Total tripulación | 28 | 28 |
| | | |
| ➤ Conduc. /Pasajeros | Camarotes | Camas |
| ➤ Camarotes dobles con aseo | 6 | 12 |
- Salón/comedor para Oficiales, Tripulación y Pasajeros.
 - Biblioteca
 - Cocina, gambuza seca y refrigerada (3 cámaras).
 - Lavandería de Oficiales y Tripulación/buque.
 - Hospital.
 - Oficina del buque, de carga y de máquinas.
 - Cambio de ropa.
 - Puesto de Gobierno.
 - Paños.
 - Espacios de servicio (Aire acondicionado, equipo eléctrico).



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



2.0 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL MECANISMO DE CORROSIÓN.

Ésta es sin duda la más importante de las clasificaciones, porque nos permite conocer cómo funciona el ataque corrosivo, de este modo nos será mucho más fácil predecir cómo evoluciona el mismo y preverlo, por lo tanto podemos decir que también lo es desde el punto de vista científico.

2.1 Corrosión de tipo electroquímico.

Esta corrosión de tipo electroquímico, es característica de estructuras sumergidas o enterradas, y se debe a las reacciones de transferencia de carga en la interfase entre un metal y el ambiente electrolítico que lo rodea. Está demostrado que este tipo de corrosión contribuye en mayor grado al fallo de los metales que la corrosión directa, lo cual no quiere decir que en determinados casos, la corrosión directa no llegue a tener una importancia vital en el deterioro de un material.

Las superficies metálicas de un buque, que estén comprendidas por debajo de la línea de flotación, se ven afectadas por dicha corrosión. En este tipo de corrosión, existe una corriente eléctrica que circula entre determinadas zonas de la superficie del metal, a las que conocemos por los nombres; ánodos y cátodos, fluyendo a través de una solución llamada electrolito, capaz de conducir dicha corriente.

La zona anódica es quién sufre los efectos de la corrosión, por lo que podemos deducir, que la corriente se establece desde el ánodo hacia el cátodo. Estas áreas anódicas y catódicas existen en la estructura del casco del buque debido a diversas condiciones, tales como unión de metales de diferentes potenciales, diferencias físicas



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



en los grados de composición del metal constituyente del casco, deterioro o discontinuidad del revestimiento de pintura.

En definitiva, la corrosión electroquímica se da cuando dos materiales metálicos se hallan en contacto con medios de conductividad electrolítica, cualquier solución salina hace de conductor, incluso la propia humedad del ambiente puede ejercer tal papel. Lo cierto es que es necesaria la presencia de moléculas de agua para que ocurra la corrosión electroquímica.

Este tipo de corrosión tiene como característica fundamental el medio en el que suele producirse esta corrosión, pues el agua de mar es el electrolito por excelencia que tiene la naturaleza. El alto contenido salino del agua de mar, la convierte en un electrolito perfecto para el buen funcionamiento de la pila de corrosión, manteniendo en todo momento el contacto eléctrico entre los posibles ánodos y cátodos.

Para explicar el proceso corrosivo podemos decir que cuando los átomos del ánodo se disuelven para formar iones, los electrones que dejan libres hacen al ánodo negativo con respecto a la solución. Sus electrones pasan del cátodo a través de la masa metálica y allí neutralizan a los iones positivos. La corrosión, por tanto, es sostenida por procesos simultáneos anódicos y catódicos.

Puede haber incluso formaciones espontáneas de ánodos inseparables en superficies de metal uniforme. La corriente de corrosión puede también producirse por heterogeneidades en la composición del agua de mar que la rodea. Todo esto nos induce a pensar que la eliminación de áreas anódicas en los componentes metálicos es un parámetro de importancia en el mantenimiento del buque. Por lo tanto y como hemos visto para la existencia de corrosión electroquímica es totalmente necesaria la existencia de ánodos, cátodos y un electrolito.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



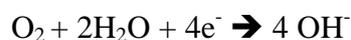
Cuando unimos eléctricamente dos metales de distinto potencial electroquímico, y estando ambos rodeados del mismo electrolito (agua de mar, agua dulce, soluciones salinas o incluso la humedad) se establecerá entre ellos una pila galvánica, en la que el metal con carácter más electronegativo (ánodo) cederá electrones al metal más electropositivo, protegiéndose éste a expensas de la corrosión del primero.

Es el caso del zinc y el cobre sumergidos en una solución conductora, genera una corriente eléctrica debido a la diferencia de los potenciales electroquímicos de ambos materiales. El paso de la carga a través del electrolito, consiste en el desplazamiento de aniones y cationes que la transportan hacia el ánodo respectivamente.

La superficie del metal con mayor tendencia a la corrosión, la llamada zona anódica, es corroída en un proceso en el que los átomos metálicos dejan sus electrones en el seno del metal pasando a la solución como ión positivo. Sin embargo la zona del metal con menor tendencia a la disolución, es decir con menos tendencia termodinámica, llamada zona catódica, permanece en todo momento inmune al ataque corrosivo. Ésta recibe a través de la masa metálica, los electrones liberados en el ánodo, que son suministrados a un captador u oxidante presente en el electrolito en los procesos de reducción catódica.

Como captador de electrones puede actuar cualquier oxidante, aunque en la mayor parte de los casos actúa como tal el O_2 disuelto presente en el electrolito en caso de medios neutros y alcalinos (caso de que el ph del medio sea igual o superior a 7), y del H^+ en el caso de medios ácidos (en el caso de que el ph del medio sea inferior a 7).

En estos casos las reacciones en el cátodo son:

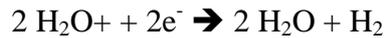




Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



O bien:



En la realidad, la circulación de la corriente tiene lugar porque los metales están dotados de electrones de valencia movibles, que tienen un relativo alto grado de libertad, lo cual facilita la transferencia a otras sustancias que llegan a la superficie metálica con capacidad para fijarlos. La energía necesaria para separar un electrón, es la llamada ionización de un átomo metálico, la cual determina la mayor o menor afinidad del metal por el electrón, cambiando de un metal a otro. Podemos denominar materiales activos los que tengan una baja energía de ionización y nobles los que la posean alta.

Esta energía cambia no sólo entre distintos materiales sino que dentro de cada uno de éstos y por varias causas, cambia al pasar de unas regiones a otras, por lo cual podemos determinar que la presencia de dos materiales distintos no es necesaria para la formación de pilas de corrosión.

En la serie electroquímica de los metales, podemos ver que materiales están más alejados, y como sabemos que lo que genera la corriente eléctrica entre materiales es la diferencia entre los potenciales de ambos, podemos decir que hierro y el acero podrán ser protegidos conectándolo a piezas de aluminio, zinc y magnesio, cuyas piezas se denominarán ánodos de sacrificio, ya que se irán disolviendo, a expensas de suministrar la corriente de electrones necesaria para mantener el acero en estado de inmunidad. Cuanto más alejados estén los materiales dentro de la serie electroquímica más potente será la intensidad de la corrosión.

Serie galvánica en agua de mar.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



EXTREMO ANÓDICO	Magnesio
	Zinc
	Aluminio, cadmio
	Acero o Hierro
	Plomo
	Estaño
	Níquel (estado activo)
	Latones
	Cobres
	Bronces
	Monel
	Níquel (estado pasivo)
	Titanio
	Acero inoxidable (estado pasivo)
	Plata
	Grafito
	Oro
EXTREMO CATÓDICO	Platino

Este suministro constante de electrones, puede hacerse también desde una fuente de corriente eléctrica continua, la cual tendrá su polo negativo conectado a un conductor eléctrico, sumergido en el mismo medio.

Con esta disposición, la corriente eléctrica continua pasará desde el conductor (ánodo) a la estructura, a través del electrolito estableciéndose así la misma pila de protección que en el caso anterior. A este método se le conoce con el nombre de **CORRIENTE IMPRESA**.

Para que existan micropilas en el metal, es necesaria la presencia de heterogeneidades que pueden ser de varios tipos;

- de construcción, metales o aleaciones polifásicas.
- de estructura: fina, gruesa, deformada etc.
- mecánicas: creadas por tensiones externas o internas.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



- debidas a diferentes estados superficiales: grado de pulido, rayas, acoplamientos, óxidos.

Las micropilas debidas al electrolito o medio corrosivo pueden resultar de diferencias de temperatura, ph, concentración y, en particular, de diferencias en el contenido de oxígeno (llamadas pilas de aireación diferencial).

El reparto no uniforme de oxígeno es un importante factor de corrosión, independientemente de la naturaleza del metal; las partes más aireadas funcionan como cátodos, y las menos aireadas como ánodos, siendo consiguientemente atacados.

A la vista de todo lo explicado acerca de este mecanismo corrosivo, se pueden establecer unas características básicas;

- Se da en presencia de un electrolito.
- Se suele dar en un rango de temperaturas moderadas, inferiores a 150° centígrados.
- La corrosión se efectúa sobre las regiones del metal con comportamiento anódico.
- La circulación de los electrones tiene lugar desde el ánodo al cátodo a través del propio metal.
- El circuito lo cierra el electrolito, y a través del mismo se realiza el transporte de carga por parte de los iones.
- Los productos resultantes de la corrosión más habituales son los hidróxidos que se forman en el seno del electrolito, pudiendo forjarse en la superficie del metal, de suceder así introducen un efecto barrera sólida entre metal y electrolito, lo cual contribuye aunque de forma liviana a dificultar el proceso. Los hidróxidos pueden pasar a óxidos en presencia de más oxígeno.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



2.2 Corrosión directa.

Fundamentalmente se da cuando el material metálico opera a altas temperaturas, por lo cual podemos decir que es menor la posibilidad de que aparezca una película de humedad sobre la superficie metálica. También es muy característica esta corrosión en materiales metálicos expuestos a gases o vapores a temperaturas altas.

El mecanismo consiste en la reacción química y heterogénea directa entre la superficie metálica y un gas agresivo que comúnmente suele ser el oxígeno.

En el caso de éste tipo de corrosión, podemos decir que hay las mismas posibilidades de que aparezca sobre cualquier punto de la superficie del metal, por lo que podemos decir que el fenómeno suele ser homogéneo o generalizado.

Normalmente en este tipo de corrosión se forman productos de la corrosión por toda la superficie afectada por la misma, depositándose en el mismo sitio en el que se han formado, de forma que si estos no son separados de la superficie del metal, introducen un efecto barrera, entre el metal y el gas, dificultando en mayor o menor medida el proceso corrosivo.

Este hecho determina en buena medida la selección de materiales metálicos resistentes a la corrosión a alta temperatura, la elección de dichos metales se hace pensando en aleaciones capaces de generar en el medio y temperatura a los que va a operar, capas de corrosión que impidan lo máximo posible el contacto entre el metal y medio de ataque.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



3.0 PÉRDIDAS ECONÓMICAS ORIGINADAS POR LA CORROSIÓN.

Las pérdidas económicas originadas por la corrosión pueden ser clasificadas en directas e indirectas. Las directas son las más fáciles de cuantificar, y se relacionan con los costes necesarios para reponer las estructuras de equipos, maquinarias o componentes que pueden ser dañados o incluso quedar inservibles por efecto de la corrosión. Las indirectas son más difíciles de establecer, pero son más importantes debido a que sin lugar a dudas causan pérdidas mucho mayores, algunos ejemplos son:

- Pérdidas por interrupción de producción, puede darse perfectamente en calderas, intercambiadores de calor o tuberías. Para una planta este hecho causa indudablemente grandes pérdidas, todo el tiempo que la maquinaria está parada cuando debiera estar funcionando es una pérdida económica.
- Pérdidas de producto, cualquiera que éste sea, agua dulce, salada, vapor, gas, petróleo, con sus consiguientes riesgos de accidentes debido a conductos o maquinarias en mal estado debido a la corrosión.
- Pérdidas por contaminación del producto. Contaminación de alimentos por cationes metálicos procedentes de envases metálicos.
- Pérdidas de rendimiento. La formación de productos de la corrosión en el interior de tuberías, o en el interior de calderas, reducen los coeficientes de transmisión del calor, como también pueden producir obstrucciones en tuberías lo que conlleva tener que aumentar la capacidad de bombeo de la instalación.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



- Pérdidas por sobredimensionado, se hace teniendo en cuenta el espesor de pared que se prevé vamos a perder por la corrosión, es una práctica habitual sobredimensionar equipos varios teniendo en cuenta su vida de uso.
- Pérdidas por accidentes derivados de la corrosión, son las explosiones o accidentes derivados de problemas de corrosión que pueden dar lugar a lesiones o fallecimientos de personas. Un ejemplo puede ser la explosión de una tubería de gas.

Se estima que la relación entre los gastos directos e indirectos se puede situar entre 1:6 y 1:10.

En marzo del 1969 se constituyó en Inglaterra una comisión a petición del ministro de tecnología, con el fin de elaborar un estudio sobre la importancia económica del problema de la corrosión y de las posibilidades de su prevención.

Dicha comisión que fue dirigida por el Dr. Hoar, el cual estaba a cargo de 21 científicos, los cuales fueron los creadores del informe HOAR, que se ha convertido en un clásico a la hora de evaluar las pérdidas por corrosión, por ser el primero elaborado con rigor. Los resultados aportados por este informe son:

- Los costes directos generados al año por la corrosión alcanzan un 3.5% del PIB.
- Si se sacara mayor provecho de la tecnología ya existente para el control de la corrosión se podría ahorrar alrededor del 25% de estos costos.

Es preciso destacar que se trata de una estimación sobre costes directos, no se tienen en cuenta los indirectos, que como ya he comentado son más difíciles de evaluar



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



y elevarían muy considerablemente la cifra. Por otra parte, no se incluyen pérdidas relativas a la degradación de materiales no metálicos.

Teniendo en cuenta los datos de PIB y de ahorro posible, aplicando adecuadamente los conocimientos que actualmente se tienen sobre la ciencia y la tecnología de la corrosión, las estimaciones del informe HOAR, aplicadas a España reflejan que las pérdidas para el año 2000 serían del orden de 1,2 billones de pesetas, cantidad esta quizás sorprendente. Y que eleva a la importancia de contar con personal altamente cualificado en el campo de la protección anticorrosiva.

Se estima que entre el 10 y el 12% de la producción mundial de acero se pierde completamente cada año, a causa de la corrosión.

Cuanto mayor es el nivel de industrialización de un país, y por tanto mayor el número y sofisticación de sus instalaciones y procesos tecnológicos, mayores son las pérdidas previstas.

Aunque mejoren con el tiempo los medios y técnicas de protección, las pérdidas no disminuyen, por que, simultáneamente, aumenta la agresividad de las atmósferas y se imponen condiciones cada vez más severas de trabajo para los materiales. La tendencia en el desarrollo de la ingeniería es hacia el desarrollo de procesos en condiciones más críticas, con la aplicación de cargas mecánicas, presiones y temperatura y la utilización de medios cada vez más agresivos, fluyendo a mayor velocidad. La introducción de materiales de alta resistencia mecánica permite al ingeniero reducir peso, empleando secciones transversales más delgadas, pero, al menos que la resistencia química de los nuevos materiales sea superior a los materiales que reemplazan, los riesgos de error aumentan.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



4.0 .MÉTODOS DE PROTECCIÓN

Para luchar en contra de este fenómeno, debemos eliminar, o separar de uno de los otros dos elementos necesarios para la existencia de la corrosión húmeda; ánodo, cátodo y electrolito, pero también existen otra serie de métodos como el diseño, selección de materiales y empleo de recubrimientos, o el uso de métodos electroquímicos.

Una posible subdivisión para agrupar los métodos puede ser:

4.1 Métodos de diseño.

La primera precaución es seleccionar adecuadamente el material para el ambiente en que se va a trabajar, pero el coste no siempre lo hace posible y en ese caso hay que adoptar otras medidas. En cualquier caso debemos evitar la formación de células galvánicas.

Cuando proyectamos cualquier estructura metálica debemos seleccionar ante todo los materiales que vamos a emplear, y al igual que estudiamos las cargas y sollicitaciones a los que estarán sometidos debemos estudiar que no trabajen unidos materiales con potenciales electroquímicos muy alejados, y aislarlos eléctricamente.

En el diseño de contenedores para líquidos deben ser cerrados y se ha de procurar que durante el proceso de vaciado no se estanque el fluido en su fondo, para ello podemos disponer por ejemplo de un fondo cónico.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



4.1.1 Importancia del diseño de los objetos en la protección anticorrosiva.

La vida de los objetos depende básicamente de los materiales con que han sido fabricados, de la forma que tienen y de la protección que se les dé. En los objetos metálicos, una buena protección con pinturas será más fácil y apropiada si está complementada con un buen diseño.

El diseño de cualquier objeto es tan importante como la elección de los materiales de construcción y debe estar de acuerdo con las exigencias físico-químicas, incluyendo la resistencia a la corrosión.

Considerando la corrosión como una acción penetrante y de desgaste del metal, es absolutamente indispensable establecer ciertas tolerancias en el calibre de los metales para tuberías, tanques, chimeneas y todos aquellos objetos que, por las condiciones de trabajo, pueden sufrir la reducción de su espesor.

Algunas reglas de diseño para mejorar la resistencia a la corrosión son:

- Evitar las uniones por dobleces de metal con metal.
- Diseñar los tanques de modo que se puedan drenar y limpiar fácil y completamente.
- Diseñar para que las partes se puedan reemplazar y reparar fácilmente.
- Distribuir uniformemente los esfuerzos mecánicos.
- Evitar los contactos eléctricos de metales diferentes.
- Evitar curvaturas muy pronunciadas en tuberías.
- Evitar la concentración de calor en un área determinada.
- Evitar la heterogeneidad de los metales.
- Evitar ángulos, perfiles, zonas de difícil acceso y soldaduras sin pulir.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



4.2 Recubrimientos protectores.

Entendemos como recubrimiento protector todo aquel que previene el contacto entre electrolito y el metal. Este recubrimiento puede ser metálico por inmersión, proyección, electro-deposición o deposición química, buscándose el recubrir el metal base con otro inatacable en el medio en cuestión, o que forma con él productos de corrosión pasivos, otros recubrimientos protectores son aceites y grasas pero estos son solo temporales.

Otra forma dentro de este mismo punto es variar la superficie metálica con un anodinado, fosfatado, cromatado, pavonado, aplicación de un estabilizador de óxido, etc. Asimismo también podemos utilizar recubrimientos inorgánicos como vitrificados, silicatos de zinc, cemento, o bien recubrimientos orgánicos aplicados en frío o en caliente.

4.3 Métodos electroquímicos.

Citando como los mismos, la protección anódica, protección catódica y canalización de corrientes vagabundas, lo que no es más que un caso particular de protección catódica. La protección catódica es el método más extendido, tiene un gran campo de aplicación de los metales tanto enterrados como sumergidos.

Dentro de los métodos electroquímicos están los sistemas a los cuales se efectuarán los cálculos, por lo tanto ahora vamos a tratar de forma teórica el apartado de métodos electroquímicos.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



5.0 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO.

Por lo general el diseño detallado de la protección catódica para estructuras marinas será precedido por un diseño conceptual, incluyendo planos de protección de la corrosión. Debemos pensar que esto incluye la selección de materiales (teniendo siempre la precaución de que si tienen potenciales eléctricos distintos hay que aislarlos), y la mayoría de los componentes, especificaciones de las cotas de uso, selección del material anódico y el tipo. Para la selección de lo anteriormente dicho tendremos que tener en cuenta los requerimientos de cada uno de ellos, tales como la fiabilidad, el mantenimiento y el control.

5.1 Parámetros ambientales que afectan a la protección catódica.

Los parámetros del agua salada que más afectan a la protección catódica son;

- Contenido de oxígeno disuelto; debido al alto ph del agua de mar, el agente oxidante es por excelencia el oxígeno disuelto. La reducción del oxígeno disuelto está directamente relacionado con el proceso de oxidación del metal, y por lo tanto, todos los factores que influyen en la relación de oxígeno con la superficie del metal, influirán en el comportamiento de la corrosión.
- Velocidad de flujo; el movimiento del agua de mar al afectar al transporte de oxígeno a las zonas catódicas, y a la eliminación de los productos de la corrosión, puede contribuir en la magnitud del proceso corrosivo.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



- Temperaturas; la temperatura del agua de mar varía en función de la estación del año y de la posición geográfica del lugar, oscilando los valores entre -2° C a 35° C. Las velocidades de corrosión, previsiblemente más elevadas en aguas calientes tropicales, se van amortiguando por la existencia en este tipo de aguas, de abundante crecimiento de organismos marinos.
- Crecimiento marino; su existencia en el casco de los buques lleva consigo una reducción del oxígeno existente en la superficie metálica.
- Salinidad; se puede decir que de unos mares a otros las variaciones de la misma no son tan acusadas como podrían ser las temperaturas. La salinidad del agua de mar está comprendida entre el 33% al 37%, dependiendo del lugar geográfico y condiciones climatológicas, varían especialmente en zonas costeras donde hay menos profundidad o en la cercanía de la desembocadura de un río.

Es de tener en cuenta que estos parámetros están interrelacionados entre ellos, y varían con la situación geográfica en que se encuentra el buque, así como también dependen de la estación en la que nos encontremos y la profundidad de las aguas en que navegue.

Los parámetros arriba listados determinan la densidad de corriente demandada para alcanzar y mantener la protección catódica, por ello podemos decir que éstos son los mecanismos controlantes de la corrosión del casco del buque. Sin embargo no es posible dar con exactitud una relación entre los parámetros ambientales y la demanda de corriente necesaria. Para racionalizar el diseño de los sistemas de protección catódica, las densidades de corriente de diseño han sido definidas basándose en las zonas



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



climáticas y profundidad. La temperatura del ambiente marino y la salinidad son decisivas para la resistividad del agua salada, y por lo tanto para la resistencia anódica que determina la corriente de salida del ánodo.

5.2 Corrientes impresas contra sistema de ánodos de sacrificio.

La característica principal de la aplicación del sistema de corrientes impresas es que requiere un sistema de corriente directa para aportación de energía eléctrica. En comparación, el sistema de corrientes impresas tiene la ventaja respecto al sistema de ánodos de sacrificio debido a que el número de ánodos dispersores de corriente es mucho menor y reducido también su peso. El sistema de ánodos de sacrificio no necesita de cables ni de un sistema que aporte energía eléctrica, en cambio el sistema de corrientes impresas incorpora un sistema que efectúa un seguimiento constante del potencial eléctrico en la interfase agua-de-mar/casco y ajusta cuidadosamente la corriente entregada a los ánodos en relación con dicho potencial. Por consiguiente, el sistema es mucho más eficaz y fiable que los sistemas a base de ánodos de sacrificio en los que el nivel de protección se desconoce y es incontrolable cuando las condiciones de servicio cambian.

Fiabilidad y costes de instalación, mantenimiento y supervisión deben ser tenidos en cuenta cuando elegimos entre uno de estos sistemas, ya que determinan los costes de explotación que tienen los mismos.

Sistemas de corriente impresa pueden dar fácilmente potenciales de protección más negativos que 1.1 Voltio, relativo a Ag/AgCl/agua de mar, el cual puede causar daños a materiales y recubrimientos. Esto puede tener implicaciones para la selección de materiales estructurales y sistemas de recubrimientos. Un control riguroso en línea para el potencial



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



de protección está considerado como un prerrequisito para la aplicación del sistema de corrientes impresas como antes se ha explicado.

El sistema de corrientes impresas no es conveniente para tanques cerrados y otras áreas no ventiladas (espacios cerrados), porque potenciales más negativos que -1.1 voltio, puede conducir a la evolución del hidrógeno y riesgos de explosión. Gas de cloro es otro gas producido en los ánodos de corriente impresa, el cual es muy peligroso debido a que es venenoso.

Sociedades reguladoras pueden requerir que el sistema de corrientes impresas se desactive durante las operaciones de buceo y determinadas operaciones por riesgos explosivos.

A la hora de seleccionar el equipo que protegerá el casco del buque me decanto por el sistema de corrientes impresas por los siguientes motivos;

1. Se puede actuar sobre la densidad de corriente a aplicar.
2. Se tiene mayor control sobre el funcionamiento del casco.
3. El sistema puede funcionar en modo automático.
4. En todo momento conocemos el nivel de protección del casco.
5. Se ahorra en combustible.
6. Menos varadas para cambiar los ánodos.
7. Menos costes de mantenimiento.
8. Menos peso instalado en buque con respecto a sistema de ánodos de sacrificio.
9. Instalación de menos ánodos en el casco.
10. Menor resistencia al avance.

Estas son sólo algunas de las ventajas de los sistemas de corrientes impresas, pero sin lugar a dudas uno de los más atractivos es el coste a largo plazo, ya que en principio los



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



costes de un sistema de corrientes impresas son bastante más elevados que los de uno de ánodos de sacrificio. Los ánodos de sacrificio deben cambiarse cada cierto tiempo lo cual conlleva un gasto económico y una pérdida de productividad debido a la varada, y sin embargo el sistema de corrientes impresas no conlleva esos gastos y además las paradas son bastante más tardías.

Podemos decir en cierto modo que el gasto inicial es grande pero en comparación a partir de los cuatro el sistema ha compensado el gasto inicial y a partir de ahí constituye un ahorro significativo.

5.3 Potenciales de protección.

1. Un potencial de -0.80 Voltios relativos a plata/cloruro de plata/agua de mar en el electrodo de referencia es generalmente aceptado como potencial de protección, para acero al carbono y para aleaciones pobres en carbono en aguas aireadas.
2. En medios ambientales anaeróbicos, incluyendo los típicos sedimentos marinos, un potencial de protección -0.90 relativos a plata/cloruro de plata/agua de mar se puede considerar como el más adecuado para la protección anticorrosiva.
3. Los potenciales de protección de antes son aplicables como criterios para la supervisión de la protección de la corrosión.
4. Debemos tener en cuenta que el potencial óptimo de protección, (el cual será el potencial resultante de la menor corriente de consumo), está normalmente en el rango de -0.9 V y -1.0 V relativos a Ag/AgCl/agua de mar.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



5.3.1 Medida de potenciales.

Conociendo los potenciales fijos de los electrodos de referencia respecto del de hidrógeno, es muy simple pasar las medidas obtenidas con los electrodos que usemos a la escala del elemento de hidrógeno, todo ello en caso de que nos interese referirlos a este electrodo.

Son numerosos los electrodos patrones o de referencia utilizados en la práctica y que se adaptan a las diferentes necesidades que puedan surgir. A continuación enumeraré los más habituales.

- Electrodo de calomelanos.
- Electrodo de plata-cloruro de plata.
- Electrodo de cobre-sulfato de cobre.

5.4 Diseño de las densidades de corriente.

Cuando hablamos de la densidad de corriente de la protección catódica nos referimos siempre a la corriente por unidad de superficie.

El diseño de la densidad de corriente alude también a la densidad de corriente requerida para polarizar la superficie de un metal inicialmente expuesto. El diseño correcto de la densidad de corriente proporciona rápidas formaciones de capas calcáreas que protegen y proporcionan una polarización más eficiente.

La polarización es la reducción de la fuerza electromotriz de un elemento voltaico que se produce como consecuencia de las alteraciones que su propio funcionamiento provoca en sus partes constituyentes, los electrodos y el electrolito en



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



este caso. La reducción del voltaje que aparece en los bornes equivale a un aumento de la resistencia interna del elemento.

La densidad de corriente depende de factores que varían con la localización geográfica y profundidad. El diseño de las densidades de corriente puede ser seleccionado de una forma más conservativa incluyendo condiciones de mar brava, olas y corrientes marinas, pero sin embargo no tiene en cuenta cualquier efecto de erosión debido a sedimentos o hielo. También se puede tener en cuenta si el agua de mar está saturada de oxígeno y los efectos del crecimiento marino.

La corriente demandada para compartimentos libremente llenados y para compartimentos con accesos para aire será limitado por el contenido de oxígeno disuelto. En tanques internos no es necesario instalar ánodos debido a que las sociedades de clasificación sólo dicen que debe tener un sistema de recubrimiento adecuado.

5.5 Vida de diseño.

La vida de diseño de un sistema de protección debe ser especificada por el armador. En este caso en concreto la vida de diseño para el sistema Antifouling, será de 5 años, debido a que así aprovechamos la varada prevista a ese tiempo.

En el caso de los ánodos dispersores de corriente del sistema de corrientes impresas los ánodos tienen una vida variable que fácilmente supera los diez años, también se puede disponer en el buque ánodos con tecnología “Diver Change” la cual nos permite cambiar el ánodo mediante un submarinista sin necesidad de hacer una varada para ello.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



5.6 Materiales de los ánodos de sacrificio y su rendimiento.

5.6.1 Materiales

Ánodos de sacrificio para aplicaciones offshore y buques están basados generalmente en aluminio o zinc, aunque también se usa el magnesio. El tipo genérico del material anódico a usar es normalmente especificado por la persona responsable del objeto católicamente protegido, es decir por el armador.

Los ánodos de sacrificio más comúnmente empleados son los formados por aleaciones de zinc, magnesio o aluminio.

➤ Zinc.

Tiene un valor relativamente alto de potencial en disolución, lo cual indica un alto valor de corriente, una disminución muy controlada del potencial de la estructura a proteger y una alcalinización muy pequeña del medio en contacto con esa estructura. Tienen una ventaja respecto a otros materiales de ánodos y es que no tienen restricciones a la hora de colocarse en tanques internos del buque.

Como factor que puede limitar el uso del zinc, podemos mencionar la resistividad del medio agresivo, y por ellos su empleo se limita para resistividades por debajo de los 100 Ω cm. En aguas dulces a altas temperaturas se ha comprobado que se puede llegar a invertir su polaridad, haciéndose catódico con respecto al acero, o quedar pasivado por los carbonatos precipitados.

Su campo principal de uso está en la protección catódica en agua de mar; tanto para buques como veníamos comentado, pantalanes, andenes marítimos, refuerzos metálicos, diques flotantes, boyas, plataformas Off-shore, depósitos de agua, condensadores, etc.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



ÁNODOS DE ZINC	
Propiedad	Zincoline
Composición	Cd = 0.025 - 0.07 Al = 0.10 -0.50 Fe = 0.005 máximo Pb = 0.006 máximo Cu = 0.005 máximo
Rendimiento	0.95
Capacidad eléctrica teórica A*H/ Kg	820

➤ Aluminio.

Es uno de los metales más idóneos para la realización de la protección catódica. Intermedio entre el zinc y el magnesio, con una elevada capacidad de corriente. Tiene una elevada capacidad de corriente por lo que un ánodo de aluminio puede ejercer la acción de más de dos ánodos de zinc de iguales características y misma duración de ánodos. Esto último influye de sobremanera en el tema del mantenimiento e instalación, debido a que si necesitamos instalar menos ánodos, y también la mano de obra es menor, podemos entender que a pesar de que el aluminio sea un poco más caro que el magnesio, llegue incluso a ser algo más económico.

Los ánodos de aluminio sólo se permiten en tanques de carga siempre y cuando no se superen unos niveles de energía potencial que establece la sociedad de clasificación.

El campo de uso de estos ánodos de aluminios es igual a los de Zinc, y su comportamiento es especialmente bueno en protección catódica en aguas dulces.

ÁNODOS DE ALUMINIO	
Propiedad	Aloline
Composición en %	Si = 0.00-0.10 Fe = 0.09 máximo Zn = 3 - 5.5 In = 0.015 - 0.04 Cu = 0.05 máximo Otros = 0.02 máximo



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Rendimiento	0.9 - 0.95 Tomaré 0.92
Capacidad eléctrica teórica A*H/ Kg	2980

➤ Magnesio.

Este material tiene una capacidad de corriente elevada pero a costa de consumirse con gran rapidez. Debido a esta característica anterior, se suele usar en medios de resistividades más elevadas, de entre 2000 a 5000 Ω cm, su campo de aplicación es semejante a los anteriores, suele usarse también en suelos de altas resistividades.

Los materiales anódicos con base de aluminio generalmente son preferidos debido a su mayor eficiencia electroquímica. Las bases de magnesio están siendo usadas en muchos casos en combinación con la base de aluminio para alcanzar polarizaciones rápidas durante la fase inicial.

Muchos materiales anódicos son prioritariamente aleaciones. El operador puede requerir que la manufacturación del ánodo documentará el funcionamiento de servicio por la experiencia operacional offshore o mediante pruebas a largo plazo en agua de mar.

A continuación se da una tabla con el máximo grado de impurezas que se pueden contener en ánodos en bases de Zinc y aluminio:

Impurezas de elemento	Base de Zinc (% de peso)	Base de aluminio (% de peso)
Fe (hierro)	0.005	0.10
Cu (cobre)	0.005	0.006
Pb (plomo)	0.006	-
Si (silicio)	0.12	0.15

Ciertos ánodos de sacrificio contienen adiciones de mercurio o cadmio. Las regulaciones estatutarias limitan el uso de las aleaciones de materiales que se pueden



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



aplicar. También está limitado el uso de ánodos de magnesio permanentes en tanques por las sociedades de clasificación, sobre todo en tanques de combustibles.

5.6.2 Rendimiento de los materiales de los ánodos de sacrificio.

El rendimiento de un material de ánodo de sacrificio depende como es normal de su composición química. Los materiales más usados como ánodos de sacrificio son el zinc, el magnesio y el aluminio.

Tabla de valores eficientes de diseño electroquímico para ánodos de sacrificio basados en aluminio y zinc.

MATERIAL DEL ÁNODO	EFICIENCIA ELECTROQUÍMICA (Ah/kg)
con base de Aluminio	2000 (t ^a máxima 25 ^o C)
con base de Zinc	700 (t ^a máxima 50 ^o C)

Pasemos a hablar un poco de las características electroquímicas de estos metales. Las propiedades que deben reunir los materiales anódicos para que puedan ser utilizados como tales en la práctica, remiten, pues, al Zn, Al y al Mg como metales seleccionados. Otros posibles candidatos, como los metales alcalinos (Li, Na, K) y los alcalino-térreos (Be, Ca, Sr), quedan descartados porque son demasiado activos y otros, como el cromo (Cr), porque son fácilmente pasivables.

En una reacción electroquímica, un metal se disuelve de acuerdo con las leyes de Faraday, las cuales dicen que, el paso de una cantidad de corriente de 96500 coulombs (número de Faraday) disuelve una cantidad equivalente de cualquier elemento químico.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Propiedades físicas y electroquímicas del Mg, Zn y Al.

Propiedades	Mg	Zn	Al
peso atómico (g)	24.32	65.38	26.97
peso específico a 20°C, g/cm ³	1.74	7.14	2.70
punto fusión (°C)	651	419.4	660.1
resistividad eléctrica (Ω-cm)	4.46 10 ⁻⁶	6.0 10 ⁻⁶	2.62 10 ⁻⁶
valencia	2	2	3
equivalente-gramo	12.16	32.69	9.00
equivalente electroquímico (mg/C)	0.12601	0.3387	0.0931
capacidad eléctrica teórica (A-h/kg)	2204	820	2982
capacidad eléctrica teórica (A-h/dm ³)	3836	5855	8051
capacidad eléctrica práctica (A-h/kg)	1322	738	1491
rendimiento corriente (%)	60	90	50
consumo teórico (kg/A-año)	3.98	10.69	2.94
consumo teórico (dm ³ /A-año)	2.3	1.5	1.1
potencial normal a 25°C (V vs. Ag/AgCl)	-2.63	-1.05	-1.93
potencial disolución en agua de mar (V vs. Ag/AgCl)	-1.55	-1.05	-1.85

Para un rendimiento de corriente del 100%, el aluminio es el que sufrirá la pérdida de peso más pequeña ya que, según el cuadro anterior, es el que proporciona mayor capacidad eléctrica, o sea el mayor número de coulombs por kg de metal disuelto. Siguiendo el razonamiento, para suministrar una misma intensidad de corriente, sobre la base de un rendimiento en corriente del 100% (digamos 2 982 A-h), necesitaríamos 1 kg de aluminio, 3.64 kg de zinc y 1.35 kg de magnesio, lo cual implica, en porcentajes, un rendimiento práctico para el zinc de 27.5% y para el magnesio de 74% de corriente aproximadamente.

5.7 Pinturas y su uso en combinación de protección catódica.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Entendemos como recubrimiento protector aquel que intenta evitar el contacto entre electrolito y el metal.

La aplicación de recubrimientos no metálicos, reduce la corriente demandada por la protección catódica además del peso de ánodos de sacrificio. Muy particularmente para estructuras en las que el peso es muy crítico y con diseños largos de vida, la combinación de recubrimientos con protección catódica puede dar la mayor eficiencia-coste para la protección anticorrosiva.

La pintura es una suspensión que se aplica en una capa fina sobre la superficie del metal, la evaporación del disolvente y el endurecimiento al reaccionar con el aire la convierte en una capa más o menos impermeables a acciones externas. Están formados por varios componentes, el vehículo (compuesto por diluyente y el disolvente), el aglutinante (este último se polimeriza al secarse, formando la capa de pintura), y los pigmentos que cumplen con funciones variadas. Una pintura sin pigmento es una laca o barniz.

Para que el recubrimiento aplicado a una pieza cumpla con su función de forma eficaz hay una serie de condiciones que ha de cumplir:

- Resistir al desgaste por frotamiento y al choque.
- Comunicar un aspecto agradable a la pieza.
- Queda unido a la pieza con una adherencia notable.

El daño de las capas de pinturas que recubren el casco se da principalmente por el crecimiento marino, los efectos de la erosión de las olas así como el de las corrientes, aunque el efecto de la temperatura del agua por simplificar el proceso ha sido excluido.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Por otro lado se ha asumido que la aplicación de recubrimientos es adecuado para las aplicaciones marinas sumergidas, todo el trabajo de recubrir con pinturas el casco debe hacerse de forma que resulte acorde con las recomendaciones del fabricante de las pinturas, y la preparación de la superficie a pintar incluiría la limpieza del casco por chorreado (mediante el uso de granalla) de acuerdo con la norma ISO 8501-1.

Los recubrimientos son muy beneficiosos para alcanzar una rápida polarización y promocionar una mejor distribución de corrientes más efectiva para objetos con una geometría complicada. Para los sistemas de corrientes impresas, el uso de recubrimientos es normalmente un prerrequisito para alcanzar la adecuada extensión de la corriente de protección.

La aplicación de un sistema de recubrimiento reducirá los riesgos de corrosión bacteriológica en áreas protegidas de la corriente de protección catódica. Es importante conocer que la aplicación de recubrimientos puede no ser conveniente para ciertas partes de estructuras sumergidas que requieran frecuentes inspecciones por estar sometidos a esfuerzos de fatiga.

5.8 Factor de utilización de los ánodos de sacrificio.

El factor de utilización de ánodos, nos da una idea de que fracción del material deber ser utilizado para nuestros propósitos de diseño. Si un ánodo se ha consumido por debajo del factor de utilización, el rendimiento del ánodo se vuelve un tanto impredecible debido a la pérdida de material anódico y el rápido aumento de la resistencia del mismo.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas

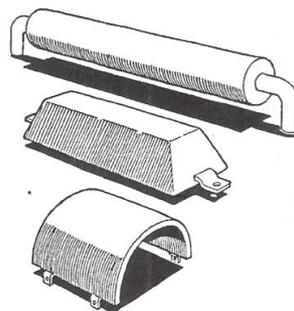


El factor de utilización depende del diseño detallado del ánodo, especialmente en las dimensiones y la localización del corazón del ánodo, entendiéndose como este el núcleo principal del ánodo.

Factores de utilización en función del diseño del ánodo.

TIPO DE ÁNODO	FACTOR DE UTILIZACIÓN DEL ÁNODO
long slender stand-off ⁽¹⁾	0.90
long flush-mounted ⁽¹⁾	0.85
short flush-mounted ⁽²⁾	0.80
Bracelet, half-shell type	0.80
Bracelet, segmented type	0.75

Los ánodos marcados con ⁽¹⁾ deben tener una longitud mayor o igual a cuatro veces el espesor del ánodo. El ánodo marcado con ⁽²⁾ debe tener una longitud menos que cuatro veces el espesor del propio ánodo.



Algunos de los diferentes diseños de ánodos, el de más arriba el "slender stand-off", el "elongated flush mounted" en el centro, y por último "half Shell bracelet" abajo.

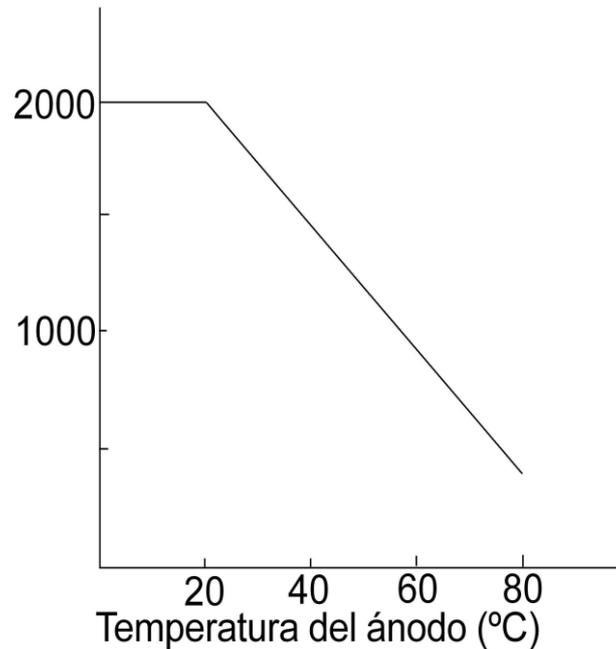
Eficiencia electromecánica de ánodos con base de aluminio en función de la temperatura.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Eficiencia electroquímica (Ah/Kg)



En líneas de tuberías que transporten fluidos a temperaturas altas, que calienten a los ánodos, hará que los ánodos con base alumínica tengan una caída en su rendimiento.

Para los ánodos de zinc temperaturas por encima de los 50° C, podría dar lugar a corrosión intergranular así como una pérdida de las propiedades de protección.

5.9 Ánodos, su instalación y ubicación (sistema Antifouling).

En general una instalación dada tiene ánodos de más de una medida y material. Para la ubicación de los ánodos se deben tener en cuenta los siguientes puntos:



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas

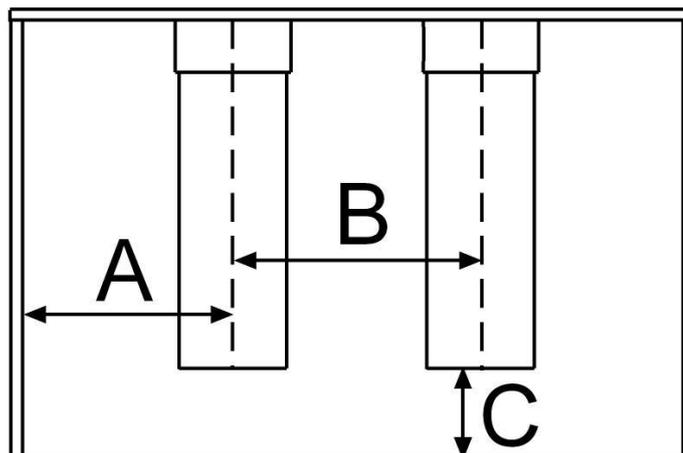


- Los ánodos no deben colocarse en un espacio “muerto”, sino lo más cerca posible en el paso del caudal directo de agua desde las rejillas de entrada hasta las tuberías de succión de agua de mar.
- A fin de evitar que el ánodo se queme de forma desigual, las piezas estructurales no deben estar más cerca de la superficie del ánodo.
- Antes de cortar y soldar, se recomienda ya haber acordado la ubicación y orientación del ánodo.

Los ánodos pueden ser montados con una orientación de hasta 30° respecto a la vertical del ánodo, para mayores inclinaciones podrían darse problemas. Si el ánodo es pequeño también se podría montar de forma horizontal.

Para la instalación de ánodos con manguito con brida generalmente se requiere un acceso amplio desde encima para prever el uso de equipos de elevación.

Por último y para concluir existe una serie de limitaciones en cuanto a las distancias que hay que establecer entre los distintos componentes del sistema.



Para saber la distancia mínima aceptable con respecto a la estructura debe consultar la siguiente tabla.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



<i>Diámetro del ánodo /Montaje</i>	'A'	'B'	'C'	'L'
82,5 con manguito soldado	150	150	160	500
120 con manguito soldado	250	250	220	500
DN/JIS100 /brida de 4"	150	300	50 mín.	350 + longitud del ánodo
DN/JIS100 /brida de 6"	250	450	50 mín.	400 + longitud del ánodo
Compartimiento estanco	250	450	50 mín.	400 + longitud del ánodo

Siendo;

- 'A' = Distancia desde el centro del ánodo hasta la estructura de acero más cercana.
- 'B' = Distancia entre los centros de los ánodos.
- 'C' = Separación desde la base del ánodo hasta la base de la caja de mar
Mín.
- 'L' = Separación desde la parte superior del montaje del ánodo hasta la obstrucción más cercana.

5.10 Resistividad.

La resistividad (ρ) del agua de mar es una función de la salinidad y la temperatura. En mar abierto la salinidad no varía significativamente, con lo que es la temperatura que afecta a la resistividad pero cerca de las desembocaduras de ríos y bahías cerradas, en zonas costeras es donde la salinidad podría variar más.

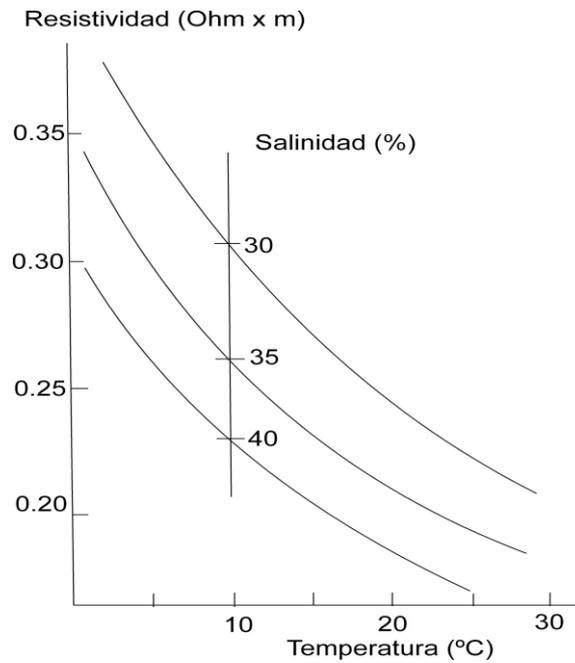
Conviene recordar que el término de resistividad se refiere a la dificultad que se le presentan a los electrones para efectuar sus movimientos. Su valor describe el



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es.



Resistividad del agua de mar para salinidades del 30 al 40%.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



6.0 Funcionamiento y constitución de los Sistemas de Corrientes Impresas y Antifouling.

6.1 Sistema de corrientes impresas

Utiliza una disposición de ánodos montados sobre el casco y unos elementos de pilas de referencia conectados a unos paneles de control, el sistema produce una corriente exterior más potente para eliminar la actividad electroquímica natural en la superficie mojada del casco.

Este sistema elimina la formación de las pilas elementales que causan la corrosión agresiva de la superficie de las chapas y evita los problemas que pueden existir cuando se crean diferencias de potencial en zonas metálicas debido a la proximidad de otros componentes como pudiera ser el caso de hélices propulsoras.

Característica fundamental de este sistema es que efectúan un seguimiento constante del potencial eléctrico de la interfase agua de mar/casco, ajustando cuidadosamente la corriente entregada a los ánodos en relación con dicho potencial y la densidad de corriente que deseemos suministrar. Por consiguiente el sistema es mucho más eficaz y fiable que los sistemas a base de ánodos de sacrificio en los que el nivel de protección a veces se desconoce y no es controlable.

El circuito del sistema de protección está compuesto principalmente por ánodos dispersores, panel de control, pilas o ánodos de referencia, conexión a tierra del timón y conexión a tierra del eje. A continuación se describirán someramente dichos componentes.

- Ánodos dispersores de corriente para el casco. Su función no es otra que ser quién dispersar la corriente, hoy se han desarrollado tecnologías mediante las



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



cuales previa desconexión del sistema ICCP se pueden cambiar los ánodos por un buzo sin necesidad de hacer varada, los hay de formas muy diversas pero podemos mencionar estas cuatro como las más representativas. Ver plano N° 8 de la sección de planos.



- Ánodos circulares; ideales sobre todo para buques con pocas formas, ya que requiere perfil del casco muy liso. La superficie de emisión de corriente se realiza con revestimiento de platino con soporte de titanio.
 - Ánodos lineales; Son ánodos algo más pesados, pero proporcionan distribución de la corriente bastante buena.
 - Ánodos elípticos; mejora la distribución de la corriente sobre el casco y proporciona más flexibilidad que los ánodos circulares a la hora de adaptarse a las superficies complejas de un casco. Al igual que los ánodos circulares dichos ánodos no producen resistencia a la marcha significativa.
 - Ánodos en circuito lineal; poseedores de una corriente elevada en relación con su superficie, dichos ánodos realizan la función de proteger grandes buques con un número inferior de ánodos. Pesan muy poco y se adaptan con facilidad a las formas del buque.
- Paneles de control; pueden llegar a utilizarse con sistemas de hasta 800 amperios, como sucede en grandes buques, y suelen estar dispuestos con pantallas de visualización digitales, estos paneles también hacen la función de enviar la información de lo que sucede en el sistema de corrientes impresas a los diferentes



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



ordenadores del buque. Pueden instalarse fácilmente en cámara de máquinas. Ver disposición panel de control en los planos N° 3 y 4 de la sección de planos.



- Pilas de referencia; esenciales para medir el potencial eléctrico en la interfase agua de mar/casco, lo cual permite al sistema variar la corriente entregada a los ánodos. Estos elementos están hechos con plata o cinc, las pilas de referencia se montan generalmente en nichos entrantes en el casco al igual que los ánodos dispersores.



- Sistema de conexión a masa de líneas de ejes; el eje de giro de la hélice se aísla eléctricamente del casco mediante la película de aceite existente en los cojinetes de soporte como ya sabemos, el problema se elimina si el eje se conecta a la masa del casco mediante este sistema de anillo colector deslizante. El sistema consta de unas escobillas de grafito montados en un porta-escobillas equilibrado, que gira sobre una anillo deslizante de cobre. Ver disposición de ánodos en el plano N° 5 y 6 de la sección de planos.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



- Sistema de conexión a masa de timón; básicamente cumple el mismo efecto que el anterior, poner en masa la mecha del timón, aunque este sistema es más sencillo que el anterior, se hace mediante un cable. Ver disposición de conexión a masa de timón en el plano N° 7 de la sección de planos.

6.2 Sistema Antifouling.

El sistema de Antifouling se dispone en las tomas de mar con la finalidad de evitar incrustaciones marinas en las tuberías, y se hace mediante el un ánodo de cobre que produce iones que impiden las bio-incrustaciones, podemos decir que es un sistema muy fiable y seguro que además apenas requiere tiempo de la tripulación.

El sistema está formado principalmente por un sistema de control y ánodos, a continuación haré una breve reseña de dichos componentes.

- Panel de control. Se puede instalar en sala de máquinas o cualquier zona adecuada donde los miembros de la tripulación puedan supervisarlos. Es la encargada de proporcionar la corriente eléctrica a los ánodos, y normalmente está diseñado con unas pantallas digitales las cuales muestran las lecturas y estado de funcionamiento del sistema. El sistema es



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



automático. Ver disposición panel de control en los planos Nº 3 y 4 de la sección de planos.



➤ **Ánodos.** Pueden ser montados en tomas de mar o en filtros, con las ventajas y desventajas que acarrea el lugar de instalación. El funcionamiento básicamente consiste en que el ánodo de cobre se va disolviendo mediante la aplicación de una corriente, emitiendo iones de cobre que reaccionan con el agua marina y acaba formando una capa anticorrosiva en el sistema de tuberías.

Por otro lado es normal instalar un ánodo de hierro o aluminio para prever la corrosión en las tuberías, en el caso de ser éstas de Cupro-níquel se montarían ánodos de hierro, si las tuberías fueran de acero se instalaría un ánodo de aluminio. De esta forma también protegemos la zona de la toma de mar de posible corrosión.



Ver disposición de ánodos en los planos Nº 3 y 4 de la sección de planos.



**Protección catódica de un
buque Ro-Ro de 210
plataformas**



CÁLCULOS



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



7.0 Bases del diseño.

Dependiendo del tipo de protección a utilizar y de las zonas a proteger distinguiremos los siguientes sistemas de protección catódica:

- Protección catódica activa: se realiza mediante el uso de un sistema de corrientes impresas, pudiendo ser a su vez interna o externa dependiendo de la zona del buque que vallamos a proteger.
- Protección catódica pasiva: la cual se efectúa con ánodos de sacrificio normalmente, a su vez y al igual que la protección catódica activa puede ser interna o externa.

Ahora pasaremos a indagar en cada uno de los puntos anteriores para realizar el cálculo de los sistemas a aplicaran al buque, pero antes comentaré de donde provienen los datos que usaremos posteriormente.

Aunque por lo general los parámetros para el posterior diseño sean dados por el armador, las distintas empresas que se dedican a montar estos sistemas también pueden ofertar siguiendo las diferentes preferencias propias obtenidas a partir de la experiencia.

Por lo tanto y en este caso los datos que vamos a usar para el cálculo de los sistemas de protección catódica son:

- Densidad de corriente a aplicar al casco: $0.035 \text{ A}/\text{M}^2$ mediante sistema de corrientes impresas.
- Hélices: $0.6 \text{ A}/\text{M}^2$ mediante sistema de corrientes impresas.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



7.1 Protección catódica activa.

La característica fundamental de este sistema es que la fuente de energía que suministrará la corriente para proteger la estructura es externa. Normalmente se trata de un transformador a corriente continua.

La opción de las corrientes impresas tiene una gran ventaja, y es que podemos controlar la fuente de alimentación, pudiendo efectuar una regulación en el caso de que se establecieran unas condiciones diferentes a las iniciales.

7.1.1 Protección catódica activa externa.

La obra viva del buque será protegida mediante un sistema de corrientes impresas mediante el suministro de una corriente continua al casco, que en definitiva llevará al acero constitutivo del casco a niveles protección inmune a la corrosión electroquímica.

A continuación voy a ofrecer los parámetros fundamentales para la elección del sistema de corrientes impresas, la cuál será seleccionada a partir de dos datos fundamentales, el área y la densidad de corriente que se dará al casco dependiendo del material que vaya a proteger.

Parámetros para el cálculo de la superficie mojada del casco (obra viva).

- Eslora: 190 metros
- Calado: 7 metros
- Manga del buque: 26.5 metros
- Densidad de corriente del casco: 0.035 Amperios por metro cuadrado.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Parámetros para el cálculo de la superficie de las hélices a proteger.

- Densidad de corriente para la hélice: 0.6 Amperios por metro cuadrado.
- Diámetro de la hélice: 5,2 metros.
- Número de hélices: 2

Resultados técnicos:

- La superficie mojada del casco es de: 6688 metros cuadrados.
- La superficie conjunta de las dos hélices es: 85 metros cuadrados.

La corriente requerida en amperios para la superficie mojada del casco es de 234,08 Amperios procedentes del cálculo de la intensidad de corriente que es igual a la densidad de corriente multiplicada por el área a proteger en metros cuadrados, o sea 6688 multiplicado por la densidad de corriente aplicada al casco, igual a 0.035 amperios por metro cuadrado y así obtenemos la intensidad que tendremos que insular al casco para alcanzar la protección deseada.

Así mismo la corriente requerida para proteger la superficie de la hélice es de 51 amperios, debido a 85 metros cuadrados totales de superficie multiplicados por la densidad de corriente requerida, igual a 0.6 amperios/metro cuadrado, obteniéndose así un resultado total de 51 amperios.

Ahora y con la finalidad de saber el amperaje total a instalar en la zona de la obra viva podemos sumar ambas corrientes requeridas con el fin de conocer el amperaje total a instalar al buque, resultando la suma de 234.08 amperios y 51 amperios, obteniendo 285.08 amperios totales necesarios a suministrar por el equipo de corrientes impresas.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



El sistema a instalar tendrá unos 300 amperios totales, el cual se compondrá por los siguientes elementos;

- Una unidad de control de potencia.
- Dos ánodos dispersores de la corriente.
- Dos electrodos de referencia.
- Dispositivo de puesta a masa del eje de la hélice.
- Puesta a masa del timón.
- Pasta dieléctrica para aplicar en los alrededores de los ánodos dispersores.

Este último punto puede parecer poco importante, pero es parte integrante del sistema y sin él el sistema no funcionaría como es debido. La pasta dieléctrica en los alrededores de los ánodos es debido a que la intensidad de corriente que emana puede causar desperfectos en los materiales e incluso en las pinturas en el caso que la intensidad rebasa ciertos límites.

A cada banda se montará un ánodo dispersor de corriente para un reparto eficiente de la misma así que se montarán a cada banda un ánodo que suministrará 150 amperios, completando así el total de 300 amperios para la superficie mojada. También existirán dos electrodos de referencia que tomarán lecturas de la densidad de corriente del casco, uno en babor y otro en estribor los cuales tomarán lecturas constantes del potencial en el casco.

Con la corriente alterna existente a bordo, se alimenta a un equipo transformador-rectificador, que nos da una corriente continua de salida que se dispersa a través del electrolito y retornando al casco, cerrando así el circuito de protección. Es el equipo transformador-rectificador el que suministra a los ánodos de forma preseleccionada la intensidad de corriente requerida.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Estos equipos normalmente tienen incorporados un sistema de control que mide constantemente el potencial del casco, comparando con el óptimo que hemos seleccionado para así efectuar una regulación efectiva de la corriente de salida de los ánodos.

No hay necesidad de montar ánodos de sacrificio en las zonas de turbulencias como proa y sobre todo popa, cerca de la hélice, debido a que si los ponemos en esa zona no sería efectivo el sistema de corrientes impresas hasta que esos ánodos perdieran su capacidad de proteger, con lo cual redundaríamos sistemas y aumentaríamos costos.

7.1.2 Protección catódica activa interna.

El buque dispone en las tomas de mar de un sistema de protección catódica por medio de corrientes impresas que emplea ánodos especialmente aleados para cumplir la finalidad anti-incrustante así como anticorrosivo, el cual no debe ser instalado en tomas de mar para agua potable.

Por lo general estos sistemas son diseñados para la condición de máximo flujo que puede pasar a través de una sola toma de mar, y cada una de dichas tomas, disponen de al menos un ánodo de cobre, que cumple la función de eliminar las bio-incrustaciones, y un ánodo de hierro o aluminio para proteger contra la corrosión en el interior de las tuberías.

El sistema normalmente y como ya se ha dicho se conforma por:

- Dos ánodos en cada toma de mar, uno de cobre y otro de acero (o aluminio, dependiendo del material de las tuberías del buque).
- La correspondiente unidad de control de potencia con su panel de control. Dicha unidad puede recibir indicaciones de si los equipos están en

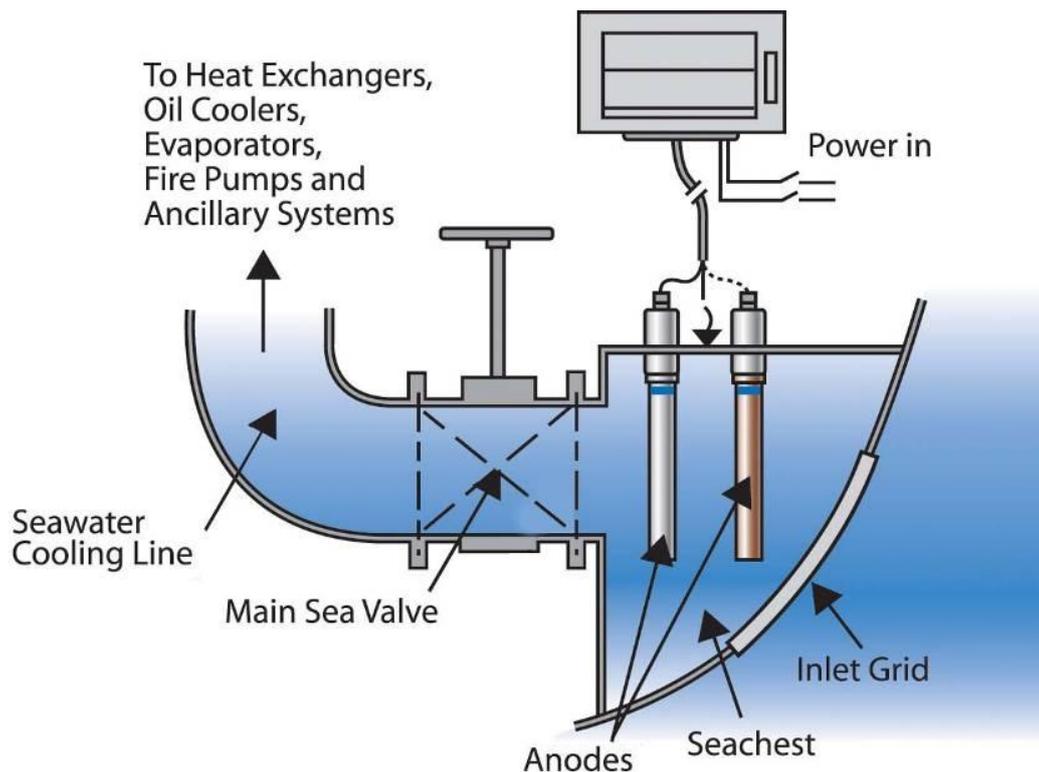


Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



funcionamiento o parados para mantener una correcta proporción de iones en las diferentes circunstancias de servicio.

En la siguiente figura se representa perfectamente el sistema, ver también planos 3 y 4 de la sección de planos.



La unidad de potencia también puede recibir indicaciones de si los equipos están en funcionamiento o parados para mantener la correcta proporción de iones en cada circunstancia.

El sistema depende del modo operacional de las tomas de mar, por consiguiente comentaré someramente el modo en el que se emplearán las tomas de mar así como a que aparatos alimentan, para a continuación hacer el cálculo de la masa anódica a instalar.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



7.1.2.1 Justificación de los caudales de las tomas de mar.

Es necesario saber los caudales de las diferentes tomas de mar, para poder así establecer los pesos de los diferentes ánodos, por ello y a continuación hago una relación de los caudales de las diferentes bombas y condensadores.

- 3 Tomas de mar en popa. Se considerarán que los caudales circulantes por estas tomas de mar son caudales permanentes. Constando estas tomas de una bomba de circulación de agua salada ($75 \text{ m}^3/\text{h}$), dos bombas de agua salada ($800 \text{ m}^3/\text{h}$) y una bomba de agua salada ($225 \text{ m}^3/\text{h}$).

El caudal total es $1900 \text{ m}^3/\text{h}$.

- 1 Toma de mar en proa. Esta toma se constituye por un condensador ($80 \text{ m}^3/\text{h}$) y una bomba de agua salada ($15 \text{ m}^3/\text{h}$).

El caudal total es de $95 \text{ m}^3/\text{h}$.

7.1.2.2 Tomas de mar baja, babor y estribor en popa.

Estas dos tomas de mar están situadas a popa, una a estribor y otra a babor. Los caudales entrantes por estas tomas están destinados al circuito de refrigeración, con un valor de $1900 \text{ m}^3/\text{h}$, con lo cual debemos asumir que cada una de dichas tomas absorberá el 50% de dicho caudal ($950 \text{ m}^3/\text{h}$).

La estimación de uso de dichas tomas es del 100% del ciclo entre las varadas de cada 5 años, en cuya varada se procederá a la sustitución de los ánodos.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Al absorber ambas tomas de mar el mismo caudal, se realizará el cálculo de la dimensión del ánodo para una sola de las dos tomas, siendo el resultado aplicable a la otra toma de mar.

El material de las tuberías es cuproníquel, también llamado Cu-Ni.

Valores en los que se basa el cálculo.

Dosis del cobre de 2 ppm (partes por millón) al agua de mar = 2×10^{-9} g de Cu por gramo de agua de mar.

Peso del agua asumido para 1 m³ de agua salada = 1 tonelada = 1×10^6 g/m³

Cu/hora = (peso del agua/hora) x Cu dosis = $((950 \text{ m}^3/\text{h}) / (10^6 \text{ g/m}^3)) \times 2 \times 10^{-9} = 1.9 \text{ g/h}$.

Corriente eléctrica requerida según la ley de Faraday, 1 Amp/hora disolverá 1.19 g/h de Cu, y 1.14 g/h de Fe.

Corriente = $(1.9 \text{ g/h}) / (1.19 \text{ g/Amp}) = 1.6 \text{ Amp / h}$

Por lo tanto cobre por ánodo por hora será = 1.9 g/h.

Cálculo.

Cobre para 5 años se calculará ahora fácilmente:

$1.9 \text{ g/h} \times 24 \text{ h/día} \times 365 \text{ días/año} \times 5 \text{ años} = 83.220 \text{ gramos de Cu}$



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



En el caso de utilizar ánodos de 120 mm de diámetro, teniendo en cuenta que el peso del Cu es de 101.6 g/mm longitud/ánodo, tendremos que la longitud de diseño es de:

$$83220 / 101.6 = 819 \text{ mm}$$

La longitud máxima recomendada para ánodos es de 1000 mm, y debido a que aún falta por sumarle a los ánodos el final de carrera Standard para conexión, así como aplicarle un 5% de erosión permitida por año como veremos superaremos dicho valor máximo por lo que optaremos por dos ánodos en lugar de uno sólo. Quedando así:

$$\text{Longitud diseñada } 819 \text{ mm}/2 = 409 \text{ mm (dos ánodos de la misma longitud)}$$

$$\text{Erosión permitida} = 5\% \text{ de la longitud por año en uso} = 409 \text{ mm} \times 5\% \times 5 \text{ años} = 102 \text{ mm}$$

$$\text{Final de carrera del ánodo Standard (conexión)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud total de cada ánodo} = 409 \text{ mm} + 102 \text{ mm} + 100 \text{ mm} = 611 \text{ mm}$$

Para la prevención contra la corrosión en las tuberías con predominancia de Cu-Ni se instalará el mismo tamaño de ánodo en hierro, como método preventivo para la corrosión en dichas tuberías. Si las tuberías fueran de acero naval para la prevención de la corrosión en las mismas se podría optar por instalar el ánodo en material aluminio.

Ver disposición de ánodos en el plano N° 4 de la sección de planos.

7.1.2.3 Toma de mar alta de popa.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



La toma de mar no está siempre operativa, considerándose que estará funcional el 10 % del ciclo de vida entre varadas. El caudal que manejará será igual al correspondiente a las tomas de mar bajas de popa, es decir $950 \text{ m}^3/\text{h}$. El material de las tuberías es CU-Ni.

Valores en los que se basa el cálculo.

Dosis del cobre de 2 ppm (partes por millón) al agua de mar = $2 \times 10^{-9} \text{ g}$ de Cu por gramo de agua de mar.

Peso del agua asumido para 1 m^3 de agua salada = 1 tonelada = $1 \times 10^6 \text{ g/m}^3$

$\text{Cu/hora} = (\text{peso del agua/hora}) \times \text{Cu dosis} = ((950 \text{ m}^3/\text{h}) / (10^6 \text{ g/m}^3)) \times 2 \times 10^{-9} = 1.9 \text{ g/h}$.

Corriente eléctrica requerida según la ley de Faraday, 1 Amp/hora disolverá 1.19 g/h de Cu, y 1.14 g/h de Fe.

$\text{Corriente} = 1.9 \text{ g/h} / 1.19 \text{ g/amp} = 1.6 \text{ Amp}$

Por lo tanto cobre por ánodo por hora será = 1.9 g/h.

Cálculo.

Cobre para 5 años se calculará del siguiente modo:

$1.9 \text{ g/h} \times 24 \text{ h/día} \times 365 \text{ días/año} \times 5 \text{ años} \times 10\% = 8322 \text{ gramos de Cu}$.

Para este caso usaremos ánodos de 82.5 mm de Cu, siendo su peso = 47,6 g/mm longitud del ánodo. Para este caso en concreto la longitud diseñada será:



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



$$8322 / 47,6 = 174 \text{ mm}$$

**Erosión permitida = 10% de la longitud por año en uso = 174mm x 10% x 5 años x
10% = 9 mm**

**Para el 90 % de los 5 años la toma de mar no está en uso y se le aplica 0.2 Amp.
Consumo del ánodo a 0.2 Amp = 21 mm/año = 21 x 5 x 90% = 95 mm**

Final de carrera del ánodo Standard (conexión) = 100 mm

Longitud total de cada ánodo = 174 mm + 9 mm + 95 mm + 100 mm = 378 mm

Para la prevención contra la corrosión en las tuberías con predominancia de Cu-Ni optaremos por la instalación de un ánodos con las mismas dimensiones en material hierro.

Ver disposición de ánodos en el plano N° 4 de la sección de planos.

7.1.2.4 Toma de mar proa.

Ésta es la única toma de mar existente en proa del buque, y su uso será permanente, es decir estará operativo el 100% del tiempo entre varadas que será de 5 años. Tiene un caudal permanente de 95 m³/h, lo que comparativamente con respecto a las de popa es un caudal bastante pobre. El material de las tuberías es CU-Ni.

Valores en los que se basa el cálculo.

**Dosis del cobre de 2 ppm (partes por mil millones) al agua de mar = 2 x 10⁻⁹ g de
Cu por gramo de agua de mar.**



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Peso del agua asumido para 1 m³ de agua salada = 1 tonelada = 1x10⁶ g/m³

Cu/h = (peso del agua/hora) x Cu dosis = ((95 m³/h) / (10⁶g/m³)) x 2 x 10⁻⁹ = 0.19 g/h.

Corriente eléctrica requerida según la ley de Faraday, 1 Amp/hora disolverá 1.19 g/h de Cu, y 1.14 g/h de Fe.

Corriente = 1.9 g/h / 1.19 g/Amp = 1.6 Amp

Por lo tanto cobre por ánodo por hora será = 0.19 g/h.

Cálculo.

Cobre para 5 años se calculará del siguiente modo:

0.19 g/h x 24 h/día x 365 días/año x 5 años = 8322 gramos de Cu.

Para este caso usaremos ánodos de 82.5 mm de Cu, siendo su peso = 47,6 g/mm longitud del ánodo. La longitud de diseño que tendrá el ánodo a montar en la zona de proa del buque será de:

8322/47,6 = 174 mm

Erosión permitida = 10% de la longitud por año en uso = 174mm x 10% x 5 años x = 87 mm.

Final de carrera del ánodo Standard (conexión) = 100 mm

Longitud total de cada ánodo = 174 mm + 87 mm + 100 mm = 361 mm



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Para la prevención contra la corrosión en las tuberías con predominancia de Cu-Ni instalaremos un ánodo de las mismas dimensiones al anterior pero de hierro, debido al material que protege.

Ver disposición de ánodos en el plano N° 3 de la sección de planos.

7.1.2.5 Sistema redundante en filtros de las tres tomas de mar de popa.

El sistema Antifouling también dispone de un sistema de ánodos en los filtros de las diferentes tomas de mar, para que en caso de error de funcionamiento de las tomas, éstos entren en funcionamiento, no dejando desprotegidas las tuberías. El cálculo de dichos ánodos se realizará para $950 \text{ m}^3/\text{h}$ el 100% del tiempo.

Valores en los que se basa el cálculo.

Dosis del cobre de 2 ppm (partes por mil millones) al agua de mar = 2×10^{-9} g de Cu por gramo de agua de mar.

Peso del agua asumido para 1 m^3 de agua salada = 1 tonelada = $1 \times 10^6 \text{ g/m}^3$

$\text{Cu/h} = (\text{peso del agua/hora}) \times \text{Cu dosis} = ((950 \text{ m}^3/\text{h}) / (10^6 \text{ g/m}^3)) \times 2 \times 10^{-9} = 1.9 \text{ g/h}$.

Corriente eléctrica requerida según la ley de Faraday, 1 Amp/hora disolverá 1.19 g/h de Cu, y 1.14 g/h de Fe.

$\text{Corriente} = 1.9 \text{ g/h} / 1.19 \text{ g/amp} = 1.6 \text{ Amp}$

Por lo tanto cobre por ánodo por hora será = 1.9 g/h.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



Cálculo.

Cobre para 1 año se calculará del siguiente modo:

$$1.9 \text{ g/h} \times 24 \text{ h/día} \times 365 \text{ días/año} = 16644 \text{ g.}$$

Para este caso usaremos ánodos de 82.5 mm de Cu, siendo su peso = 47,6 g/mm longitud del ánodo. La longitud de diseño que tendrá el ánodo a montar en la zona de proa del buque será de:

$$16644 / 47,6 = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Erosión permitida} = 10\% \text{ de la longitud por año en uso} \times 10\% \times 1 \text{ año} = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Final de carrera del ánodo estándar} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud total de cada ánodo} = 350 + 35 + 100 = 485 \text{ mm}$$

Para la prevención contra la corrosión en las tuberías de Cu-Ni se instalará el mismo tamaño de ánodo en hierro.

Ver disposición de ánodos en filtros en el plano N° 4 de la sección de planos.

7.2 Protección catódica pasiva externa e interna.

Las zonas externas del casco ya están protegidas mediante un sistema de corrientes impresas por lo cual se hace innecesaria la instalación de ánodos de sacrificio.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



La función de este tipo de protección catódica es evitar la corrosión en los tanques de lastre, sentinas, de agua dulce o salada, y cualquiera que sea el tanque o espacio interno del buque que vaya a ser empleado como tanque, aunque esta protección no se aplicará a este buque debido a que el armador considera que con el sistema de pintura aplicado es suficiente.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



8.0 CONCLUSIONES.

- Lo primero que he de decir es que la protección catódica no es una ciencia exacta, los cálculos principalmente se basan en una densidad de corriente que se ha demostrado ser la correcta en un área particular o bajo determinadas condiciones específicas.
- La protección catódica mediante ánodos de sacrificio (protección catódica pasiva) es uno de los métodos más usados para minimizar los negativos efectos consecuentes de la corrosión.
- Para la elección del material anódico cuando empleamos un sistema de protección catódica pasiva mediante ánodos de sacrificio, principalmente hemos de tener en cuenta la serie electroquímica de los metales, los cuales tendrán carácter anódico con relación a otro.
- La composición química tiene una gran importancia en el comportamiento general, actuando directamente en las propiedades que determinan su utilización como ánodo: potencial de disolución, rendimiento de corriente, polarización y homogeneidad de la corrosión anódica.
- En la actualidad, podemos decir que está universalmente aceptada la idea de que la protección catódica es una guía tecnológica muy valiosa tanto para la economía, construcción y explotación de todo tipo de estructuras metálicas ya sean sumergidas o enterradas.



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



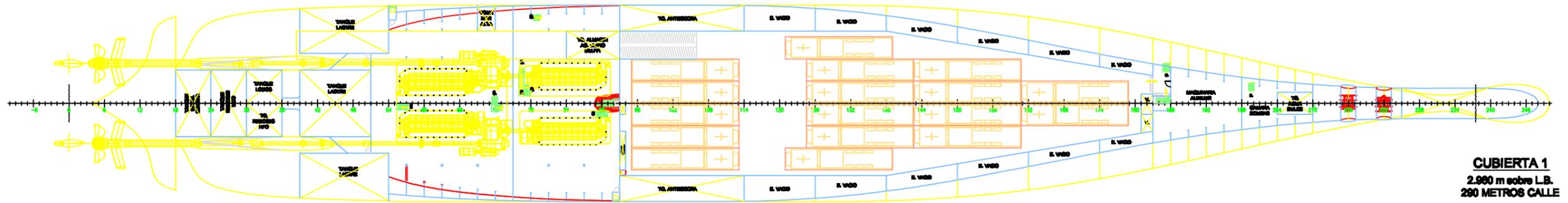
- La protección catódica no es la única forma de proteger una estructura ya que también existen métodos tales como el uso de recubrimientos, u otros como variar las composiciones de la superficie metálica mediante anodizadas, fosfatado, cromatado, pavonados, o aplicación de estabilizadores del óxido.



**Protección catódica de un
buque Ro-Ro de 210
plataformas**



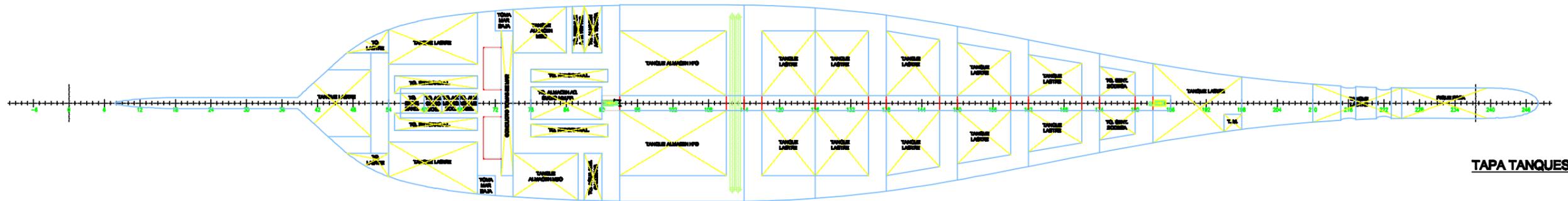
PLANOS



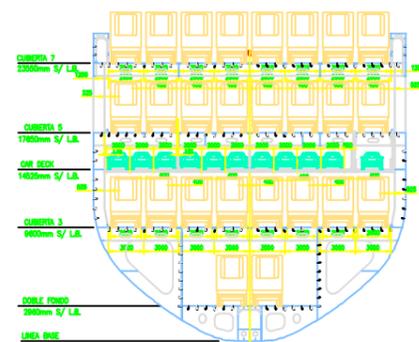
17 REMOLQUES

305 METROS CALLE

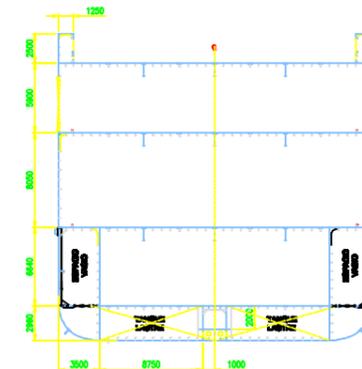
CUBIERTA 1
2.900 m sobre L.B.
290 METROS CALLE



TAPA TANQUES



SECCION PROA BODEGA



SECCION CDNA. MAESTRA

CARACTERISTICAS

SEORA TOTAL	288.45 m.
SEORA ENTRE PP.	162.00 m.
MANA	28.00 m.
PLANTA A CUBIERTA 3	8.00 m.
CALADO DE OBRERO	7.00 m.
CALADO DE BOMATELLADO	7.10 m.



E.U.I.T.
NAVAL

PROYECTO:
PROTECCION CATODICA DE UN BUQUE RO-RO
DE 210 PLATAFORMAS

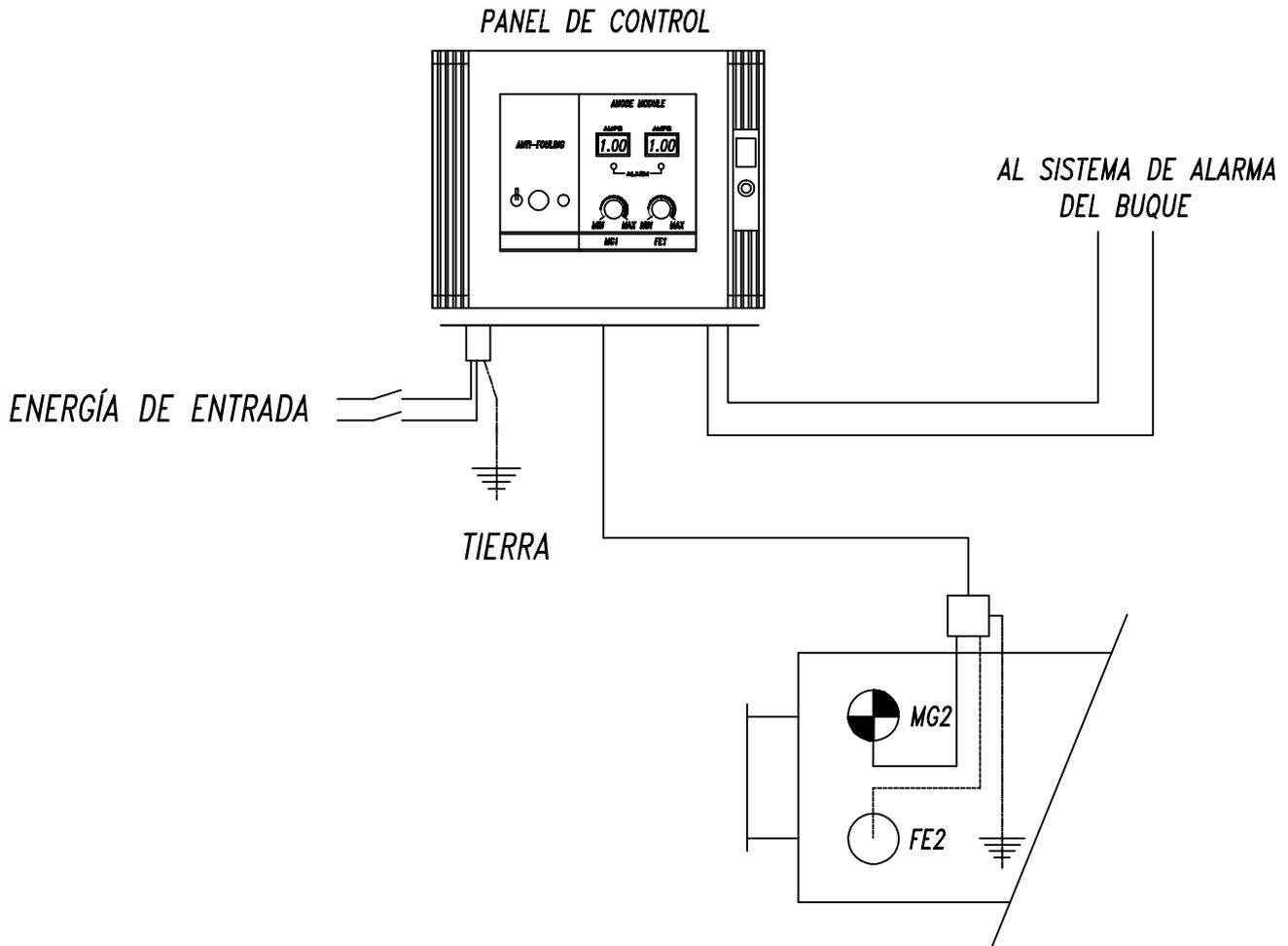
ALUMNO:
ISMAEL DIEZ ORTEGA

DISPOSICIÓN GENERAL 2/2

ESCALA
1:250

Nº PLANO
2

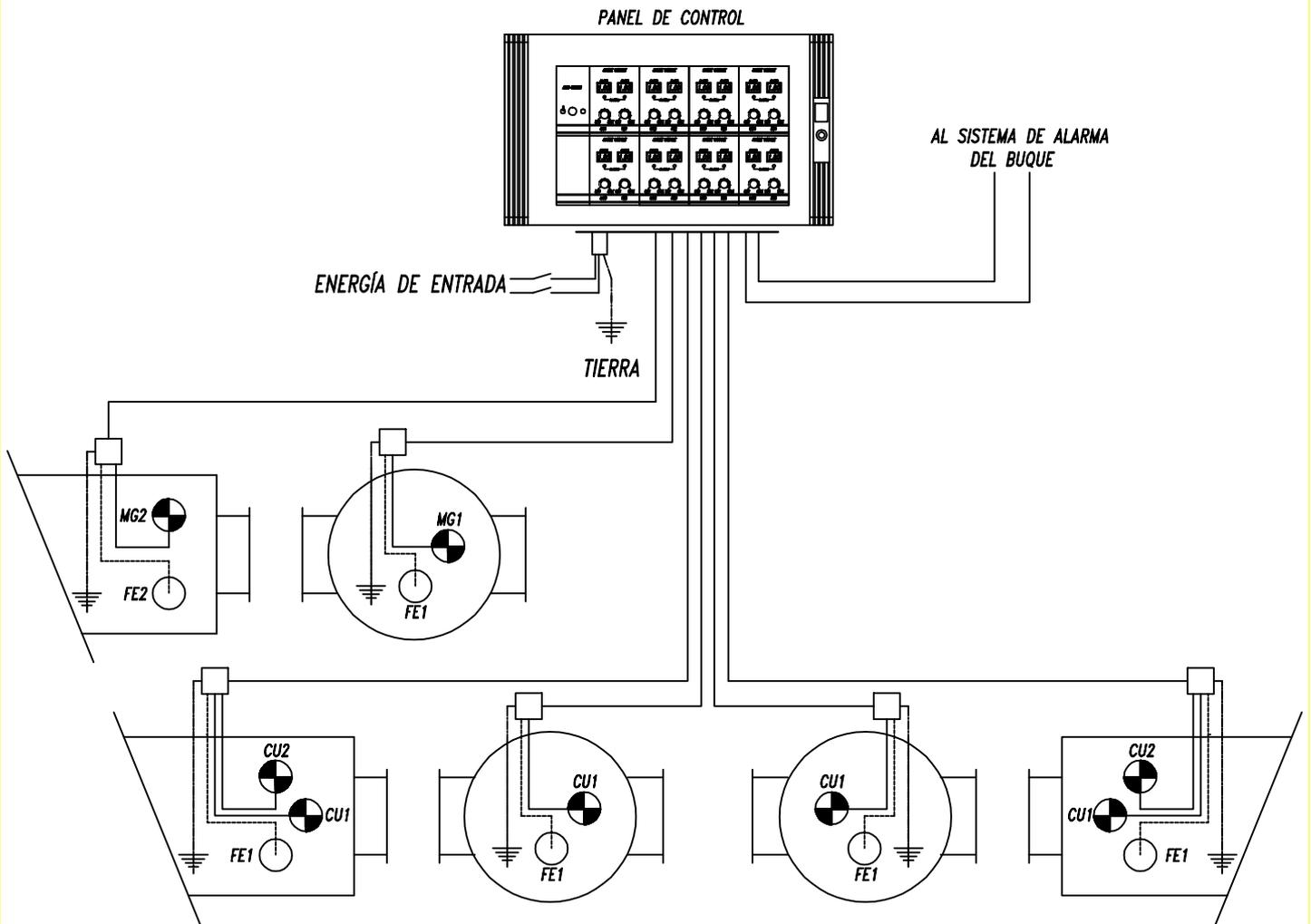
FECHA
AGOSTO 2005



ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE LOS CABLES:

CABLE DE DOBLE REVESTIMIENTO DE CAUCHO
 USAR 1 NÚCLEO PARA EL ÁNODO Y OTRO
 PARA RETORNO A TIERRA.

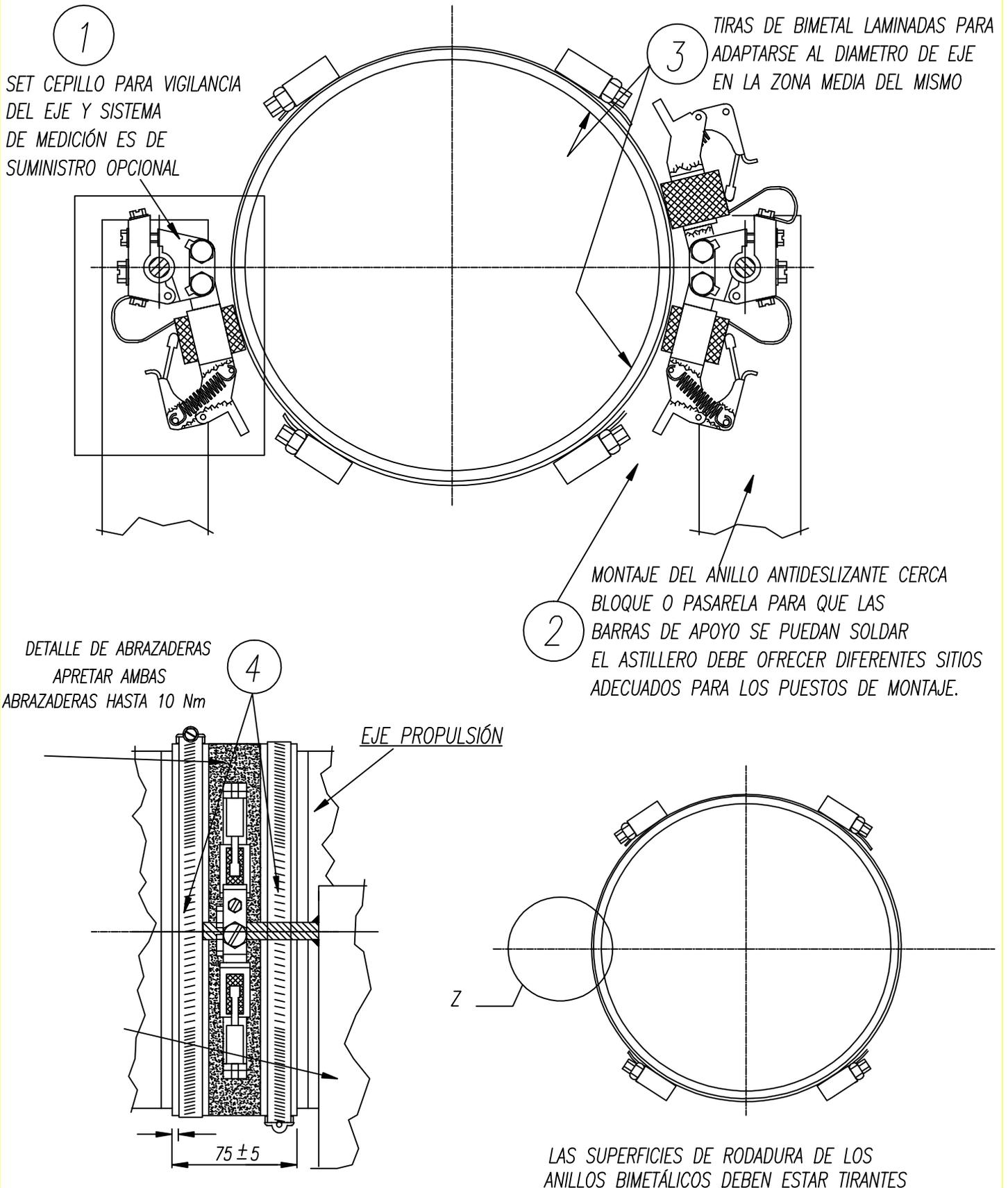
 E.U.J.T NAVAL	PROYECTO:	
	PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN BUQUE RO-RO DE 210 PLATAFORMAS	
	ALUMNO:	
	ISMAEL DÍEZ ORTEGA	
SISTEMA ANTIFOULING TOMA DE MAR DE PROA		ESCALA
		N.T.S.
		Nº PLANO
		3
		FECHA
		AGOSTO 2008



ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE LOS CABLES:

CABLE CON DOBLE REVESTIMIENTO DE CAUCHO
 USAR 1 NÚCLEO PARA EL ÁNODO Y OTRO
 PARA RETORNO A TIERRA.

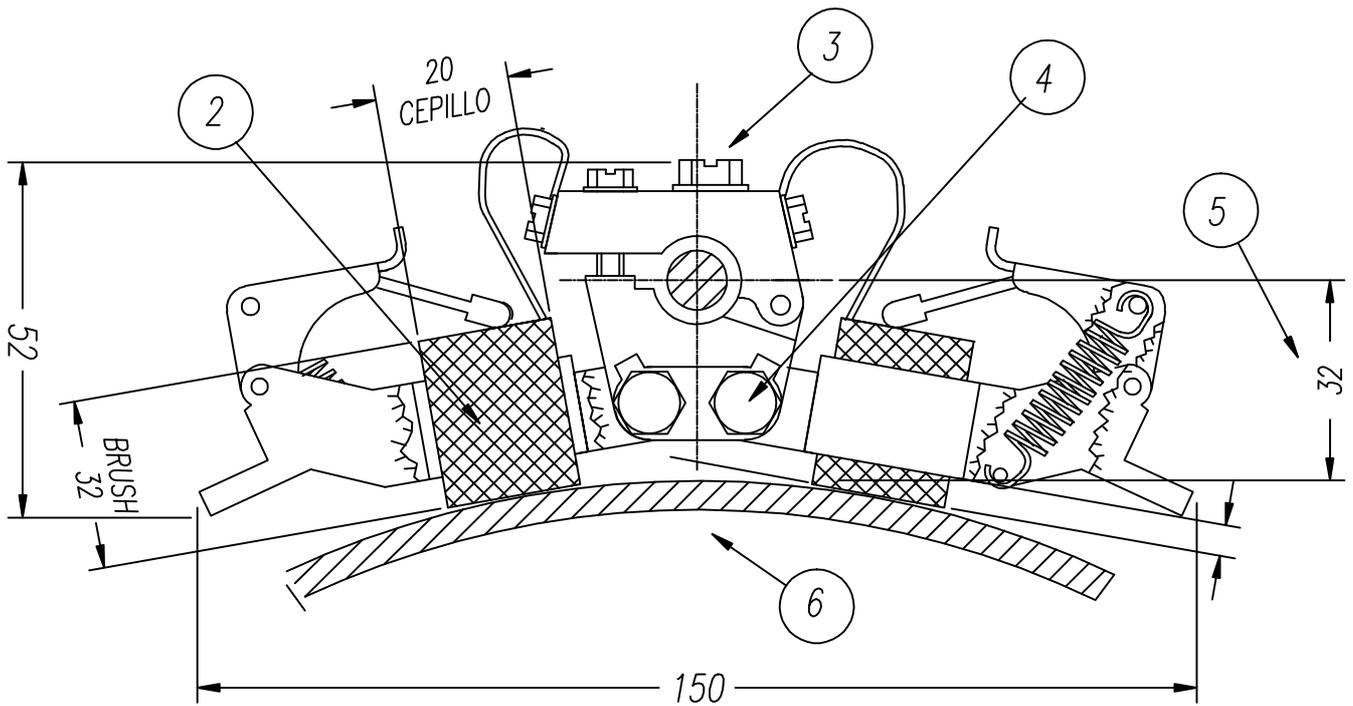
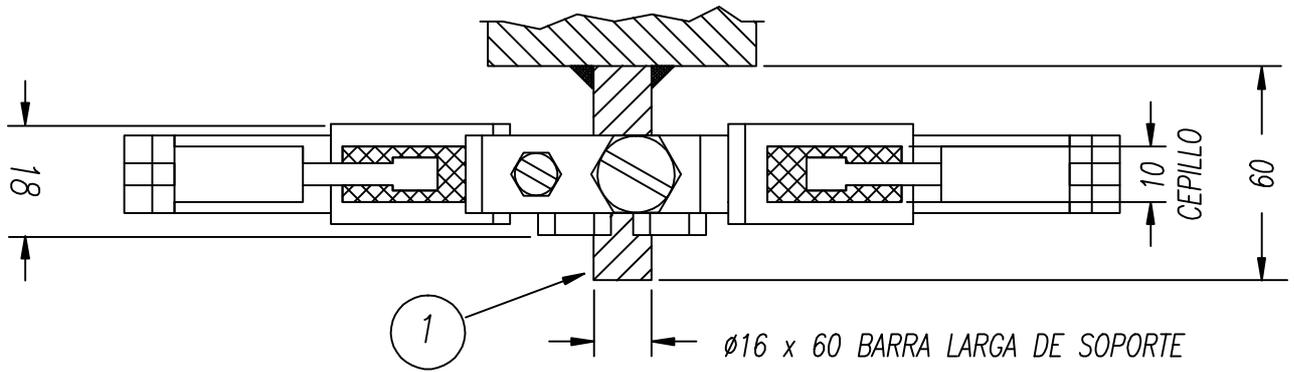
 E.U.I.T. NAVAL	PROYECTO:	
	PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN BUQUE RO-RO DE 210 PLATAFORMAS	
	ALUMNO:	ESCALA
ISMAEL DÍEZ ORTEGA	N.T.S.	
SISTEMA ANTIFOULING DE LAS TOMAS DE MAR DE POPA		Nº PLANO
		4
		FECHA
		AGOSTO 2008



NOTAS DEL PLANO:

- 1) CONJUNTO DETALLES EJE DE TIERRA Y SET CEPILLO EN PLANO N° 6
- 2) CONJUNTO DE DETALLES CEPILLO Y TOMA TIERRA DEL EJE EN PLANO N° 6
- 3) BANDAS BIMETÁLICAS ROLADAS PARA ADAPTARSE AL DIÁMETRO REQUERIDO
- 4) DETALLES DE ABRAZADERAS EN PLANO N° 6

 E.U.J.T NAVAL	PROYECTO:		
	PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN BUQUE RO-RO DE 210 PLATAFORMAS		
	ALUMNO:		ESCALA
	ISMAEL DÍEZ ORTEGA		N.T.S.
PUESTA EN MASA EJE 1/2		Nº PLANO	
		5	
		FECHA	
		AGOSTO 2008	



1 MONTAR EL ANILLO DE DESLIZAMIENTO Y CEPILLO ESTABLECIDOS EN LA ZONA INTERMEDIA DEL EJE, CERCA DE LA PASARELA O EL BLOQUE SOLDADURA EN LA POSICIÓN DE APOYO DE LA BARRA. UTILIZAR ESTA PINZA PARA FIJAR LA BARRA EN POSICIÓN.

2 ALTA DENSIDAD, BAJA RESISTENCIA PINCEL DE PLATA DE GRAFITO

3 CONJUNTO CEPILLO PERNO Y CABLE A TIERRA. CONECTAR A PLANCHE DEL CASCO USANDO EL CABLE.

4 PERNOS DE ALINEACIÓN DEL CEPILLO. APRETAR Y ASEGURAR LA PESTAÑA DE BLOQUEO. DESPUES DE CERRADO.

5 DISTANCIA ENTRE CENTRO DE SOPORTE DE LA BROCHA A LA BARRA DE APOYO Y PARTE SUPERIOR DE LA SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO DEL ANILLO MONTADO.

6 MONTAJE DEL ANILLO DE COBRE.



E.U.I.T.
NAVAL

PROYECTO:

PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN BUQUE RO-RO DE 210 PLATAFORMAS

ALUMNO:

ISMAEL DÍEZ ORTEGA

ESCALA

N.T.S.

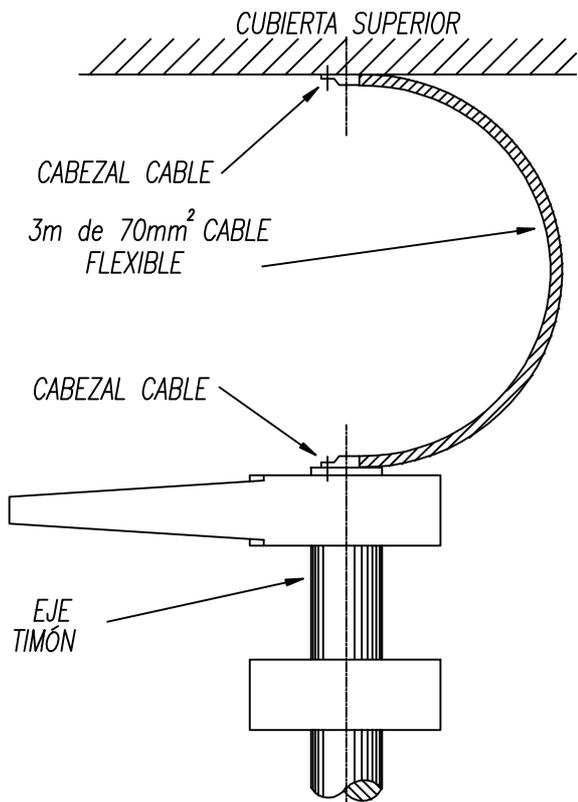
Nº PLANO

6

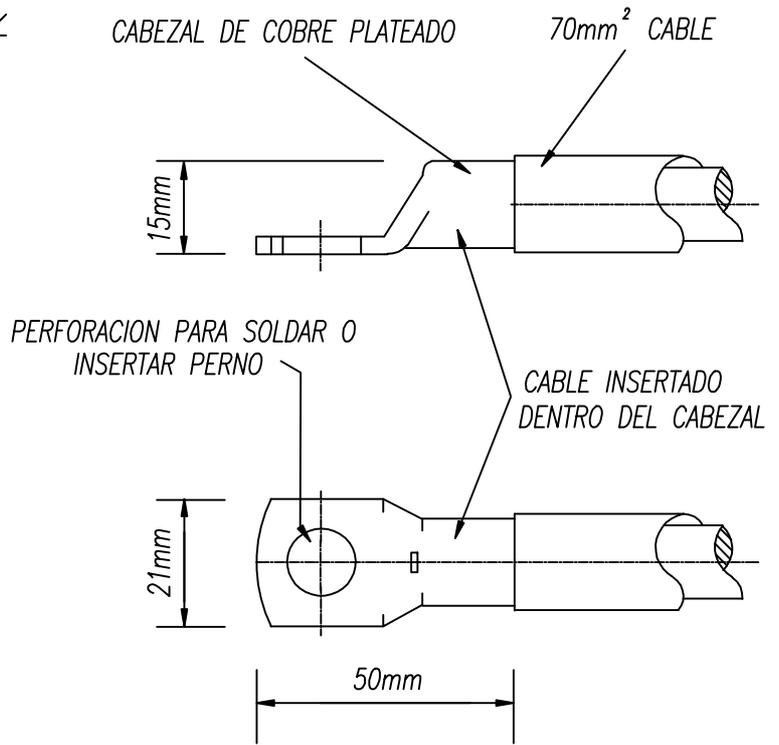
FECHA

AGOSTO 2008

PUESTA EN MASA EJE 2/2



DISPOSICIÓN DE UNIÓN DEL TIMÓN



DISPOSICIÓN UNIÓN CABLE



E.U.I.T.
NAVAL

PROYECTO:

**PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN BUQUE RO-RO
DE 210 PLATAFORMAS**

ALUMNO:

ISMAEL DÍEZ ORTEGA

ESCALA

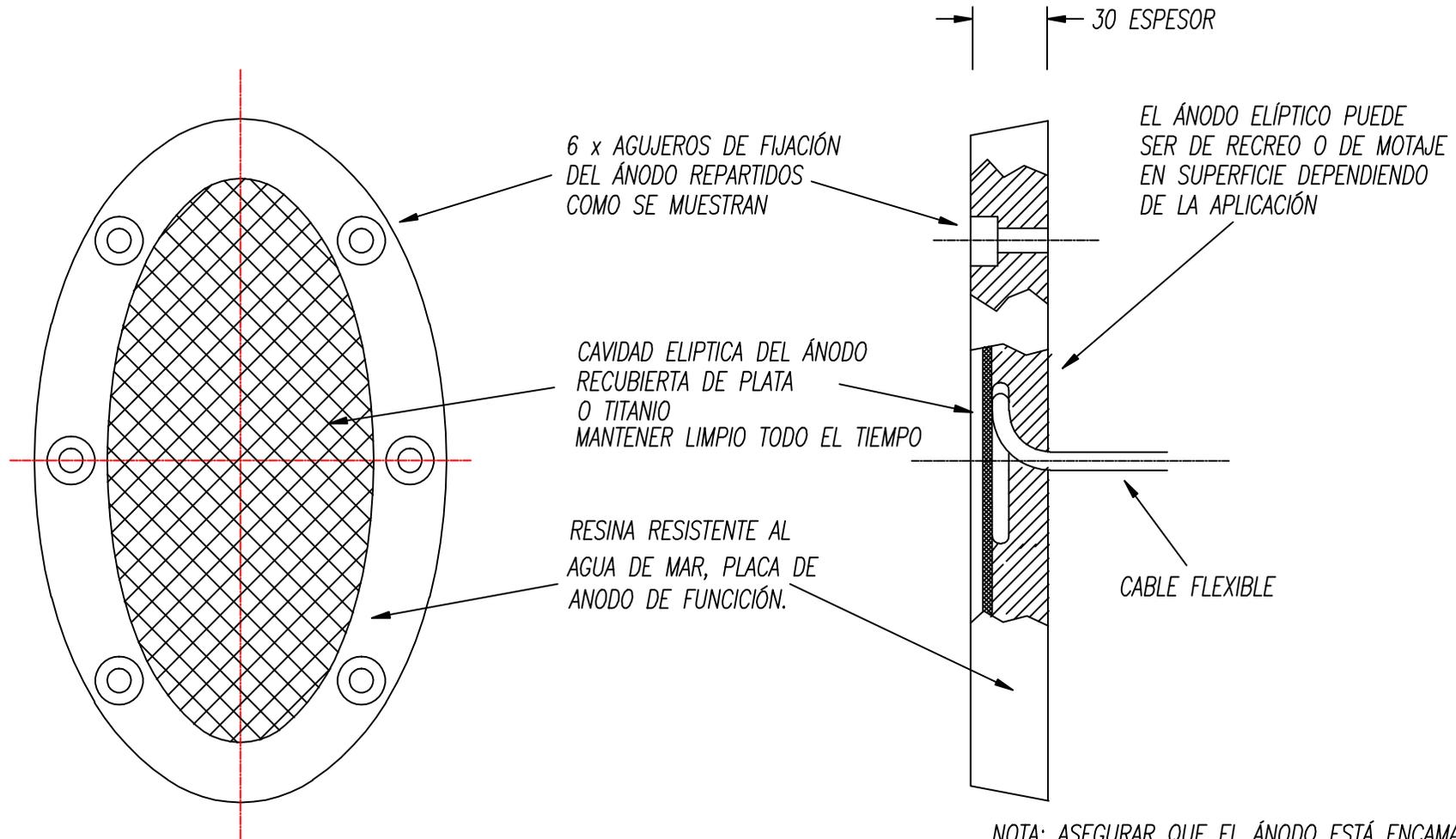
N.T.S.

Nº PLANO

7

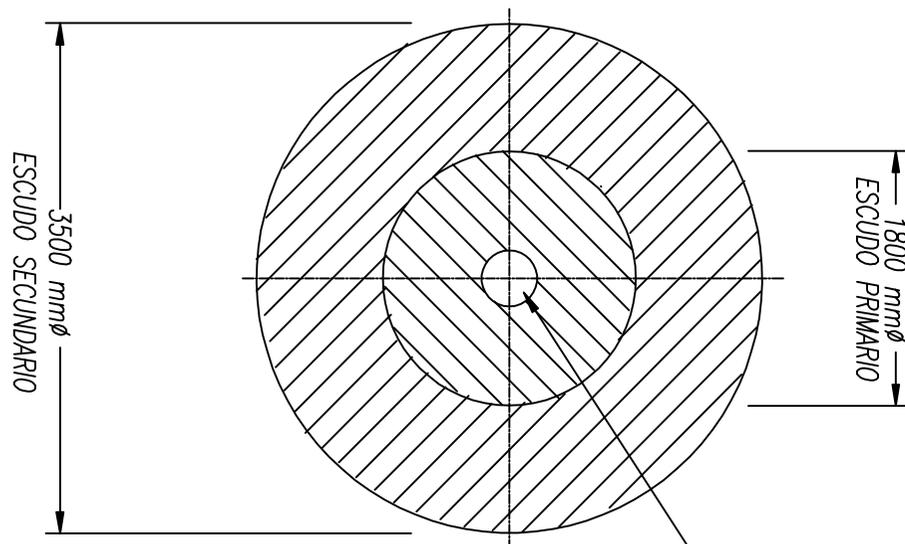
FECHA
AGOSTO 2008

PUESTA EN MASA EJE



NOTA: ASEGURAR QUE EL ÁNODO ESTÁ ENCAMADO SOBRE MASILLA DE SELLADO IMPERMEABLE DURANTE LA INSTALACIÓN.

 E.U.I.T. NAVAL	PROYECTO:	
	PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN BUQUE RO-RO DE 210 PLATAFORMAS	
	ALUMNO:	ESCALA
	ISMAEL DÍEZ ORTEGA	N.T.S.
ÁNODO DISPERSOR ELIPTICO		Nº PLANO
		8
		FECHA
		AGOSTO 2008

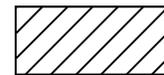


ÁNODO CIRUCLAR O ELÍPTICO EMPOTRADO

LEYENDA DE LAS ZONAS DE MASILLA:



ÁREA DE MASILLA DE RECUBRIMIENTO DIELECTRO PRIMARIO CON ESPESOR DE 4 A 1 MILÍMETROS EN EL ÁREA MOSTRADA



ÁREA DE MASILLA DEREUBRIMIENTO DIELECTRO SECUNDARIO USAR EL STANDARD DE RECUBRIMIENTO DEL CASCO DE 500 MICRONES COMO ESPESOR MÍNIMO EN EL ÁREA MOSTRADA

LA FORMA DEL ESCUDO PROTECTOR ESTÁ APROVADA TANTO PARA FORMA CIUCULAR COMO ELÍPTICA.



PROYECTO:
PROTECCIÓN CATÓDICA DE UN BUQUE RO-RO DE 210 PLATAFORMAS

ALUMNO:
ISMAEL DIEZ ORTEGA

ESCALA
N.T.S.

PASTA DIELECTRICA

Nº PLANO
9

FECHA
AGOSTO 2008



Protección catódica de un buque Ro-Ro de 210 plataformas



BIBLIOGRAFÍA

- OTERO Huerta, Enrique. Corrosión y degradación de materiales. Editorial Síntesis, Septiembre de 2001.
- Protección Catódica: ICCP y Antifouling. Llalco Fluid Technology, S.L.
<<http://www.llalco.com/>>
- Sistemas de Protección Catódica. Guldager Electrólisis, S.A.
<<http://www.guldager.es/>>
- Protección Catódica. WWI Procat, S.L.
<<http://www.wwiprocat.es/>>
- Protección Catódica. Argo, S.A.
<<http://www.argo-es.com/>>
- Det Norske Veritas Industri Norge, A.S. Recommended Practice Rp B401 Cathodic Protection Design. Enero de 2005.

