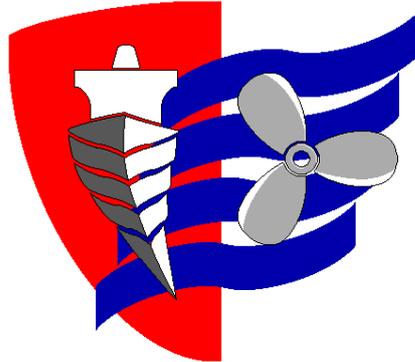


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO SOBRE EL CAMBIO DEL
SISTEMA ANTIFOULING PARA UN
BUQUE LNG**

**(Study on changing the antifouling
system on a LNG carrier)**

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Autor: Andrea González García

Director: Antonio Vega Omaña

Octubre-2015

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO SOBRE EL CAMBIO DEL SISTEMA
ANTIFOULING PARA UN BUQUE LNG**

(Study on changing the antifouling system on
a LNG carrier)

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Octubre-2015

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV:01	PÁG:4

ÍNDICE

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1.	Introducción.....	8
1.2.	Incrustaciones marinas	8
1.3.	Efectos de las bio-incrustaciones	9
1.4.	Glosario	9
1.5.	Características del buque.....	10
1.6.	Necesidad del sistema a bordo	13
1.6.1.	Colector de circulación del condensador principal	13
1.6.2.	Colector de refrigeración.....	15
2.	METODOLOGÍA	17
2.1.	Sistema actual MGPS	17
2.1.1.	Operación de los ánodos	17
2.1.2.	Sistema de circulación condensador principal	18
2.1.3.	Sistema de refrigeración.....	20
2.2.	Chloropac	21
2.2.1.	Teoría de la electrólisis de agua de mar	23
2.2.2.	Principio de operación.....	23
2.3.	Evaluación	25
2.3.1.	Mantenimiento	25
2.3.2.	Costes	33
2.3.3.	Efectividad	35
3.	DESARROLLO	45
3.1.	Selección del equipo.....	45

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:5

3.2.	Sistema propuesto.....	48
3.3.	Instalación	49
3.3.1.	Alimentación agua salada	49
3.3.2.	Células.....	51
3.3.3.	Paneles transformadores-rectificadores	53
3.3.4.	Inyecciones tomas de mar	54
4.	CONCLUSIONES	59
5.	ANEXOS	61
6.	BIBLIOGRAFÍA	91

RESUMEN

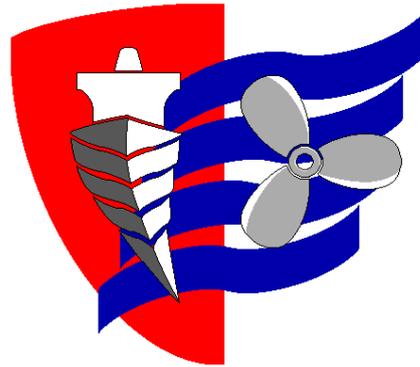
Este trabajo consiste en el estudio del posible cambio del sistema antifouling de un buque LNG, para ello en el trabajo se pone de manifiesto la importancia del sistema en el funcionamiento del buque. En el estudio se analizará el funcionamiento tanto del sistema a bordo como del sistema nuevo que se pretende instalar. Además se incluye una evaluación de ambos sistemas atendiendo a los mantenimientos programados e intervalos, los costes de mantenimiento y la efectividad del sistema, destacando los problemas que genera el sistema actual. Por último se propone la instalación del sistema Chloropac®, detallando la situación y las necesidades para la introducción de este sistema a bordo.

"This study is about the possibility of changing the antifouling system on a LNG carrier, to do so it highlights the importance of this system on board. In this study the functioning of both systems will be analyzed, the system on board as well as the new system. In addition an evaluation of both systems attending the maintenance routines and periods, the maintenance costs and the efficiency. Finally Chloropac® system installation is proposed, detailing the location and the needs for introducing this new system on board."

PALABRAS CLAVE

Antifouling, Buque gasero.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:8

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Introducción

Este trabajo fin de grado consiste en un comparativa del sistema de prevención de bio-incrustación a bordo del buque Galicia Spirit y la posible sustitución del mismo para una mayor operatividad del buque.

Se estudiarán los ambos sistemas de prevención de bio-incrustaciones y la idoneidad de un nuevo sistema en función de la operatividad, los costes de mantenimiento y la eficacia del mismo.

1.2. Incrustaciones marinas

Siempre que una fuente natural de agua es utilizada en un proceso industrial, el problema de las bio-incrustaciones se hace presente. Este problema es de especial importancia en los buques, en los que se emplea el agua de mar como medio de refrigeración.

Casi cualquier tipo de vida marina puede crecer y causar una infestación. Especialmente en el ambiente de un circuito de refrigeración en el que la falta de depredadores y una casi ideal temperatura puede acelerar sobre manera el crecimiento y multiplicación de estas formas de vida marina.

Las infestaciones pueden clasificarse en estos tres tipos:

- Moluscos de concha dura, como mejillones o percebes, que entran en el sistema como embriones, adhiriéndose a las paredes internas de las tuberías y creciendo hasta restringir el flujo de agua a través de ellas. Restos de conchas de los moluscos muertos se arrastran a través del circuito obstruyendo válvulas y condensadores.
- Moluscos de concha blanda y vegetación marina, mezclado con partículas de conchas duras se depositan como fango en puntos críticos de la instalación.
- Organismos microscópicos y algas que crecen continuamente formando una capa cada vez mayor en las superficies en contacto con el agua.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:9

1.3. Efectos de las bio-incrustaciones

Los efectos adversos de las bio-incrustaciones dependerán del proceso. En sistemas de refrigeración a bordo de un buque, se pueden traducir en una reducción de la eficiencia de la planta propulsora. Tuberías con incrustaciones pueden llevar a costosas paradas de planta, excesivo desgaste y corrosión en los sistemas o simplemente la demanda de un programa de limpieza manual continuo.

Los principales efectos adversos se pueden distribuirse en estas categorías:

- **Turbulencia destructiva:** el crecimiento de organismos, sobre todo en las tuberías de entrada, pueden alterar en flujo normal del sistema y producir un efecto erosivo en la tubería.
- **Perdida de transferencia de calor:** en cualquier sistema de refrigeración, una infestación puede traducirse en una restricción del flujo de agua a las superficies de intercambio de calor, por ejemplo en un condensador. En el mejor de los casos resultaría en una pérdida de vacío, en el peor de los casos puede conllevar una parada de emergencia debido al sobrecalentamiento.
- **Obstrucciones:** en algunos casos pueden eliminarse temporalmente por limpieza manual o química o mediante la acción de un flujo invertido. Sin embargo en otros casos tienen un efecto adverso permanente.
- **Corrosión:** Hay evidencias de que el crecimiento de la vida marina es una causa directa de la corrosión incluso en materiales normalmente resistentes a ella. Las adherencias orgánicas tienden a restringir la difusión de oxígeno a la superficie del metal y acelerar la corrosión localizada en puntos de la superficie metálica. Acero inoxidable expuesto al crecimiento de vida marina por dos años revela síntomas severos de corrosión por rendijas.

1.4. Glosario

- **MGPS (Marine Growth Prevention System):** sistema para la prevención de incrustaciones marinas.
- **Anti-fouling:** Antiincrustante, característica de un material que impide el adhesión y proliferación de vida marina.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:10

- electrólisis: es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción) y la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación).

1.5. Características del buque

El buque GALICIA SPIRIT, fue construido en Corea en el año 2004, por los constructores DAEWOO SHIPBUILDING AND MARINE ENGINEERING CO., LTD SOUTH COREA. Es propiedad de la Naviera TEEKAY GAS-II, S.A. y está registrado en Sta. Cruz de Tenerife.

Se ha empleado en la estructura acero de grado especial para bajas temperaturas, aprobado por la sociedad de clasificación y por la compañía licenciadora del sistema de membrana aislante Gaz Transport & Technigaz. Se trata de un buque especialmente proyectado y construido para el transporte de gas natural licuado a una temperatura de $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión atmosférica, en cuatro tanques convenientemente aislados empleando el diseño de doble membrana INVAR.



Ilustración 1- buque Galicia Spirit

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV: 01	PÁG: 11

Tabla 1- Características principales

LNG/C “GALICIA SPIRIT”	
Tipo	LNG Carrier-Membrane-GTT N° 96 E2
Armador	Naviera TEEKAY Gas II, S.A.
N° IMO	9247364
Puerto de registro	Santa Cruz de Tenerife
Distintivo	EAYP
Eslora Total	279.8 m
Eslora entre perpendiculares	268.8 m
Manga de trazado	43,4 m
Peso muerto	68200 tn
Capacidad de carga	140677.9 m³
Sistema contención carga	Membrana
Potencia propulsora	MCR 36000 SHP A 88 RPM NCR 32400 SHP A 85 RPM
Velocidad de servicio	19,5 nudos

El Galicia Spirit es un buque de turbinas en el cual la potencia total entregada a la hélice para el desplazamiento del buque, es suministrada por dos turbinas principales cuya fuente de energía, es el vapor generado en dos calderas. El vapor, una vez expandido, es condensado en el condensador principal y enviado de nuevo a la caldera.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:12

Tabla 2-Maquinaria principal

MAQUINARIA PRINCIPAL		
CALDERAS	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD.	
	CANTIDAD	2
	TIPO	VERTICAL CON DOS COLECTORES Y TUBOS DE AGUA.
	MÁX. EVAPORACIÓN	56000 KG/H CADA UNA.
	NOR.EVAPORACION	49000 KG/H CADA UNA.
	VAPOR RECALENTADO	61,5 KG/CM ² Y 515 °C.
TURBINA	KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD.	
	TIPO	TURBINA MARINA DE ALTA Y BAJA PRESIÓN CON COMPONENTE TRANSVERSAL
	POTENCIA	MCR. 36000 SHP A 88 RPM. NCR. 32400 SHP A 85 RPM.
	VAPOR RECALENTADO	60 KG/CM ² A 510 °C CON VÁLVULA DE MANIOBRA.
	REDUCTORA	DOBLE CAJA, CON DOBLE HELICOIDAL Y TANDEM ARTICULADO CON VIRADOR CONDUCTIDO POR UN MOTOR ELÉCTRICO REVERSIBLE QUE ALCANZA UNA VELOCIDAD DE GIRO DE 0,2 RPM.
PROPULSOR	DAEWOO	
	TIPO	HÉLICE DE PASO FIJO CON UN DIÁMETRO DE 8,5 M Y 5 PALETAS.

1.6. Necesidad del sistema a bordo

El buque Galicia Spirit cuenta con dos colectores de agua de mar, uno de ellos aporta el suministro de agua de refrigeración al condensador principal y en caso de necesitarlo al condensador atmosférico y el otro aporta el suministro de agua de mar necesario para los sistemas de refrigeración, lastre, contra incendios y alimentación de los generadores de agua dulce, cada uno de los colectores cuenta con una toma de mar alta y una toma de mar baja.

Para la operatividad del barco es vital que estos colectores estén limpios y aseguren un caudal a los sistemas a los que alimentan, el fallo en el suministro de uno de ellos puede resultar en una avería fatal para la operatividad del buque o una parada obligada para el mantenimiento de los mismos.

1.6.1. Colector de circulación del condensador principal

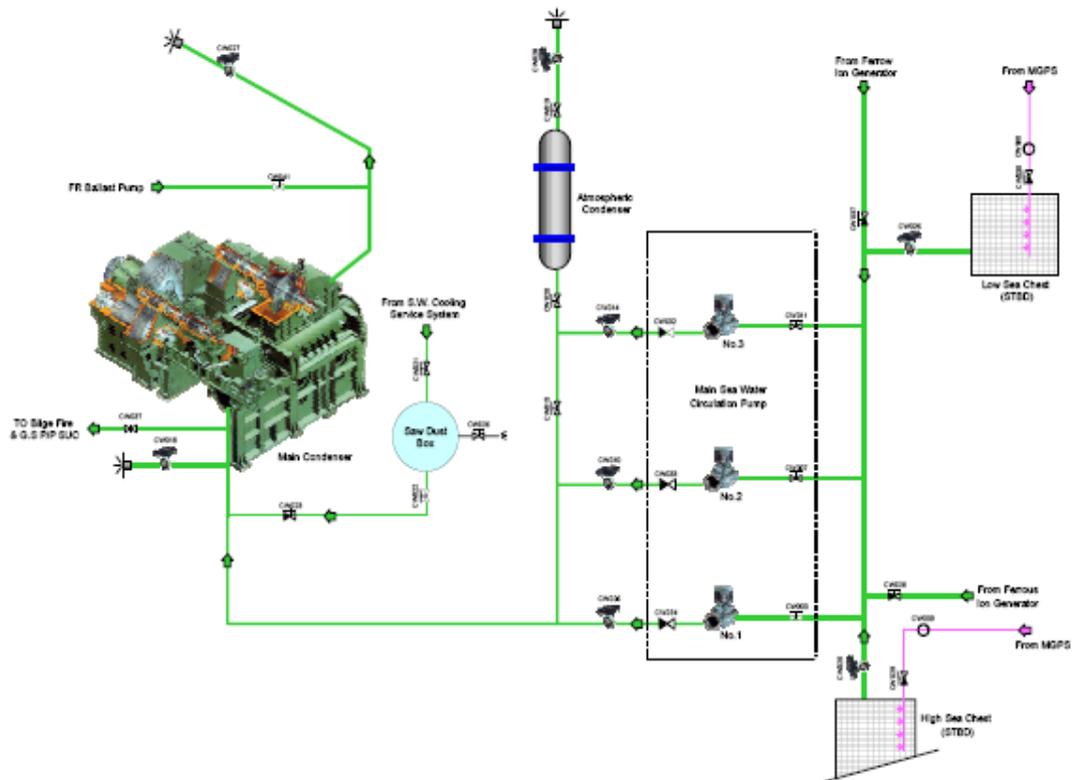


Ilustración 2- Esquema colector de circulación condensador principal

El condensador principal está instalado de forma transversal a la disposición de la turbina y es de tubos rectos. La refrigeración se consigue con las bombas principales de agua salada dirigiendo el flujo a través del condensador.

El vapor de exhaustación entra por la parte superior y cede su calor a los tubos del condensador de esta manera se condensa y genera una presión negativa, el condensado se acumula en la parte baja del condensador, de donde aspiran las bombas de extracción de condensado.

Los tubos por los que circula el agua de mar son de titanio y están unidos por ambos lados con unos platos. Éstos están unidos a la carcasa por medio de una junta de expansión que permite que los tubos se expandan libremente.

Tanto la entrada como la salida de agua del condensador están provistas con un sistema de corriente impresa para prevenir la corrosión de los tubos.

Para prevenir la bio-incrustación en los fondos y la tubería del sistema, el buque cuenta con un sistema de MGPS electrolítico cuyo funcionamiento se detallara más adelante en el trabajo. Su función es la de mantener la operatividad del condensador y por tanto la del rendimiento de la planta

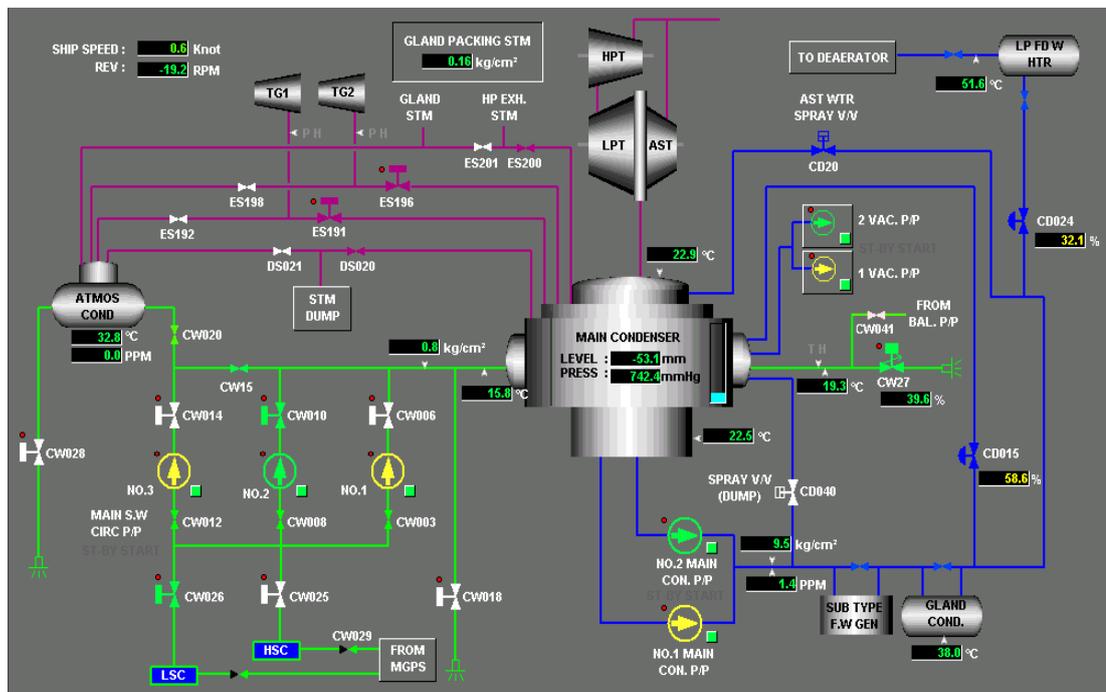


Ilustración 3- Esquema de condensador principal

Cualquier restricción en el flujo de agua salada del condensador conlleva una pérdida de transferencia de calor del vapor hacia al agua salada que se traduce en una pérdida de rendimiento general de la planta que a su vez se traduce en un consumo más elevado de la planta.

1.6.2. Colector de refrigeración

Este colector alimenta los servicios de lastre, contra incendios, alimentación de los generadores de agua dulce y refrigeración centralizada, todos ellos servicios esenciales para el funcionamiento del buque. En el caso de este colector cada fondo cuenta con un filtro, que en caso de un funcionamiento deficiente del sistema de prevención de las incrustaciones conlleva la limpieza periódica de los mismos.

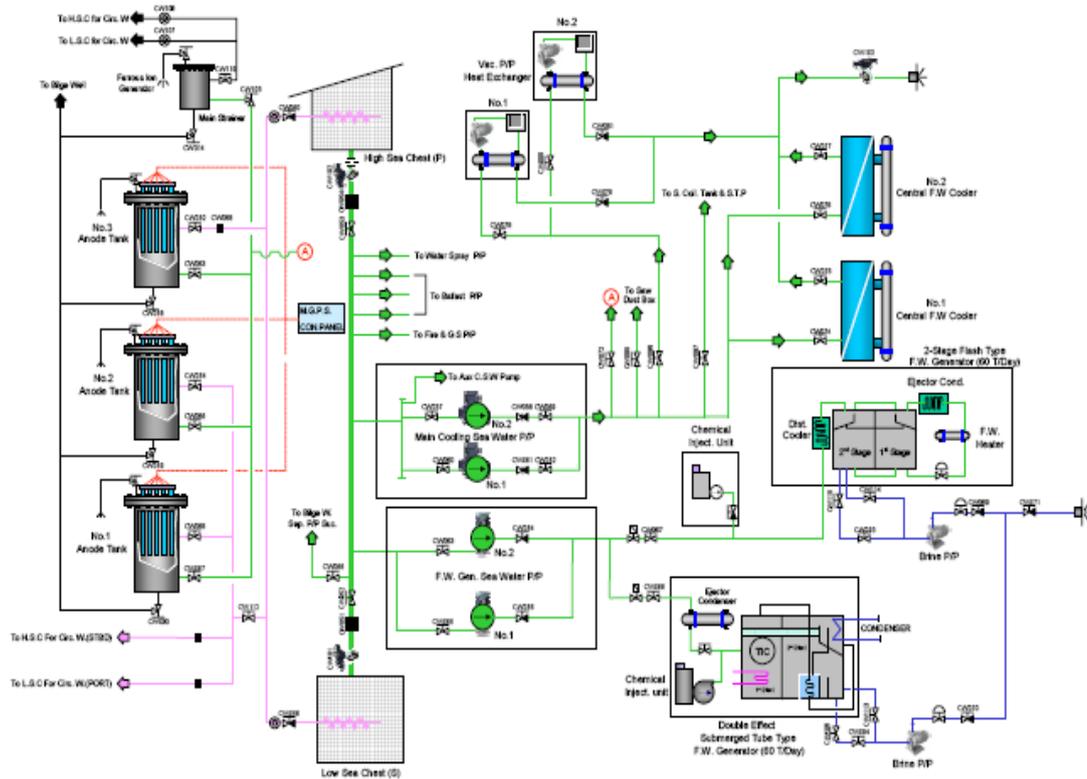
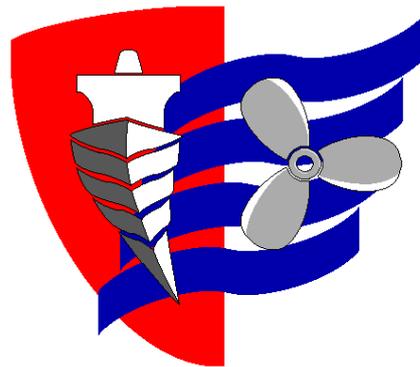


Ilustración 4- Esquema colector de refrigeración

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



METODOLOGÍA

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:17

2. METODOLOGÍA

2.1. Sistema actual MGPS

El sistema, diseñado por Korea Cathelco LTD, controla tanto el crecimiento de vida marina, como la corrosión en las tuberías. Basado en el principio electrolítico consiste en unos ánodos de sacrificio de cobre, hierro y aluminio que están alimentados con una corriente impresa a través de un panel de control.

Los ánodos en este caso están montados en tanques independientes, aunque en otros sistemas pueden estar montados directamente en las tomas de mar.

Cuando el sistema está en operación los ánodos de cobre producen iones que son transportados por el agua de mar a través de las tuberías y los equipos instalados posteriormente. Aunque las concentraciones de iones de cobre son extremadamente pequeñas, menos de 2 partes por billón, son suficientes para evitar que vida marina pueda establecerse y multiplicarse.

Al mismo tiempo, la disolución progresiva de los ánodos de hierro y aluminio produce iones de estos materiales que se reparten por el sistema y generan una capa anticorrosiva en la parte interna de las tuberías.

2.1.1. Operación de los ánodos

Se utilizan dos tipos de ánodos llamados MG (Marine Growth) y TP (Trap corrosion)

- Ánodos MG: fabricados en cobre. Los iones de cobre desprendidos gracias a la electrolisis actúan como biocida impidiendo la proliferación de la vida marina en la tubería.
- Ánodos TC: fabricados en aluminio. Para uso en sistemas en los cuales se utiliza predominantemente el acero. La reacción del aluminio con el agua de mar crea hidróxido de aluminio. Que se reparte por la tubería cargada positivamente creando una barrera anticorrosiva.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV: 01	PÁG: 18



Ilustración 5-Ánodos de cobre y aluminio

Para el sistema es vital el control de la corriente impresa aplicada a los ánodos. Una corriente excesiva provocara un consumo prematuro de los ánodos, reduciendo su vida útil y dejando el sistema desprotegido si se llega al consumo total de los mismos.

Una corriente insuficiente resultara en la infestación del sistema con vida marina. Una selección incorrecta de la corriente a través de los ánodos puede resultar en operaciones de limpieza muy costosas.

2.1.2. Sistema de circulación condensador principal

Para el sistema de circulación de agua de mar del condensador principal, se emplean dos tanques, cada uno con cuatro ánodos de cobre.

Los tanques están fabricados en acero dulce. La superficie interior del tanque tiene un recubrimiento de goma de 3 mm de espesor.

El flujo de agua a tratar es de 14.400 m³/h. Los ánodos de cobre tiene un diámetro de 135mm y una longitud de 1000mm. La corriente a través de ellos ha de ser de 3.8 A. El sistema está regulado por un panel de control de 220V y 60Hz. El panel se compone de dos módulos, cada uno regula la corriente a través de dos ánodos, mediante potenciómetros se ajusta la corriente.

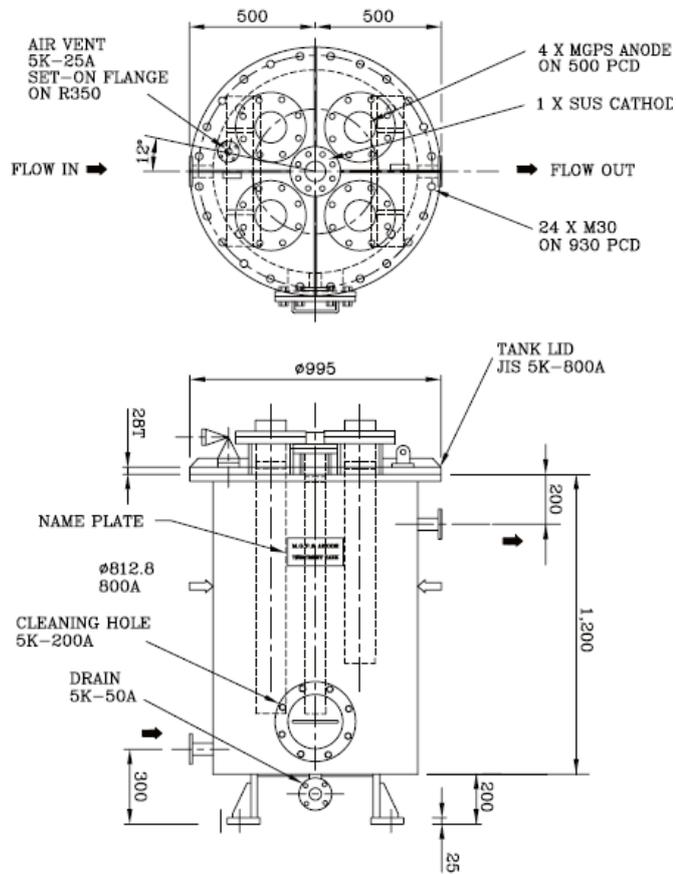


Ilustración 6- tanque del sistema MGPS de K.C. LTD

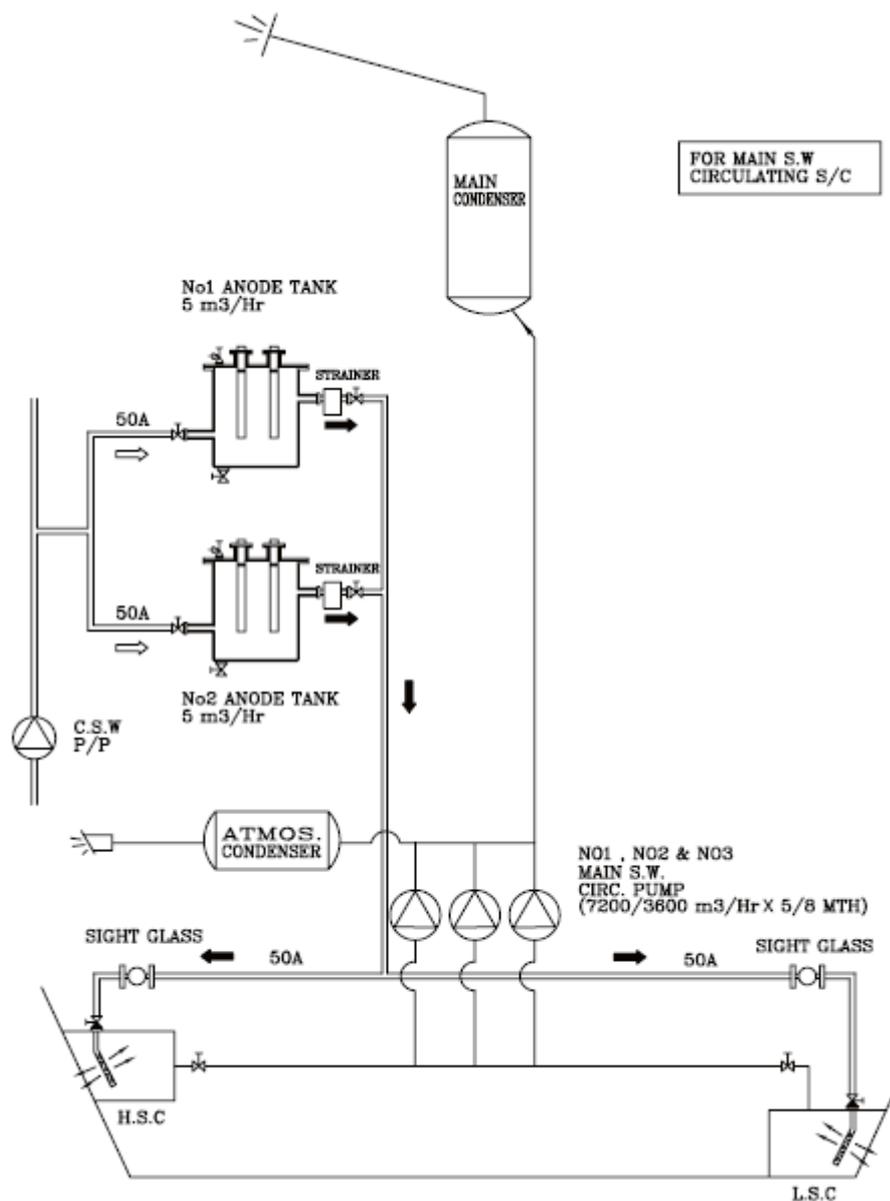


Ilustración 7- Esquema del sistema MGPS para colector de circulación

2.1.3. Sistema de refrigeración

Para el sistema de refrigeración se emplean un tanque, que cuenta con tres ánodos de tipo MG de cobre y un ánodo de tipo TC de aluminio.

Los tanque están fabricados en acero dulce. La superficie interior del tanque tiene un recubrimiento de goma de 3 mm de espesor

El flujo de agua a tratar es de 1.100 m³/h. Los ánodos de cobre tiene un diámetro de 120mm y una longitud de 440mm. La corriente a través de ellos ha de ser de 1.4 A. El sistema está regulado por un panel de control de 220V y 60Hz. El panel se compone de dos módulos, cada uno regula la corriente a través de dos ánodos, mediante potenciómetros se ajusta la corriente.

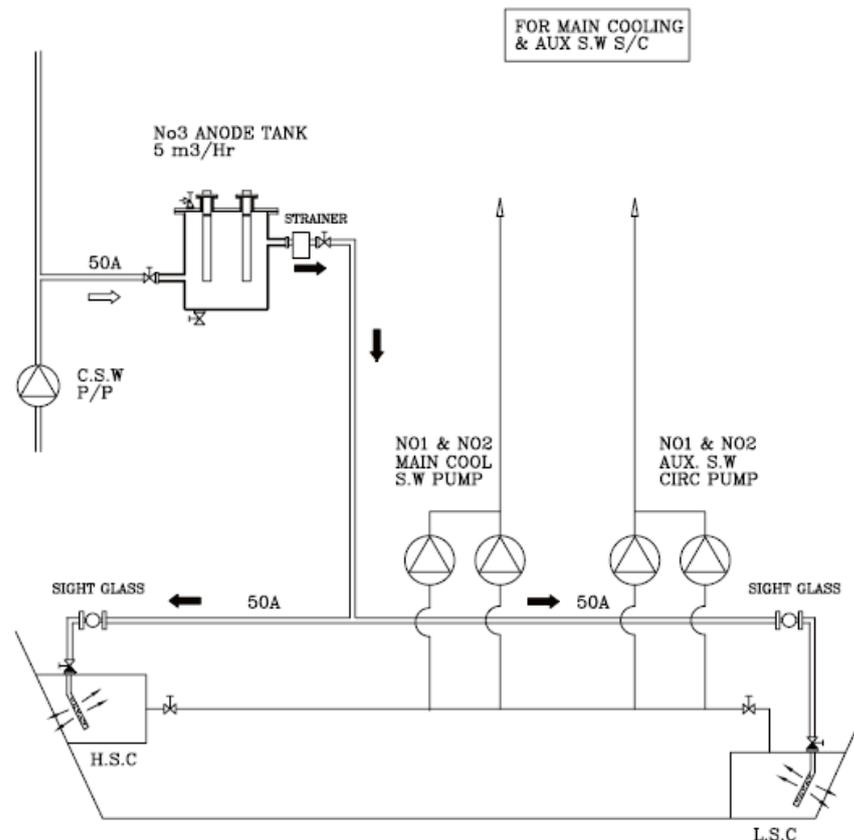


Ilustración 8-Esquema sistema MGPS para colector de refrigeración

2.2. Chloropac®

Chloropac® es una marca registrada por Siemens Water Technologies , se trata de un sistema de generación de hipoclorito de sodio electrolítico, que opera con el principio de la electrólisis del agua de mar.

La cloración del agua es un tratamiento común usado en la industria para la desinfección, control de olores y prevenir las infestaciones marinas. Aunque el cloro

es muy efectivo existen riesgos asociados al empleo de cloro líquido o gaseoso. El cloro es un potente agente oxidante, es altamente corrosivo e irritante, pudiendo ser peligroso para el personal encargado de manejarlo.

El uso de hipoclorito de sodio (NaOCl) es una alternativa al cloro. Aparte de obtener los mismo resultados en el tratamiento del agua, es relativamente inofensivo y seguro, pero tiene el inconveniente de que habría que almacenar grandes y costosas cantidades para el tratamiento continuo a bordo de un buque.

Este sistema produce "in situ" la cantidad necesaria de hipoclorito para el tratamiento del agua y se lo añade directamente al sistema.

El sistema genera una concentración de hipoclorito de sodio para la cloración constante del sistema. Esta constatado que bajos niveles de concentración de hipoclorito de sodio es la forma más efectiva de cloración. El sistema provee con una dosis de hipoclorito "a demanda" que elimina la necesidad y el peligro de un stock de cloro a bordo del buque.

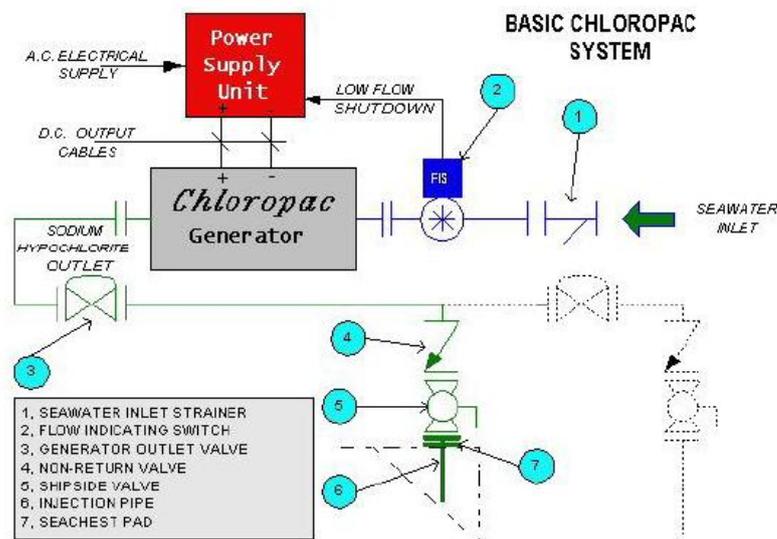


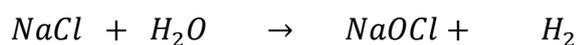
Ilustración 9- Esquema del sistema CHLOROPAC

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:23

2.2.1. Teoría de la electrólisis de agua de mar

Cuando una corriente eléctrica atraviesa un electrolito, el electrolito se rompe en sus elementos constitutivos. De acuerdo con la segunda ley de Faraday, la cantidad de electricidad que libera un gramo del peso equivalente de un elemento, es la misma para todos los elementos. Se sabe que 96.493 culombios (1 faraday) liberara 1,008g de hidrogeno y 35,457 de cloro en la electrólisis de la sal.

La cantidad de hipoclorito de sodio formado en una célula es directamente proporcional a la magnitud de la corriente continua que atraviese el agua. Con una corriente de 220A la producción de una célula es aproximadamente 0.45kg/h de cloro equivalente en la forma de hipoclorito sódico.



La corriente atraviesa el flujo de agua en dos ocasiones en la célula standard. La conversión es de un 78% de ahí que la corriente requerida sea de 220A para una producción de 0.45 kg/h .

El titanio es perfecto como ánodo para este proceso, dado que es electroquímicamente inerte con voltajes de 8 o menos voltios debido a la capa impenetrable de oxido que genera.

El platino en contacto con el titanio, se convierte en un emisor de electrones o ánodo relativamente inerte.

El cloro es generado en el ánodo, además de otros elementos que reaccionan para dar Hipoclorito de Sodio (NaOCl)

2.2.2. Principio de operación

El agua de mar es suministrada con un caudal de 5m³/h por medio del sistema de agua de mar del buque.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:24

El agua de mar pasa a través de un filtro de tipo Y en línea, y después por un switch de bajo caudal.

Las células están formadas por tubos de titanio polarizados, uno dentro del otro, el agua pasa por el espacio anular entre estos tubos. Una corriente eléctrica pasa a través de los tubos, la reacción electrolítica produce Hipoclorito de Sodio que se convierte en el ingrediente activo contra el biofouling.

El objetivo fundamental es crear un ambiente hostil que evite que los organismos marinos puedan establecerse y crecer en las partes internas de las tuberías y condensadores.

La introducción del hipoclorito de Sodio inyectado en las tomas de mar del buque, para mezclarse con el agua aspirada en éstas , crea y mantiene el ambiente hostil, de esta manera se consigue un sistema libre de biofouling desde la aspiración hasta la descarga.

Debido a que la producción de hipoclorito de sodio generado por el sistema Chloropac es directamente proporcional a la corriente que lo atraviesa, es posible el ajuste de la cantidad inyectada al sistema .

El transformador rectificador está diseñado para dar una corriente directa constante ajustable entre el 10-100%. Esto permite que la producción de hipoclorito se mantenga al nivel requerido a pesar de los cambios en la temperatura de agua de mar o la salinidad.

El sistema permite instalar un controlador automático de corriente para situaciones en que hasta 6 bombas sean utilizadas en momentos diferentes. Mediante señales de arranque de las bombas conectadas al controlador para que este actúe en consecuencia controlando la producción de hipoclorito de sodio. Esta particularidad ayuda a mantener la correcta dosificación para todas las condiciones de operatividad del buque.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:25

2.3. Evaluación

2.3.1. Mantenimiento

2.3.1.1. MGPS

Los mantenimientos especificados por la empresa constructora del sistema necesarios para el buen funcionamiento del equipo son:

Diario- Abrir la purga de aire de los tanques para evitar una bolsa de aire en los mismo. Verificar diariamente y tomar apunte de las corrientes a cada ánodo.

Bimensual- Drenar los tanques y limpiar por dentro. Abrir y limpiar los medidores de caudal y chequear las tuberías.

Cada vez que se cambian las tomas de mar de las altas a las bajas cerrar las válvulas de la toma que no se utilice.

Anual- cambiar los ánodos gastados por ánodos nuevos y limpiar todo el sistema.

En la práctica el periodo de mantenimiento ha de ser reducido a un mes para abrir y limpiar los tanques , debido a la acumulación de lodos en los tanques, de los atascos en las tuberías de entrada a los tanques y de la acumulación de los productos de los ánodos que atascan los medidores de caudal. Siendo necesario incluso la limpieza con química del sistema cuando se producen atascos en la línea.

2.3.1.2. Chloropac

Dado que el sistema es simple, en cuanto a que cuenta con muy pocas partes móviles, el mantenimiento es mínimo; siempre y cuando el quipo se mantenga dentro de los parámetros operativos estándar. Los requerimientos de un mantenimiento preventivo se consiguen con una serie de inspecciones y llevando un control sobre los parámetros en los que opera el equipo.

Las células tienen suficiente recubrimiento de platino para tener una vida útil de al menos cinco años a pleno rendimiento, tiempo durante el cual no deberían necesitar mantenimiento. Problemas que puedan surgir serán de índole eléctrica o hidráulica.

Mantenimiento rutinario:

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:26

Las siguientes rutinas son las mínimas requeridas para el funcionamiento seguro y prolongado del sistema CHLOROPAC

Diario:

- D1: Anotar valores de corriente continua y amperios y flujo a las células
- D2: comprobar el funcionamiento de las bombillas del cuadro eléctrico
- D3: Inspeccionar PSU exteriormente en busca de signos de sobrecalentamiento, ruido excesivo o vibraciones.
- D4: Inspeccionar visualmente todo el sistema de tuberías en busca de fugas o vibraciones.

Semanal:

- S1: Coger una muestra de agua de la descarga al mar y analizar el cloro residual. Ajustar el nivel de corriente continua acorde a los resultados.
- S2: Limpiar las células y tubería de dosificación con el propio agua salada, para ellos se apaga la unidad PSU y se deja la corriente de agua a través de las células durante una hora con un caudal de 5m³/h.
- S3: Comprobar que las ventilaciones de la unidad PSU y las células están libres

Mensual:

- M1: Retirar las tapas de las células y comprobar si existen fugas en las uniones o signos de sobrecalentamiento.
- M2: Limpiar el detector de fugas y verificar que al activar el switch la unidad PSU se apaga.
- M3: Comprobar la alarma de bajo caudal, asegurarse de que corta la corriente a la unidad PSU por debajo de 4.5 m³/h

Anual:

- A1: Desmontar las células e inspeccionar el recubrimiento de platino buscando signos de desgaste o daño. Reemplazar las células dañadas. Volver a montar las células empleando nuevas juntas tóricas.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV: 01	PÁG: 27

- A2: Limpiar todas las conexiones eléctricas
- A3: Aislar el sistema de agua salada y desmontar el filtro y limpiar. Cambiar el filtro si es necesario.
- A4: Inspeccionar visualmente la unidad PSU, asegurarse que todas las conexiones están fijas, que no existen signos de sobrecalentamiento o cables dañados, comprobar que los ventiladores trabajan bien y están limpios, limpiar el cuadro.

Dique seco:

- DD1: Desmontar las tuberías de inyección de las tomas de mar y comprobar que no están obstruidas ni dañadas. Al volver a montarlas asegurarse de que los orificios de inyección permiten el paso al flujo de agua salada al hipoclorito de sodio.

En la tabla 3 podemos ver los trabajos correspondientes a ambos sistemas, con una referencia al personal requerido y las horas estimadas para realizar el trabajo.

Como se puede observar en la tabla los trabajos a realizar para el sistema Chloropac son menos y de más sencilla realización.

En la práctica el sistema de los MGPS genera múltiples inconvenientes como: consumo prematuro de los ánodos, desgaste parcial de los mismos alrededor de la sujeción haciéndolos inservibles antes de su vida útil programada, acumulación de depósitos de cobre en los tanques y tuberías generando obstrucciones, obstrucciones en las inyecciones a las tomas de mar, cambio asiduo de válvulas por corrosión y pinchazos en tuberías, dudosa eficacia en el mantenimiento del condensador libre de incrustaciones.

Tabla 3-Comparativa mantenimientos

	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL	DIQUE SECO
MGPS	Inspección visual y purgado de los tanques		Limpieza interior de los tanques. Limpieza medidores de flujo. Limpieza química tuberías obstruidas	Limpieza general del sistema. Sustitución de ánodos.	Desmontar inyecciones y limpiar
PERSONAL	1 OFICIAL		1 OFICIAL 2 ENGRASADORES	1 OFICIAL 2 ENGRASADORES	1 OFICIAL 2 ENGRASADORES
HORAS DE TRABAJO	0.5		16	40	32
CHLOROPAC	Inspección visual	Analizar agua Apagar unidad 1 hora para auto limpieza	Inspeccionar células, limpiar detector de fugas, comprobar alarmas	Desmontar e inspeccionar células, conexiones eléctricas y filtro	Desmontar inyecciones y limpiar
PERSONAL	1 OFICIAL		1 OFICIAL	1 OFICIAL	1 OFICIAL 2 ENGRASADORES
HORAS DE TRABAJO	0.5	1	2	8	16

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:29

CONSUMO PREMATURO DE LOS ANODOS:

en la práctica la vida de los ánodos se extiende por un año, en lugar de los 2 años esperados, con lo que aumenta el costo del mantenimiento del sistema. Si se reduce la corriente alimentada a los ánodos se alarga la vida de los mismo pero con la consiguiente reducción de la protección de las tuberías a la vida marina.



Ilustración 10- Desgaste prematuro de los ánodos

DESGASTE DESIGUAL:

Con la experiencia se ha visto que si los ánodos se montan tal cual el desgaste comienza en la parte superior de ánodo disminuyendo su circunferencia por la parte superior hasta debilitarla tanto que rompe y el resto del ánodo cae al tanque inservible. Esto obliga a recubrir el ánodo por su parte superior con un material aislante al principio de su vida e ir inspeccionando mensualmente el consumo del mismo para su correcto desgaste.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:30

DEPOSITOS DE COBRE EN LOS TANQUES:

el consumo progresivo de los ánodos genera un oxido de cobre que se acumula en el fondo de los tanques y en las tuberías y que llega a formar obstrucciones haciendo también obligatorio la inspección y limpieza mensual de los mismos.



Ilustración 11-Depósitos de cobre en los tanques

OBSTRUCCIONES EN LAS INYECCIONES DE LAS TOMAS DE MAR:

Con frecuencia se obstruyen las inyecciones de los tanques a las tomas de mar debido a la pobre eficacia de este sistema a la hora de combatir las incrustaciones, la imposibilidad de desatascar estas inyecciones en navegación hace muy difícil el mantenimiento del equipo.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:31

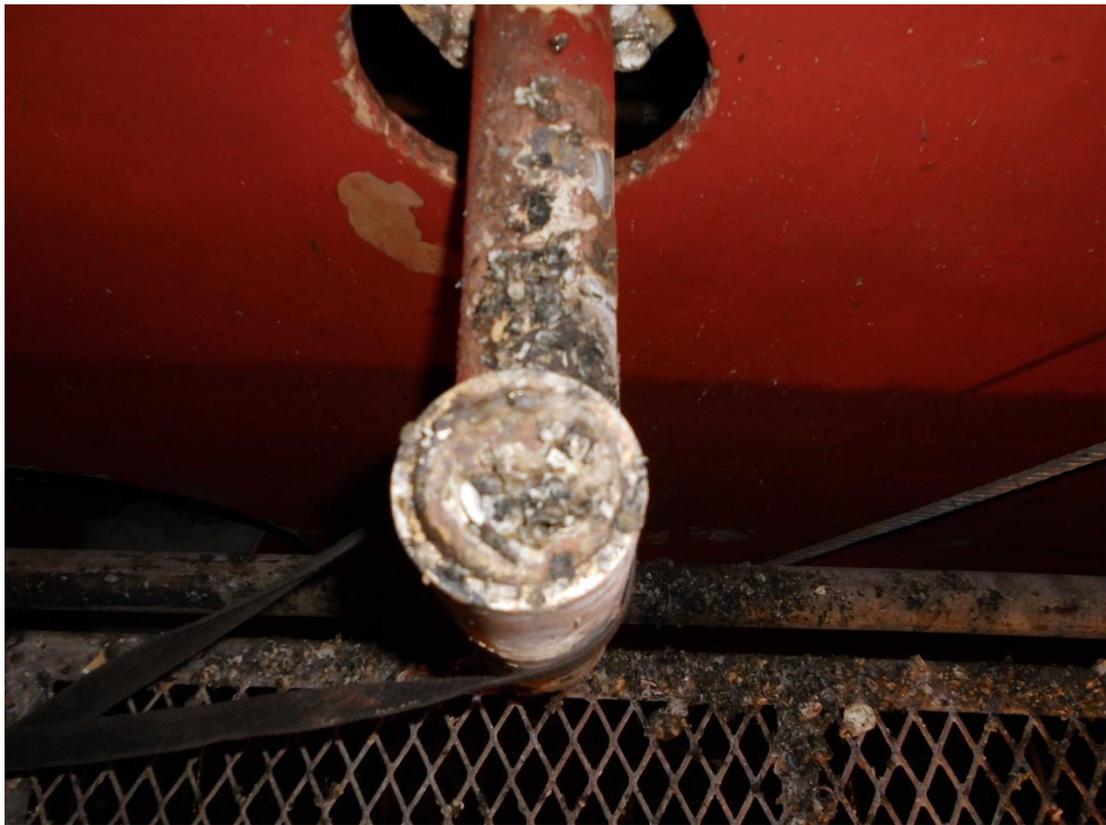


Ilustración 12-Obstrucciones en las tomas de mar

CORROSIÓN EN VALVULAS, TUBERÍAS Y TANQUES

Los tanques, tuberías y válvulas del sistema tienen un recubrimiento de goma para protegerlos de la corrosión pero esta protección resulta ineficaz, lo que da lugar a pinchazos frecuentes en tuberías, desgaste de válvulas y orificios en los tanques, necesitando reparaciones continuas. El recubrimiento de los tanques debe ser sustituido periódicamente debido a que se desprende y resulta en la corrosión de los tanques interiormente. Las válvulas también deben ser reemplazadas con mayor frecuencia de lo normal. Todo ello encareciendo el mantenimiento del equipo.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:32



Ilustración 13--Corrosión en válvulas, tuberías y tanques

CONDENSADOR PRINCIPAL Y ENFRIADORES DE AGUA DE REFRIGERACION:

Como se explicara más adelante la finalidad última del sistema es mantener tanto el condensador principal como los enfriadores de agua de refrigeración limpios y libre de incrustaciones. Pero en la práctica las inspecciones a las filtros de las tomas de mar y al condensador principal revelan la falta de eficacia de este sistema.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:33



Ilustración 14- Incrustaciones en el condensador principal

2.3.2. Costes

En este apartado analizaremos los costes que conlleva el sistema de los MGPS, en base a la experiencia del mantenimiento del buque en sus años de operación.

En el anexo I encontraremos diferentes cotizaciones tanto para los ánodos como para otros elementos del sistema

Aquí mostramos diversas cotizaciones de algunos de los elementos del sistema: en la práctica los ánodos de cobre son sin duda el elemento que más encarece el mantenimiento de este equipo. Se utilizan ánodos macizos de cobre de 128 kg de peso para la tubería de circulación al condensador principal. En la práctica la vida de

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV: 01	PÁG: 34

los ánodos es de un año pudiéndose extender a 1 año y hasta tres meses reduciendo la corriente que los atraviesa, en detrimento de la eficacia en la operación del sistema.

En la ilustración 13 vemos una cotización de un pedido realizado de exclusivamente los ánodos del sistema. Por un precio total de 24.000€. Atendiendo solo a este gasto en cuatro años de operación con un pedido de ánodos al año el gasto es de casi 100.000 €.

Pero existen otros elementos en el sistema susceptibles de fallo como son los módulos eléctricos para los ánodos, cada módulo controla cuatro ánodos, aquí detallamos una cotización de dos módulos que asciende a casi 3.000€

Otros elementos son las válvulas del sistema, son válvulas de globo con la particularidad de que vienen recubiertas en neopreno para evitar la rápida corrosión de las mismas.

SCOPE OF SUPPLY

Art.	Quant.	Description	Unit. Price	Total Price
1	7 PCS.	KF ANODE Type MG (Copper) L: 1000mm, Diam: 135 mm DWG MAKF04-1	1.599,00 €	11.193,00 €
5	3 PCS.	KB ANODE TYPE MG (Copper); L:440mm, Diam: 120 mm. DWG: MAKB06	1.428,00 €	4.284,00 €
6	1 PC.	KB ANODE TYPE TC (Aluminum) L: 440mm. diam 120mm DWG: MAKB06	1.041,00 €	1.041,00 €
9	4 PCS.	KB ANODE TYPE FE (FERRO), L:1050mm. Diam: 120 mm. DWG: MAKB06	1.868,00 €	7.472,00 €
11	2 PCS.	ANODE MODULE, No 2 DWG: MCKC22.	1.465,00 €	2.930,00 €
TOTAL SCOPE OF SUPPLY				26.920,00

Ilustración 15-Ejemplo cotización ánodos, ver Anexo I

ITEM	DESCRIPTION	QTY	UNIT PRICE £	TOTAL PRICE £
1	FE GUARD 120/1050 - 120mm DIA x 1050mm LONG FERROUS ANODE.	4	598.00	2,392.00
2	CU GUARD 135/1000 - 135mm DIA x 1000mm LONG COPPER ANODE.	8	1,190.00	9,520.00
3	CU GUARD 120/440 - 120mm DIA x 440mm LONG COPPER ANODE.	3	500.00	1,500.00
4	AL GUARD 120/440 - 120mm DIA x 440mm LONG ALUMINIUM ANODE.	1	209.00	209.00
TOTAL PRICE PACKED AND EX WORKS UK £				13,621.00

Ilustración 16-Ejemplo cotización de ánodos, ver anexo I

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV: 01	PÁG: 35

Se incluye aquí una cotización aproximada dada por la empresa suministradora para todo el sistema completo de Chloropac. La cotización asciende a 120.000 euros vemos que el desembolso inicial es elevado pero que en 5 años estaría amortizado atendiendo solo al gasto en ánodos que genera el sistema MGPS excluyendo otros gastos en módulos, válvulas, flujómetros, etc. Aparte del gasto asociado a las paradas que necesita el buque a causa del pobre rendimiento del sistema de MGPS

SIEMENS water technologies

CHLOROPAC® – MARINE GROWTH PREVENTION SYSTEMS

Our Ref.	310516	4 th October 2013
Your Ref.	Galicia Spirit	Page 19 of 21

10. PRICING & DELIVERY

- a) Our cost to supply items as set out in Section 2: **€ 120,000.00 per ship**
- b) Delivery 12/14 working weeks delivered UK address on receipt of agreed purchase order.
- c) Booster pump currently running at 14 weeks but we will be looking to improve.
- d) Validity of the Quotation: **30 Days.**

Note:

1	BUDGET PRICING: This price set out in Section 10, is for two (2) Siemens standard CHLOROPAC SB4K systems, as contained in Section 2 and does not include for any other items other than those listed. Flange specification shown for is 1½" 1" & ½" BS4504 other options are available.
2	A formal quotation could be submitted on receipt of the full vessel specification if required.

Ilustración 17-Cotización sistema completo chloropac

2.3.3. Efectividad

En este apartado se intentará reflejar la importancia del buen funcionamiento del sistema para el rendimiento de la planta del buque.

El buque cuenta a bordo con un sistema de análisis de la eficiencia de la planta llamado KYMA steam analyzer. Este programa recoge todos los datos relevantes de la planta para producir un informe acerca del funcionamiento de la planta.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:36

En este informe detalla entre otros el consumo específico de la planta y cualquier parámetro que esté fuera del rango normal de trabajo.

Analizaremos ahora dos de estos informes, el primero con el condensador principal limpio y el segundo previo a una limpieza del mismo.

Encontraremos ambos casos en el anexo II de este proyecto.

En el primer informe, se trata de un viaje en carga, con las calderas consumiendo solo gas como combustible, con 83 rpm de la hélice, con una temperatura de agua de mar de 29 °C. Con la carga de calderas aproximadamente al 100% produciendo 48 tn/h de vapor sobrecalentado a 61.5 kg/cm² y 515 °C.

El vacío en el condensador es de 715.1 mmHg vac. o lo que es lo mismo 44.9 mmHg en presión absoluta. Y como vemos la transferencia de calor es de 1706 kcal/m²hrC.

Kyma Steam Analyzer : Numeric Results



Vessel : GALICIA SPIRIT

Trial Condition : 20140210 Laden leg GALSPT-2014

Trial Date : 10-Feb-2014 14:58

Trial Duration : 1hrs 0min.

<u>Main Boilers</u>	<u>Unit</u>	<u>No. 1</u>	<u>No. 2</u>
Boiler load	%	99.7	98.3
Boiler efficiency	%	80.5	83.5
Excess air	%	85.3	11.6
SAH effectiveness	%	73.7	83.5
ECO effectiveness	%	85.2	80.5
ECO heat transfer number	kcal/m2hrC	42.3	24.5
Emission stack gas, total	kg/hr	102934	63218
Emission stack gas CO2	kg/hr	8500	8500
Emission stack gas SO2	kg/hr	0	0

<u>Turbo Generators</u>	<u>Unit</u>	<u>No. 1</u>	<u>No. 2</u>
Turbine efficiency	%	0.0	76.4
Steam Rate	kg/kWh	0.0	3.9

<u>Main Feed Pumps</u>	<u>Unit</u>	<u>No. 1</u>	<u>No. 2</u>
Overall efficiency	%	21.2	0.0
Steam rate	kg/kWh	24.6	0.0

<u>Main Turbine</u>	<u>Unit</u>	
Main turbine load	%	87.7
Main turbine efficiency	%	84.5
HP turbine efficiency	%	82.2
LP turbine efficiency	%	81.7
HP turbine torque deviation	%	-4.6
LP turbine torque deviation	%	-8.9

<u>Main Condenser</u>	<u>Unit</u>	
Condenser vacuum	mm Hg vac	715.1
Condenser abs. pressure	mm Hg	44.9
Condensate subcooling	°C	0.0
Heat transfer number	kcal/m2hrC	1706.0

<u>Cond. and Feed Water System</u>	<u>Unit</u>	
1st. stage heater effectiveness	%	87.8
Deaerator condensate subcooling	°C	0.2

<u>Plant Condition</u>	<u>Unit</u>	
Propulsion power (Metric)	SHP	31569
Propeller revolutions	rpm	83.9
Fuel oil consumption	kg/hr	0
Boil-off gas consumption	kg/hr	6200
Equivalent total F.O consumption	kg/hr	6893
Fuel oil HCV	kcal/kg	10096
Boil-off gas HCV	kcal/kg	13267

Ilustración 18- Caso 1 Steam Analyzer, ver anexo II

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA		FECHA: 14/09/2015
		REV: 01 PÁG: 38

**Main Boiler for
Boiler Type**

**Daewoo Heavy Industries
MB-4E-NS
Gas Firing
N₂ : 0 Vol% CH₄ : 100 Vol%**

Load			100% Nor.L	Max.	75%	50%	25%
Evaporation	SH Steam	kg/h	48,000	54,000	35,250	23,500	11,750
	DSH Steam	kg/h	1,000	2,000	1,000	1,000	1,000
	Total	kg/h	49,000	56,000	36,250	24,500	12,750
Steam Press.	Drum	kg/cm ² g	67.5	69.4	64.8	63	61.9
	SH Outlet	kg/cm ² g	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5
Feed Water Steam Temp.	Eco Inlet	°C	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8
	SH Inlet	°C	283	285	280	278	277
	SH Outlet	°C	515	515	515	515	507
	DSH Outlet	°C	288	293	288	288	288
Efficiency	(HHV Base)	%	84.0	83.9	83.9	83.3	81.3
Calorific Value	HHV	kcal/kg	13,270	13,270	13,270	13,270	13,270
	LHV	kcal/kg	11,950	11,950	11,950	11,950	11,950
Fuel Consumption		kg/h	2,912	3,320	2,152	1458	764

Ilustración 19-Caso 1 Carga de calderas

El segundo informe, se trata de un viaje en lastre, con las calderas en modo dual consumiendo gas y fuel como combustible, con 72 rpm de la hélice, con una temperatura de agua de mar de 30 °C. Con la carga de calderas aproximadamente al 75% produciendo 35 tn/h de vapor sobrecalentado a 61.5 kg/cm² y 515 °C.

El vacío en el condensador es de 678.4 mmHg vac. o lo que es lo mismo 81.6 mmHg en presión absoluta. Y como vemos la transferencia de calor es de 951.8 kcal/m²hrC.

Kyma Steam Analyzer : Numeric Results

Vessel : GALICIA SPIRIT



Trial Condition : 76% MCR - DUAL - Ballast ,
Trial Date : 30-May-2015 11:50

Trial Duration : 1hrs 0min.

	Unit	No. 1	No. 2
Main Boilers			
Boiler load	%	76.3	76.6
Boiler efficiency	%	84.9	84.8
Excess air	%	6.0	9.8
SAH effectiveness	%	76.8	86.2
ECO effectiveness	%	84.8	84.4
ECO heat transfer number	kcal/m2hrC	20.7	21.2
Emission stack gas, total	kg/hr	48026	49859
Emission stack gas CO2	kg/hr	7305	7308
Emission stack gas SO2	kg/hr	25	25
Turbo Generators			
Turbine efficiency	%	76.6	76.5
Steam Rate	kg/kWh	4.3	4.3
Main Feed Pumps			
Overall efficiency	%	18.6	0.0
Steam rate	kg/kWh	27.9	0.0
Main Turbine			
Main turbine load	%	59.0	
Main turbine efficiency	%	76.1	
HP turbine efficiency	%	73.7	
LP turbine efficiency	%	72.0	
HP turbine torque deviation	%	-18.7	
LP turbine torque deviation	%	-35.6	
Main Condenser			
Condenser vacuum	mm Hg vac	678.4	
Condenser abs. pressure	mm Hg	81.6	
Condensate subcooling	°C	0.0	
Heat transfer number	kcal/m2hrC	951.8	
Cond. and Feed Water System			
1st. stage heater effectiveness	%	89.0	
Deaerator condensate subcooling	°C	0.6	
Plant Condition			
Propulsion power (Metric)	SHP	21258	
Propeller revolutions	rpm	72.2	
Fuel oil consumption	kg/hr	1261	
Boil-off gas consumption	kg/hr	3877	
Equivalent total F.O consumption	kg/hr	5354	
Fuel oil HCV	kcal/kg	10092	
Boil-off gas HCV	kcal/kg	13269	

Main Boiler for **Daewoo Heavy Industries**
Boiler Type **MB-4E-NS**
Oil Firing

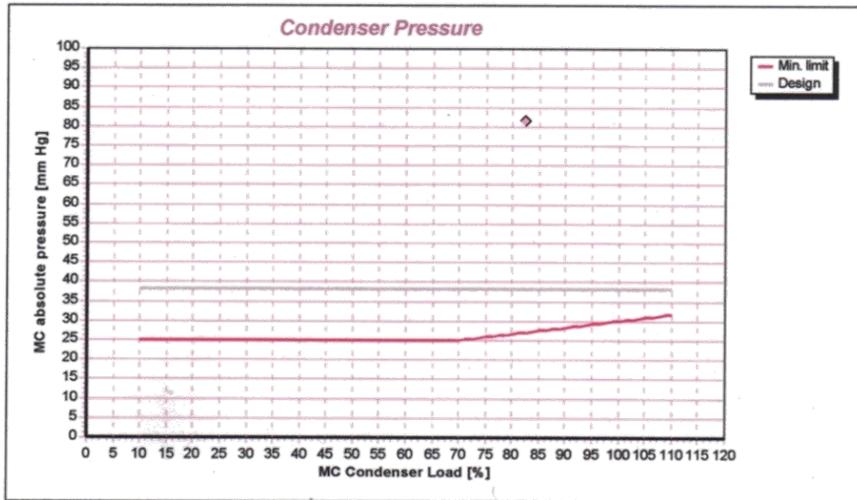
Load		100% Nor.L	Max.	75%	50%	25%	
Evaporation	SH Steam	kg/h	48,000	54,000	35,250	23,500	11,750
	DSH Steam	kg/h	1,000	2,000	1,000	1,000	1,000
	Total	kg/h	49,000	56,000	36,250	24,500	12,750
Steam Press.	Drum	kg/cm ² g	67.5	69.4	64.8	63	61.9
	SH Outlet	kg/cm ² g	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5
Feed Water Steam Temp.	Eco Inlet	°C	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8
	SH Inlet	°C	283	285	280	278	277
	SH Outlet	°C	515	515	515	500	470
	DSH Outlet	°C	288	293	288	288	288
Efficiency	(HHV Base)	%	88.5	88.4	88.4	87.8	85.8
Calorific Value	HHV	kcal/kg	10,280	10,280	10,280	10,280	10,280
	LHV	kcal/kg	9,713	9,713	9,713	9,713	9,713
Fuel Consumption		kg/h	3,565	4,064	2,635	1,763	906

Ilustración 21-Caso 2 Carga de Calderas

Comparando ambas situaciones en las dos tenemos dos bombas de circulación de agua salada al condensador en marcha, por lo tanto el mismo flujo de medio refrigerante en los dos ocasiones, la temperatura de agua de mar es prácticamente la misma.

En la primera condición tenemos un flujo de vapor de 48 tn/h y en la segunda de 35 tn/h sin embargo la transferencia de calor para la primera condición es considerablemente mayor a la de la segunda condición. Además el vacío en el condensador está dentro de parámetros normales en el primer caso y por debajo de lo normal en el segundo, aún con una carga de calderas y en la turbina inferior. Todo esto es indicación de la condición de limpieza del condensador principal.

La herramienta para el análisis de la condición de la planta, así revela esta condición, cuando en el segundo caso, nos indica que la presión absoluta en el condensador es alta.



Report printed : 30-May-2015 13:25:25

Page : 2

Ilustración 22-Caso 2 condición del condensador principal

Kyma Steam Analyzer : Plant Operation

Vessel : GALICIA SPIRIT



Trial Condition : 76% MCR - DUAL - Ballast ,
Trial Date : 30-May-2015 11:50

Trial Duration : 1hrs 0min.

SUMMARY

Boiler #1 stack gas Oxygen	OK
Boiler #2 stack gas Oxygen	OK
Boiler superheater temperature #1	OK
Boiler superheater temperature #2	OK
Boiler superheater pressure #1	OK
Boiler superheater pressure #2	OK
Main condenser pressure	High
Water subcooling - Deaerator	OK
Water subcooling - Main condenser	OK
61.5/2.9k red. to HP exh. line	OK
Main exhaust line spill valve	OK

DETAILS

Description	Actual value	Normal value	Checklist	Condition
Main condenser pressure	81.6 mm Hg	38.0 mm Hg	For condition High, check: -Sensor reading -Vacuum leakage -Condenser fouling -Dump steam operation For condition Low, check: -Sensor reading -Number of CW pumps running -Vacuum pump operation	High

Ilustración 23-Caso 2 Resultados

La diferencia en la eficiencia de la planta varia, en ambos casos y vemos que aun con menos revoluciones de la hélice es decir a una velocidad menor , el consumo de la planta es mayor en el segundo caso y aunque influyen muchas variables en esta consideración una de las que más importancia tiene es el estado de limpieza del condensador principal.

Kyma Steam Analyzer : Numeric Results
Vessel : *GALICIA SPIRIT*



Trial Condition : 20140210 Laden leg
Trial Date : 10-Feb-2014 14:58
Trial Duration : 1hrs 0min.

<u>Fuel Rate Corrections</u>	<u>Unit</u>	
Obs. specific fuel rate	g/SHP hr	218.3
Corr. for F.O.HCV, basis 10280 kcal/kg	g/SHP hr	-3.9
Corr. for MT inlet steam temp.	g/SHP hr	-0.6
Corr. for MT inlet steam press.	g/SHP hr	-0.1
Corr. for propeller rpm	g/SHP hr	0.0
Corr. for M C vacuum., basis 722 mm Hg	g/SHP hr	-1.8
Corr. for TG load, basis 1600 kW	g/SHP hr	-1.3
Corr. for Evap. load, basis 2.5 Ton/hr	g/SHP hr	0.5
Corr. for ship service steam	g/SHP hr	-0.9
Corrected specific fuel rate	g/SHP hr	210.3

Ilustración 24- Caso 1, consumo específico

Kyma Steam Analyzer : Numeric Results
Vessel : *GALICIA SPIRIT*



Trial Condition : 76% MCR - DUAL - Ballast ,
Trial Date : 30-May-2015 11:50
Trial Duration : 1hrs 0min.

<u>Fuel Rate Corrections</u>	<u>Unit</u>	
Obs. specific fuel rate	g/SHP hr	251.9
Corr. for F.O.HCV, basis 10280 kcal/kg	g/SHP hr	-4.6
Corr. for MT inlet steam temp.	g/SHP hr	-0.7
Corr. for MT inlet steam press.	g/SHP hr	-0.2
Corr. for propeller rpm	g/SHP hr	-0.3
Corr. for M C vacuum., basis 722 mm Hg	g/SHP hr	0.0
Corr. for TG load, basis 1600 kW	g/SHP hr	-0.4
Corr. for Evap. load, basis 2.5 Ton/hr	g/SHP hr	1.1
Corr. for ship service steam	g/SHP hr	-6.4
Corrected specific fuel rate	g/SHP hr	240.4

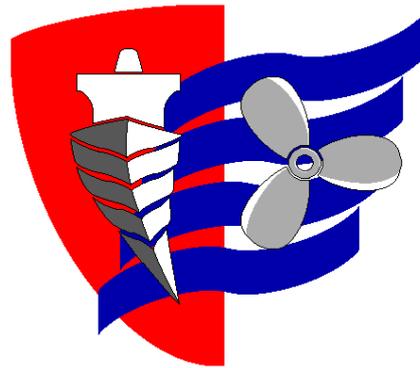
Ilustración 25-Caso 2, consumo específico

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:43

Vemos que cambian mucho la operatividad de la planta en función de si el condensador está en buenas condiciones o no. Pero este hecho de se hace de especial relevancia en zonas de temperatura de agua muy calientes donde se reduce acusadamente el vacío en el condensador, pudiendo tener que llegar a reducir la velocidad del buque para asegurar un funcionamiento sin riesgos de sobrecalentamiento.

Lo que implica la suciedad en el condensador principal es que cada seis meses haya que parar para hacer una limpieza manual, que implica tres días de trabajo continuo. En un buque que no tiene tiempos de inactividad como es el Galicia Spirit esto implica prolongar los intervalos de limpieza con el riesgo que conlleva o parar el barco pudiendo incurrir en pérdidas de grandes de dinero al dejar el buque parado.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



DESAROLLO

3. DESARROLLO

El proyecto de la instalación del sistema chloropac se realizaría en la siguiente entrada a dique seco del buque, para la instalación de las inyecciones en las tomas de mar del buque.

3.1. Selección del equipo

El flujo de agua total a tratar, teniendo en cuenta los dos colectores es de 15,500 m³/h. Con lo cual se seleccionan dos sets de células SBK4 que pueden tratar cada una 8000 m³/h con una concentración entre 0.3 y 0.5 ppm de Cl₂. Con estas dos unidades se tratarían las cuatro tomas de mar, tanto para el colector de circulación de agua salada del condensador principal, como el colector de refrigeración.

Tabla 4-Selección Modelo Chloropac

Model	Sodium Hypochlorite Production Kg/h	Concentration ppm.	S.W. Treated to 0.5ppm m ³ /h
SB25	0.025	12	50
SB50	0.05	25	100
SB100	0.10	50	200
SB200	0.20	100	400
SB500	0.50	100	1000
SB1K	1.00	180	2000
SB2K	2.00	363	4000
SB3K	3.00	545	6000
SB4K	4.00	727	8000
SB5K	5.00	909	10000
SB6K	6.00	1090	12000

Para alimentar estos dos set de células se hacen necesarios dos equipos PSU (Power Supply Unit). La red del buque es trifásica a 440V y 60 Hz.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:46

Tabla 5- Características transformadores rectificadores

Model	Supply Voltage	Ø, Hz	kVA	Output	
				DC Volts	DC Amps
SB25	110/220/240	1Ø, 50/60	0.4 *	15	12.5
SB50	110/220/240	1Ø, 50/60	0.7*	15	25
SB100	220/240	1Ø, 50/60	1.4*	15	45
	380/415/440	2Ø, 50/60			
SB200	220/240	1Ø, 50/60	2.6*	15	90
	380/415/440	2Ø, 50/60			
SB500	110/115	1Ø, 50/60	5.8*	15	220
	220/240	2Ø, 50/60			
	380/415/440	2Ø, 50/60			
SB1K	380/415/440	3Ø, 50/60	8.0*	15	440
SB2K	380/415/440	3Ø, 50/60	17*	30	440
SB3K	380/415/440	3Ø, 50/60	26*	45	440
SB4K	380/415/440	3Ø, 50/60	34*	60	440
SB5K	380/415/440	3Ø, 50/60	43*	75	440
SB6K	380/415/440	3Ø, 50/60	52*	90	440

*Note the above values are nominal only.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:47

Según la tabla-6 para esta unidad es necesario un flujo mínimo de agua salada de 5.0m³/h con una presión de 4bar. Dado que el sistema a bordo suministra una presión al sistema de MGPS de 3 bar, se hace necesario la instalación de una bomba para elevar la presión a lo requerido para el nuevo sistema.

Tabla 6- Características de flujo necesario de entrada

Model	Minimum Seawater Inlet Flow m ³ /h (Low Flow Trip Set Point)	Minimum Seawater Inlet Pressure Bar g	Pressure Drop Across Electrolyser Bar g
SB25	2.0 (1.8)	2.0	0.5*
SB50	2.0 (1.8)	2.0	1.0*
SB100	2.0 (1.8)	2.0	1.5*
SB200	2.0 (1.8)	2.0	1.5*
SB500	5.0 (4.5)	2.0	0.5*
SB1K	5.0 (4.5)	2.5	1.0*
SB2K	5.0 (4.5)	3.0	1.5*
SB3K	5.0 (4.5)	3.5	2.0*
SB4K	5.0 (4.5)	4.0	2.5*
SB5K	5.0 (4.5)	4.5	3.0*
SB6K	5.0 (4.5)	5.0	3.5*

*Note the above values are nominal only.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:48

3.2. Sistema propuesto

- 2 → SET DE CÉLULAS PARA TRATAR CUATRO TOMAS DE MAR .
- 2 → PANEL TRANSFORMADOR/RECTIFICADOR (380/440VAC)
- 1 → BOMBA DE AGUA SALADA CAPACIDAD: 11 m³/h . (5.5 m³/h POR SET DE CELULAS)
- 1 → PANEL ARRANCADOR BOMBA DE AGUA SALADA
- CADA ENTRADA A LAS CELULAS:
 - 1 ½" FILTRO
 - 1 ½" INTERRUPTOR DE FLUJO "BURKER"
 - 1 ½" VALVULA DE DIAFRAGMA.
- CADA SALIDA DE LAS CÉLULAS:
 - 1 ½" VALVULA DE DIAFRAGMA
 - 1" VALVULA DE DIAFRAGMA (PARA DRENAJE).
- 4 → LINEAS DE INYECCION A LAS CUATRO TOMAS DE MAR:
 - 2 → 1 ½" LINEAS DE INYECCION
 - 2 → 1" LINEAS DE INYECCION
 - CADA LINEA DE INYECCION DE 1 ½" NECESITA:
 - 1 ½" VALVULA DE DIAFRAGMA
 - 1 ½" MEDIDOR DE FLUJO (PARA AJUSTAR EL FLUJO A LA TOMA DE MAR).
 - 1 ½" VALVULA NO RETORNO
 - 1 ½" VALVULA DE CORTE
 - 1 ½" CONEXION CON TOMA DE MAR
 - 1 ½" TUBERIA DE INYECCION DE TITANIO
 - CADA LINEA DE INYECCION DE 1" NECESITA:
 - 1" VALVULA DE DIAFRAGMA
 - 1" MEDIDOR DE FLUJO (PARA AJUSTAR EL FLUJO A LA TOMA DE MAR).
 - 1" VALVULA NO RETORNO
 - 1" VALVULA DE CORTE
 - 1" CONEXION CON TOMA DE MAR
 - 1" TUBERIA DE INYECCION DE TITANIO

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:49

3.3. Instalación

3.3.1. Alimentación agua salada

La alimentación de agua salada al sistema Chloropac se tomara de la misma alimentación del sistema de MGPS. La presión de esta línea es de 3 bar por lo cual se hace necesario la instalación de una bomba que eleve la presión hasta los 4 bar requeridos por la instalación.

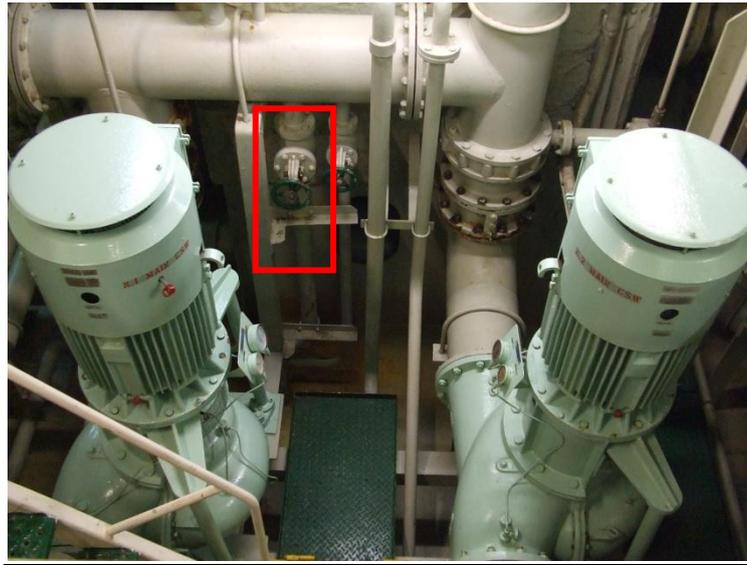


Ilustración 26-Alimentación agua salada al sistema

Desde esta toma hasta la brida para la conexión de el nuevo sistema hay 35metros de tubería ya instalada. Desde la brida escogida hasta la localización escogida para el nuevo sistema hay 8 metros de tubería a instalar.

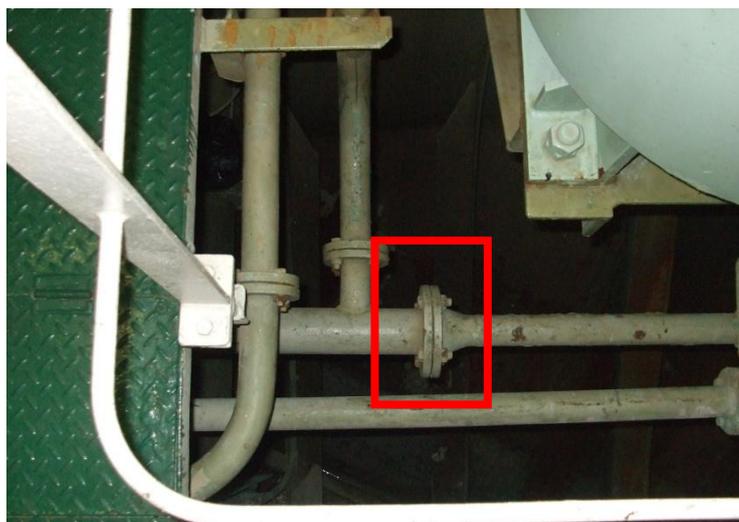


Ilustración 27-Brida conexión bomba booster

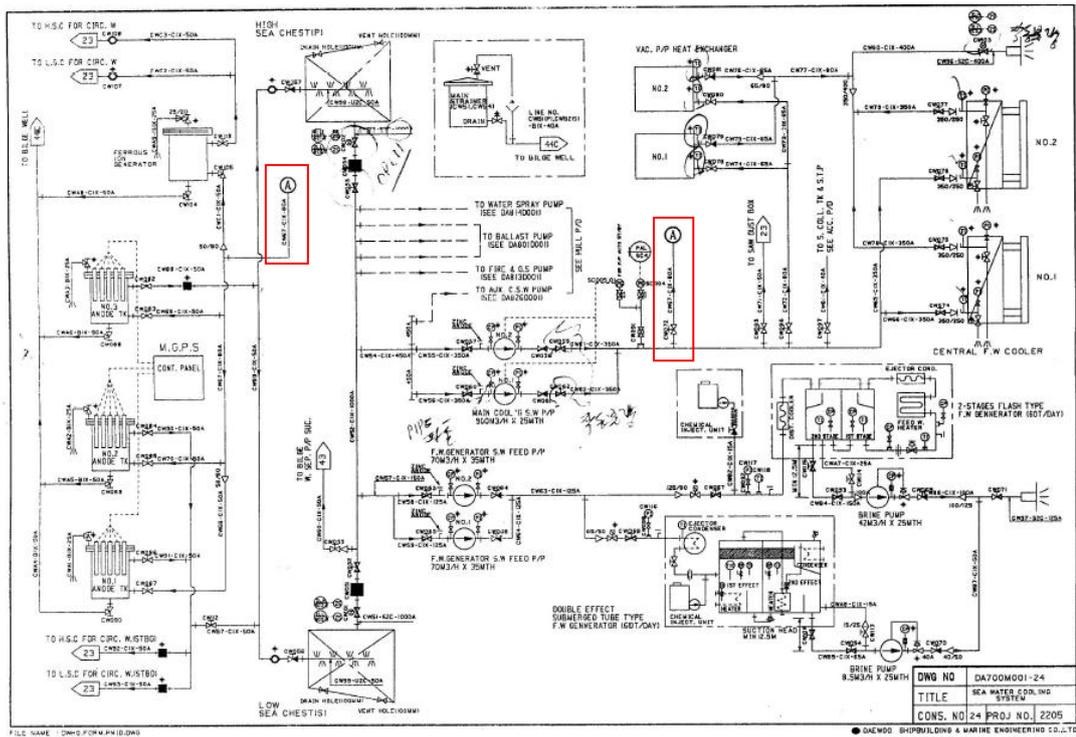


Ilustración 28-Plano sistema agua salada



Ilustración 29-Nueva localización para el sistema células

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:51

Para una instalación más fácil de las líneas de dosificación se instalará tubería de pvc. La tubería de PVC tiene otras ventajas como son: genera menor pérdida de presión, resistente a la corrosión, facilidad de instalación, vida útil de hasta 50 años, químicamente inerte e inmune a la acción electrolítica. Todo esto la hace ideal para este tipo de instalación

Serán necesarios:

10 m de tubería a la inyección de la toma de mar alta de estribor

14 m de tubería a la inyección de la toma de mar baja de estribor

30 m de tubería a la inyección de la toma de mar baja de babor

44 m de tubería a la inyección de la toma de mar alta de babor

3.3.2. Células

Para establecer el área para las células las baldas de almacenamiento serán quitadas, el paso a través de esa zona será interrumpido, pero seguirá siendo accesible por otra ruta.

El área es de 2420mm de largo por 4500 mm de ancho, lo que es suficiente para el espacio requerido para el mantenimiento de las células que ocupan 490mm de ancho y se necesita unos 750 mm de espacio para acceso y mantenimiento. Si los paneles se instalan en paralelo el espacio de manteniendo puede ser compartido.

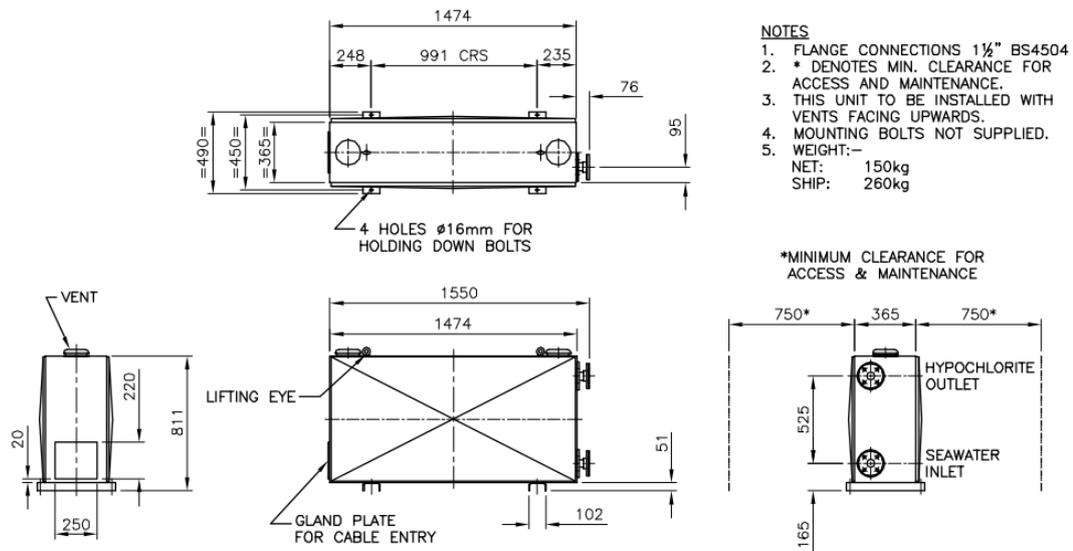


Ilustración 30- Dimensiones de las células, ver anexo III

En este área se instalarán también los medidores de caudal y las válvulas de diafragma.

En el espacio donde se instalarán las células existen dos trampillas de acceso a válvulas del doble fondo que se evitara obstruir

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:53



Ilustración 31- Espacio para transformadores

3.3.3. Paneles transformadores-rectificadores

Los dos transformadores rectificadores de 700 mm de ancho por 965 de largo serán instalados en la zona mostrada en rojo. Cuando sean instalados se ha de considerar el acceso frontal a los paneles para permitir la apertura de las puertas. Como se muestra en la ilustración 17 deberá existir un espacio de al menos 1000mm para la apertura de puertas. El acceso a la parte trasera del panel está limitado por la barandilla de la cubierta pero deberá existir espacio suficiente para quitar el panel trasero deslizándolo lateralmente.

El acceso frontal implica utilizar el espacio para el tránsito por la zona.

Dado que el sistema actual de MGPS está alimentado con corriente de 220V. Habrá que suministrar una línea a los paneles rectificadores a 440V con la corriente del barco tomando uno de los seccionadores libres de los cuadros principales.

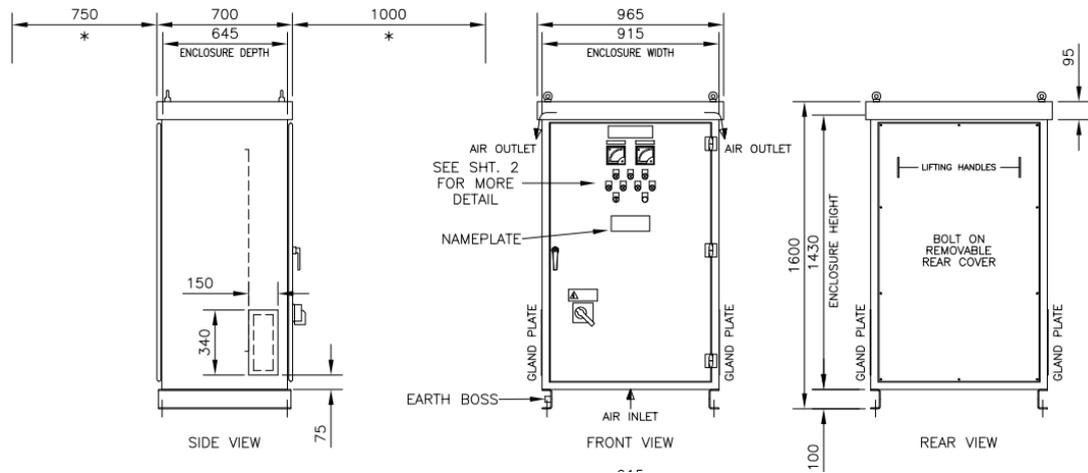


Ilustración 32-Dimensiones panel transformador, ver anexo III

3.3.4. Inyecciones tomas de mar

Los inyectores de titanio de 1" y 1 1/2" de 1 metro de longitud son rectos y a lo largo poseen 16 orificios de 5mm de diámetro que no pueden estar bloqueados por mamparos de las tomas de mar para asegurar el flujo total a través de ellos.

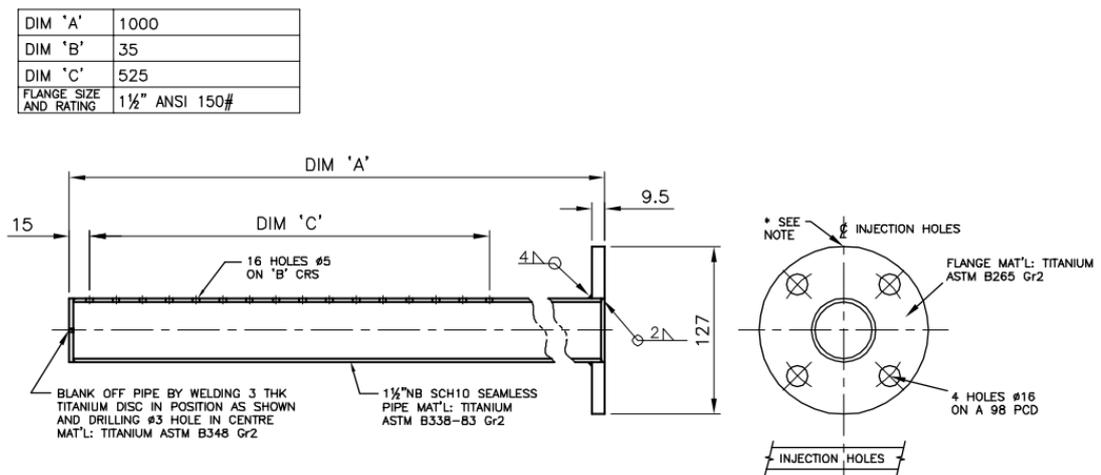


Ilustración 33-Dimensiones inyecciones, ver anexo III

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV: 01	PÁG: 55

No son aprovechables las inyecciones para el sistema de los MGPS debido a que : en las tomas altas la brida está situada en babor a 310mm del mamparo y en estribor a 260 mm del mamparo con lo que los primeros orificios pueden estar bloqueados. En las tomas de mar bajas existen codos antes de la brida con lo cual no es posible la instalación de las nuevas inyecciones.

Se hace necesario por tanto y siendo posible sólo en dique seco la instalación de entradas embridadas para la cuatro tomas de mar.



Ilustración 34-Inyección toma de mar alta estribor



Ilustración 35-Inyección toma de mar alta babor

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:56



Ilustración 36-Inyeccion toma de mar baja estribor



Ilustración 37-Inyeccion toma de mar baja babor

Para cada toma de mar se instalara un medidor de caudal y una válvula de diafragma para el ajuste de los caudales de dosificación. Estos accesorios se instalaran próximos a las inyecciones de cada toma de mar.

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA: 14/09/2015	
	REV: 01	PÁG: 57

Aqui vemos donde se instalarán los equipos en el plano de la cubierta E4 de la maquina.

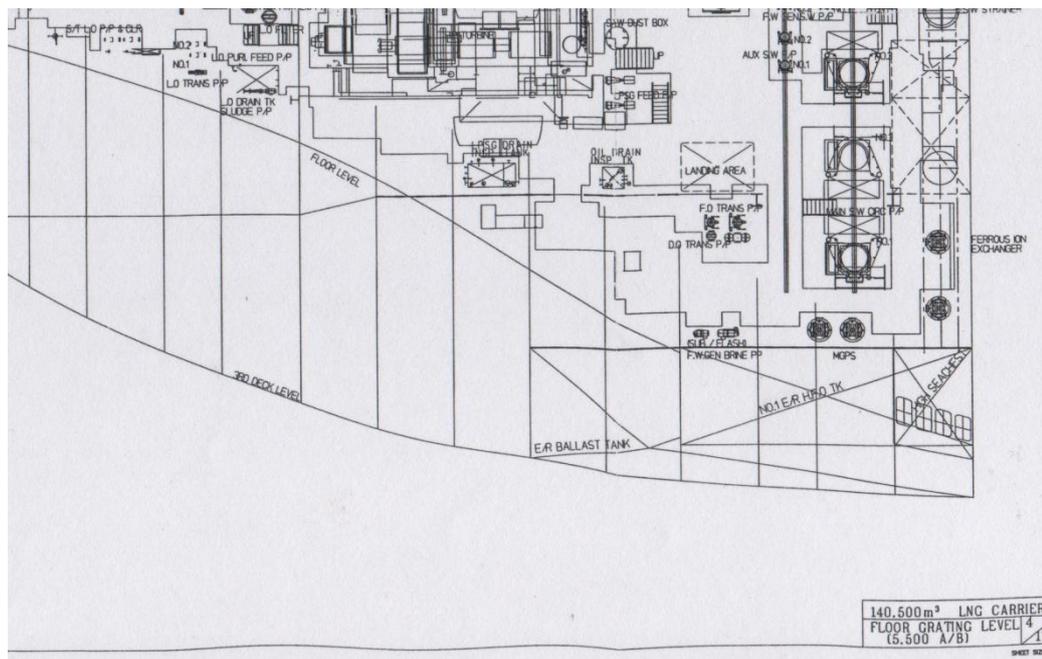
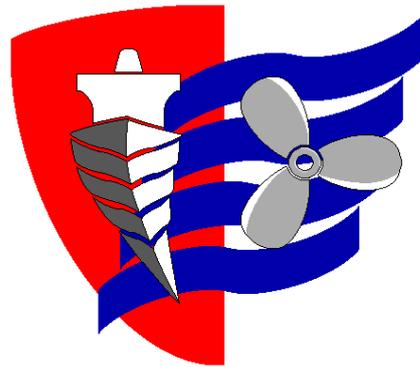


Ilustración 38-Localizacion equipos, detalle plano, ver anexo III

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



CONCLUSIONES

TRABAJO FIN DE GRADO		
GRADO EN INGENIERÍA MARÍTIMA	FECHA:14/09/2015	
	REV:01	PÁG:59

4. CONCLUSIONES

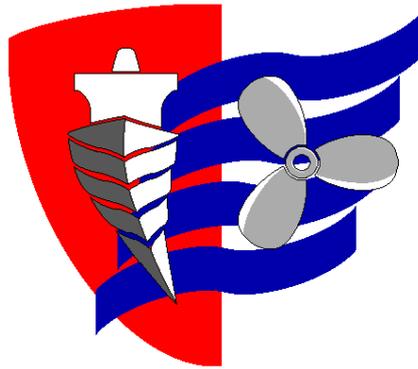
Pese a la aparente sencillez del sistema MGPS, su falta de eficacia y los problemas que derivan de su uso, constatado durante los 10 años de vida del buque conllevan un gasto y una pérdida de recursos por parte del buque que no resulta rentable y reduce la operatividad del mismo.

El propio sistema MGPS genera unos residuos que lo obstruyen, la vida de los ánodos, en la práctica es considerablemente menor a la esperada, el gasto en piezas de repuesto es muy elevado. Las horas de trabajo del personal a bordo que requiere el sistema es elevado, el mantenimiento del sistema arduo debido al peso de los elementos y la dificultad para limpiar los. La eficacia vista desde el punto de vista de la condición de limpieza del condensador es reducida. Obliga a paradas periódicas para realizar limpiezas del condensador principal que implican una pérdida de dinero para la naviera.

El nuevo sistema propuesto probado ya en numerosos barcos del mismo tipo, es un sistema que funciona y pese a un desembolso alto en su adquisición e instalación, asegura unos costes de mantenimiento y operación reducidos.

El cambio queda justificado en pos de una mayor operatividad del buque y una reducción en los costes de mantenimiento.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



ANEXOS

5. Anexos

5.1. Anexo I. Cotizaciones

5.2. Anexo II. Steam Analyzer Casos

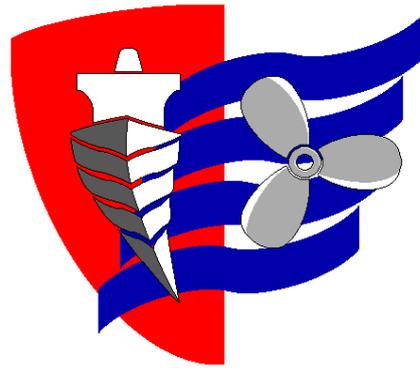
5.3. Anexo III. Planos

ANEXO I
COTIZACIONES

ANEXO II
STEAM ANALYZER CASOS

ANEXO III
PLANOS

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- Machinery Operating Manual LNGC GALICIA SPIRIT (H2209) DSME (DAEWOO SHIPBUILDING AND MARINE ENGINEERING CO) (2004)
- Anti-fouling system MGPS, Final drawing & Operating manual (K.C. Limited) (2004)
- Chloropac® Marine Electrochlorination System (SIEMENS) (2014)

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”