



**Universidad
de La Laguna**

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA SECCION DE
NAUTICA, MAQUINAS Y RADIOELECTRONICA NAVAL

**TRABAJO DE FIN DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO
DE GRADUADO EN TECNOLOGIAS MARINAS**

**ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA HÉLICE DE
PASO VARIABLE**

José Ángel González Blanco

10 de febrero de 2020

Dra Maria del Cristo Adrian de Ganzo, Profesora ayudante de la UD de Ingenieria Maritima del Departamento de Ingenieria Agraria, Nautica, Civil y Maritima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

Don Jose Angel Gonzalez Blanco, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del grado de Tecnologias Marinas, ha realizado bajo mi dirección el Trabajo de Fin de Grado nominado:

“ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA HELICE DE PASO VARIABLE” Para la obtención del Titulo de Graduado en Tecnologias Marinas por la universidad de La Laguna.

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser juzgado ante el tribunal que sea estimado para su lectura. Para que conste y sufra efectos oportunos, expido y firmo el presente certificado en Santa Cruz de Tenerife, a 10 de Febrero de 2020.

Dra Maria del Cristo Adrian de Ganzo



Directora del trabajo

ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN	15
ABSTRACT	16
II.- OBJETIVOS.....	19
2.1.- General:.....	19
2.2.- Específicos:.....	19
III.- REVISIÓN Y ANTECEDENTES	23
3.1.- Hélices de paso variable en la actualidad.....	23
3.2.- Tipos de OD-Box.....	24
3.3.- Primer buque español en utilizar una hélice de paso variable (Virgen de África 1953).....	26
3.3.1.- Características del buque	26
IV.- METODOLOGÍA	31
4.1.- Material	31
4.1.1.- Descripción del buque	31
4.1.1.- Características técnicas	32
4.1.2.- División de la superestructura.....	34
4.1.3.1.- Tecla inferior	38
4.1.3.1.1.- Sala de bombas	38
4.1.3.1.2.- Tecla inferior del motor principal	46
4.1.3.2.- Tecla superior	53
4.1.3.2.1.- Sala de motores auxiliares.....	53
4.1.3.2.2.- Sala de depuradoras.	55
4.1.3.2.3.- Tecla superior zona motor principal.....	59
4.1.3.2.4.- Engine control room	69
4.1.3.3.- Motor principal	72
4.1.4.- Technical Room	74
4.2.- Métodos de documentación	77
4.2.1.- Documentación bibliográfica.....	77
4.2.2.- Trabajo de campo	77
4.2.3.- Marco referencial	77
V.- RESULTADOS	81
5.1.- Descripción del sistema	81
5.1.1.- Hélice.....	82
5.1.1.1.- Palas tipo CLT	83
5.1.2.- Eje de cola.....	83
5.2.- Sistema hidráulico.....	85
5.2.1.- Suministro de aceite y lubricación	86
5.2.2.- Ajuste del paso de la hélice.....	88
5.2.3.- OD-Box (Caja de distribución de aceite).....	90

5.2.4.- Aceite hidráulico	90
5.3.- Sistema eléctrico.....	91
5.3.1.- Señal	92
5.3.1.1.- HMI.....	92
5.4.- Mantenimiento	94
5.4.1.- Mantenimiento diario	94
5.4.2.- Mantenimiento mensual.....	95
5.4.3.- Mantenimiento trimestral.....	95
5.4.4.- Mantenimiento semestral	95
5.4.5.- Mantenimiento anual	95
5.4.6.- Mantenimiento a los 5 años	96
5.5.- Avería de la OD-Box.....	96
5.5.1.- Problema	96
5.5.2.- Causas	97
5.5.3.- Solución	97
VI.- CONCLUSIÓN	101
VII.- BIBLIOGRAFÍA	105

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Helice de paso variable	23
Ilustración 2: Sistema DF	24
Ilustración 3: Sistema DM.....	25
Ilustración 4: Sistema I	25
Ilustración 5: Buque Virgen de África.....	26
Ilustración 6: Buque OPDR Andalucía entrando en el Guadalquivir.....	31
Ilustración 7: Vista de las bodegas de carga	31
Ilustración 8: Vista de la cubierta Inferior	34
Ilustración 9: Vista de la cubierta principal	35
Ilustración 10: Vista cubierta B	36
Ilustración 11: Vista cubierta A	36
Ilustración 12: Tecele Inferior	37
Ilustración 13: Tecele superior.....	38
Ilustración 14: Bombas de agua salada.....	39
Ilustración 15: Vista de la toma de mar en el interior del buque	41
Ilustración 16: Enfriadores de LT	41
Ilustración 17: Bombas de trasiego de HFO y GO	42
Ilustración 18: Bomba de descarga de lodos y filtros	43
Ilustración 19: Bomba de lastre	44
Ilustración 20: Bomba de agua salada de alimentación del evaporador	45
Ilustración 21: Generador de cola, Vista de popa	46
Ilustración 22: Reductora, vista de proa.....	47
Ilustración 23: Power pack de la CPP.....	49
Ilustración 24: Bomba de lubricación del motor principal	50
Ilustración 25: Filtro dúplex de aceite	51
Ilustración 26: Filtro dúplex de FO.....	51
Ilustración 27: Panel de control del motor principal.....	52
Ilustración 28: Vista motores auxiliares desde babor	53
Ilustración 29: Vista de la sala de depuradoras desde proa	56
Ilustración 30: Modulo booster.....	59
Ilustración 31: Esquema módulo booster.....	60
Ilustración 32: Vista del evaporador.....	61
Ilustración 33: Enfriador de HT	62
Ilustración 34: Bombas de circulación de agua de refrigeración LT	63
Ilustración 35: Modulo del Thermal Oil Heater	65
Ilustración 36: Vista de los compresores desde estribor	66
Ilustración 37: Vista del taller mecánico desde proa	67
Ilustración 38: Vista del taller mecánico desde popa	68
Ilustración 39: Vista del taller eléctrico.....	68
Ilustración 40: Vista del pañol de máquinas desde estribor	69
Ilustración 41: Vista del pañol desde popa	69
Ilustración 42: Coupling switch	70
Ilustración 43: Cajones de los motores auxiliares	70
Ilustración 44: Panel de control de la sala de maquinas	71
Ilustración 45: Panel del Water mist	72
Ilustración 46: Vista del motor principal desde popa	73
Ilustración 47: Vista del motor principal desde proa.....	73
Ilustración 48: Planta séptica.....	75
Ilustración 49: Compresores de la planta frigorífica	75
Ilustración 50: Compresores del aire acondicionado.....	76
Ilustración 51: Hidrosforo.....	76
Ilustración 52: Esquema básico de la CPP	81
Ilustración 53: Vista lateral del núcleo de la hélice.....	82

Ilustración 54: Vista del cubo y pala de la hélice.....	83
Ilustración 55: Vista general del eje de cola.....	84
Ilustración 56: Esquema hidráulico del Power Pack	85
Ilustración 57: Esquema hidráulico de la CPP	88
Ilustración 58: Características técnicas del aceite hidráulico	91
Ilustración 59: Esquema eléctrico básico.....	92
Ilustración 60: HMI E-300	93
Ilustración 61: Página principal del HMI.....	94
Ilustración 62: OD-Box montada al final de la reductora	96
Ilustración 63: Foto interior de los sellos mecánicos	97

Índice de tablas

Tabla 1: Datos técnicos del buque Virgen de África.....	26
Tabla 2: Características técnicas del buque	32
Tabla 3: Características técnicas de las bombas de agua salada	39
Tabla 4: Características técnicas del motor de las bombas de agua salada	39
Tabla 5: Características técnicas de la bomba auxiliar de agua salada	40
Tabla 6: Características técnicas del motor de la bomba auxiliar de agua salada	40
Tabla 7: Características técnicas del enfriador de LT	41
Tabla 8: Datos técnicos de las bombas de trasiego de combustible	42
Tabla 9: Datos técnicos del motor de las bombas de trasiego de HFO y GO	43
Tabla 10: Características técnicas de la bomba de descarga de lodos.....	44
Tabla 11: Características técnicas de la bomba de lastre	44
Tabla 12: Características técnicas del motor de la bomba de lastre	45
Tabla 13: Características técnicas de la bomba de alimentación del evaporador	45
Tabla 14: Características técnicas del generador de cola.....	46
Tabla 15: Características técnicas de la reductora	47
Tabla 16: Características técnicas de la bomba acoplada a la reductora.....	48
Tabla 17: Características técnicas de la bomba de reserva.....	48
Tabla 18: Características técnicas del motor eléctrico de la bomba de reserva	48
Tabla 19: Características técnicas de la bomba	50
Tabla 20: Características técnicas del motor de la bomba.....	50
Tabla 21: Datos técnicos de los motores auxiliares	54
Tabla 22: Datos técnicos de los alternadores de los motores auxiliares	54
Tabla 23: Características técnicas de la depuradora	56
Tabla 24: Características técnicas del calentador.....	56
Tabla 25: Características técnicas del motor eléctrico de la depuradora	57
Tabla 26: Características técnicas de la depuradora	57
Tabla 27: Características técnicas del calentador.....	57
Tabla 28: Características técnicas del motor eléctrico de la depuradora	58
Tabla 29: Características técnicas de la depuradora	58
Tabla 30: Características técnicas del calentador.....	58
Tabla 31: Características técnicas del motor eléctrico de la depuradora	58
Tabla 32: Características técnicas del módulo booster.....	60
Tabla 33: Características técnicas de la bomba de circulación	60
Tabla 34: Características técnicas de la bomba de circulación.....	60
Tabla 35: Características técnicas del evaporador	61
Tabla 36: Características técnicas del enfriador de HT.....	62
Tabla 37: Características técnicas bombas de circulación de LT principales.....	63
Tabla 38: Características técnicas del motor de la bomba principal.....	64
Tabla 39: Características técnicas bomba de circulación LT auxiliar	64
Tabla 40: Características técnicas del motor de la bomba auxiliar.....	64
Tabla 41: Características técnicas de los compresores principales	66
Tabla 42: Características técnicas del compresor de emergencia	66
Tabla 43: Características técnicas del motor principal.....	74
Tabla 44: Características técnicas de la hélice	82
Tabla 45: Características técnicas del eje de cola	85
Tabla 46: Características técnicas de la bomba	86
Tabla 47: Características técnicas del motor de la bomba.....	87

I.- INTRODUCCIÓN

I.- INTRODUCCIÓN

I.- INTRODUCCIÓN

El presente proyecto, pretende abordar el funcionamiento y control de una hélice de paso variable documentada durante las prácticas realizadas en el buque OPDR Andalucía.

La hélice de paso variable permite mantener constantes las revoluciones del motor principal independientemente de la velocidad a la que navegue el buque.

En primer lugar, se plantea una introducción con el fin de conocer el estado actual de las hélices de paso variable en el ámbito marítimo, los distintos tipos de OD-Box que se pueden introducir en el sistema y, además, conocer el primer buque español que utilizó una hélice de paso variable.

Por otro lado, es imprescindible conocer las características del buque en el que se basa este estudio y de los métodos de desarrollo utilizados, para poder profundizar en el sistema que se va a tratar.

Por último, se desarrollan los componentes de una hélice de paso variable para, a continuación, conocer en detalle los dos sistemas primordiales para su funcionamiento que son: el sistema hidráulico y el sistema eléctrico. Otra parte fundamental es el mantenimiento que se debe de llevar a cabo en este sistema, ya que se trata de un sistema crítico. Y, para concluir, describe una avería que se subsana en el transcurso de las prácticas a bordo del buque.

ABSTRACT

The principal purpose of this project is comprehend the operation and control of a controllable pitch propeller during the practices realised in the OPDR Andalucía vessel.

The controllable pitch propeller allows to keep constant the main engine revolutions independently of the speed at which the vessel is sailing.

Firstly, there is an introduction which let us know the actual status of controllable pitch propellers in the maritime field, the different types of OD-Box that can be introduced into the system and also know the first Spanish ship that used a controllable pitch propeller.

Secondly, it is essential to know the features of the vessel which is the base of this project and development methods that have been used, to let us deepem in the system that we are going to treat.

Finally, the components of a controllable pitch propeller will be develop for, later, to know in depth the two primary systems for its operation that are the hydraulic and electrical system. Another fundamental part is the maintenance that must be carry out in this system because it is a critical system for both. And, to conclude, describe a fault that was fixed in the course of the practices on board the ship.

II.- OBJETIVOS

II.- OBJETIVOS

II.- OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden alcanzar en este trabajo los dividiremos en dos apartados:

2.1.- General:

- Comprender y familiarizarse con un sistema de propulsión que posee una hélice de paso variable.

2.2.- Específicos:

- Conocer los elementos que componen una hélice de paso variable.
- Conocer el funcionamiento del sistema hidráulico y eléctrico.
- Observar los mantenimientos específicos que requiere este sistema.
- Demostrar las consecuencias de una avería en uno de sus componentes.

II.- OBJETIVOS

III.- REVISIÓN Y ANTECEDENTES

III.- REVISIÓN Y ANTECEDENTES

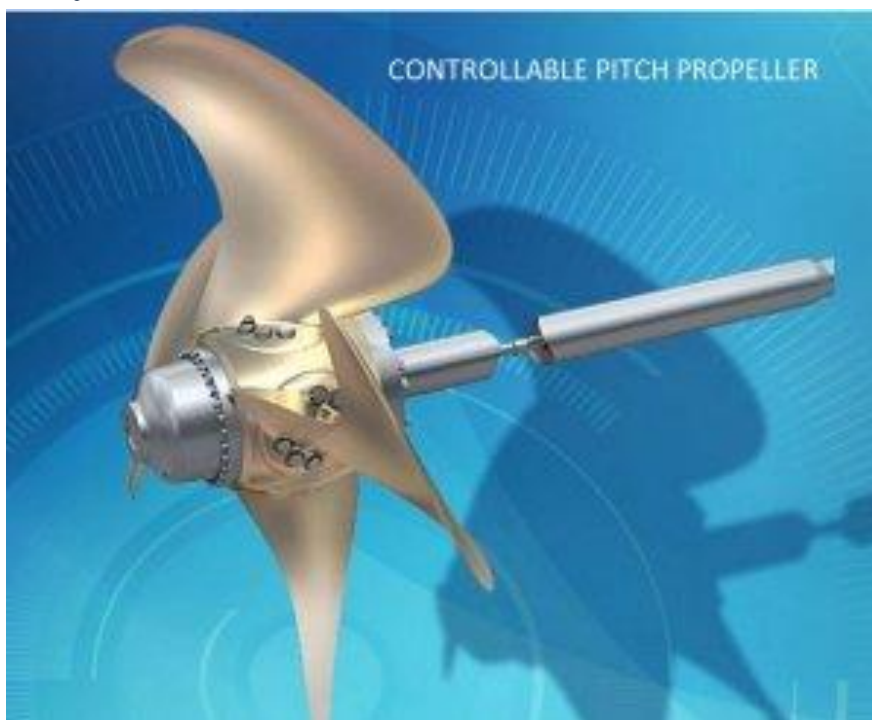
III.- REVISIÓN Y ANTECEDENTES

3.1.- Hélices de paso variable en la actualidad

Las hélices de paso variable cuentan en la actualidad con un historial bastante bueno respecto a confiabilidad y se están volviendo cada vez más comunes en una amplia gama de tonelaje. La principal diferencia respecto a una hélice de paso fijo es que las palas se pueden rotar perpendicularmente respecto al eje y establecer el paso requerido en todo el rango de operación. Esto se logra mediante bombas hidráulicas o pistones, los sistemas mecánicos son incapaces con los buques actuales debido a los tamaños y velocidades. Para usar una hélice de paso variable el motor se debe de mantener a unas revoluciones constantes para que la hélice gire continuamente, por lo general a revoluciones bastante altas.

Una hélice convencional es una hélice con paso fijo. El paso de una hélice se define como la distancia que la hélice se movería durante una revolución completa si se opera sobre un material sólido. Para alternar la velocidad del buque con una hélice de paso fijo se debe de alternar la velocidad de giro de la hélice modificando las revoluciones del motor que la impulsa.

Ilustración 1: Hélice de paso variable



Fuente: "cultofsea.com" [1]

Ventajas de la CPP

- Mayor maniobrabilidad
- Permiten que los motores funcionen a sus revoluciones optimas
- Elimina la necesidad de invertir el sentido de giro del motor.
- Tamaño reducido de compresores y receptores del sistema de aire de arranque
- Mejor eficiencia de la propulsión con baja carga

Desventajas de la CPP

- Mayor costo inicial
- Mayor complejidad y requisitos de mantenimiento
- Aumenta la carga del Stern tuve debido al mayor peso del conjunto
- Para el mantenimiento de la hélice se debe de retirar el eje por completo por lo que requiere que se retire el timón.
- Mayor riesgo de contaminación debido posibles fugas en los sellos.

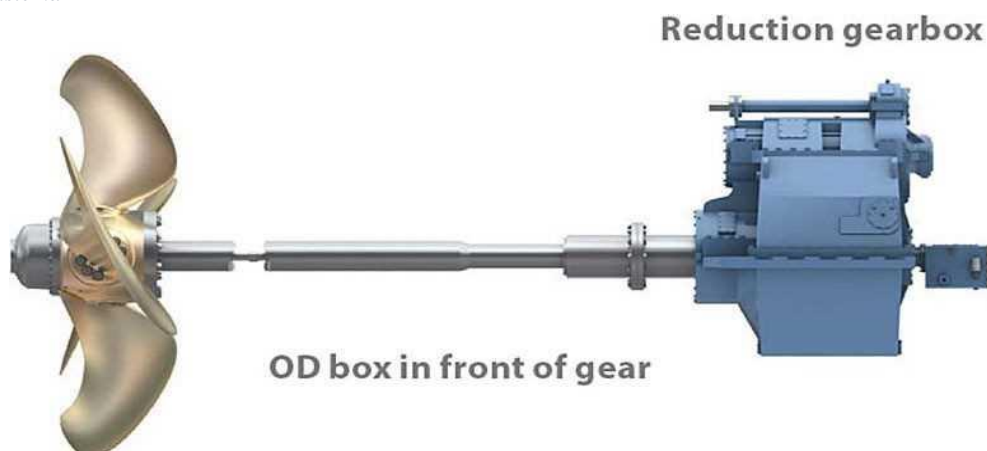
{1}

3.2.- Tipos de OD-Box

Las hélices de paso variable suelen estar disponibles con tres tipos de sistema de control de aceite para satisfacer la mayoría de los requisitos de los distintos tipos de buques.

- Sistema DF

Ilustración 2: Sistema DF



Fuente: "kongsberg.com" [2]

La OD-Box está montada en el extremo delantero de la reductora. Se pueden disponer de ejes intermedios adicionales entre el eje de la hélice y la reductora.

- Sistema DM

Ilustración 3: Sistema DM



Fuente: "kongsberg.com" [2]

Un eje separado lleva la OD-Box y se pueden disponer de ejes adicionales entre el eje de la hélice y el eje de la OD-Box.

- Sistema I

Ilustración 4: Sistema I



Fuente: "kongsberg.com" [2]

OD-Box integrada en la reductora. (sistema a tratar en este estudio) {2}

3.3.- Primer buque español en utilizar una hélice de paso variable (Virgen de África 1953)

Ilustración 5: Buque Virgen de África



Fuente: “transmeships.es” [3]

3.3.1.- Características del buque

Tabla 1: Datos técnicos del buque Virgen de África

Nombres y propietarios	Virgen de África (1953-1955) Empresa Nacional Elcano Virgen de África (1955-1986) Compañía trasmediterránea África (1986-1988) Agrupaciones y Servicios – Alicante
Tipo	Transbordador
Año de construcción	1953
Constructor	Unión naval de Levante S.A. Valencia- España
Numero de construcción	57 (Miramar)
Identificación	5381629
Señal de llamada	EDOC
Registro	Pabellón: España Puerto de registro: Ceuta – Lista 2 ^a –

	Folio119
Material del casco	Acero
Numero de cubiertas	Una corrida
Eslora	103.63 m
Eslora entre perpendiculares	95.09 m
Manga máxima	16.56 m
Puntal	7.29 m
Calado máximo	5.12 m
Pasajeros	900
Capacidad del garaje	100 vehículos o 12 vagones
Potencia de propulsión	5.300 cv
Velocidad de servicio	17 nudos
Propulsión	2 motores diésel, Burmeister & Wain, tipo 750-Vf-90, dos tiempos, simple efecto, sin cruceta, con siete cilindros de 500 mm de diámetro y una carrera de 900 mm.
Tipo de las hélices propulsoras	Paso variable sistema KaMeWa

Fuente: "transmeships.es" [3]

3.3.2.- Historia

En el Plan de Nuevas construcciones de la Empresa Nacional Elcano de la Marina Mercante figuraban dos buques del tipo "H", diseñados específicamente para el paso del estrecho de Gibraltar, y el 10 de mayo de 1946, la Empresa Nacional Elcano concertó la construcción de estos buques con los astilleros de la Unión Naval de Levante, siendo el Virgen de África el segundo de estos buques después de la Victoria.

Este buque, construcción número 57 de los mencionados astilleros, fue botado el 27 de mayo de 1952, con asistencia del Jefe de Estado, Ministro de Marina, Ministro de Obras Públicas y Ministro de Industria. Bendijo el casco del nuevo buque el Obispo de Valencia y amadrino la ceremonia doña Carmen Polo de Franco.

Coincidiendo con este acto, el Jefe del Estado y su sequito embarcaron a bordo del Victoria para efectuar un recorrido de dos horas de duración a lo Larco de la costa valenciana, custodiado por los destructores Gravinia y Álava.

III.- REVISIÓN Y ANTECEDENTES

El Virgen de África, como su gemelo Victoria, fueron barcos muy significativos, ya que fueron los primeros buques transbordadores españoles construidos por astilleros nacionales. Tenían la entrada de vehículos por popa, aunque disponían también de dos puertas en las aletas que le permitía colocar rampas de acceso laterales. Estaban preparados para el transporte de material ferroviario, y para ello disponían de dos vías en la cubierta del garaje, con una longitud total de 150 m. Su capacidad de garaje era de 12 unidades ferroviarias o 100 vehículos.

El Virgen de África salió, además, con una gran innovación técnica. Fue el primer buque español dotado con sistema de hélices de paso variable, sistema "KaMeWa", que permite el derecho regular y el derecho de los mismos directamente desde el difícil. En un bien destinado a una típica que exigía numerosísimas maniobras, este fue un sistema de gran ayuda para el personal de puente, que gobernó directamente desde el mismo, como para las máquinas que no tenían que tener algún motor a los motores paradas durante las maniobras.

Los días 30 de marzo y el 1 de abril de 1953 se efectuaron las pruebas oficiales, siendo entregado a la Empresa Nacional Elcano el día 6 de abril. El día 11 siguiente, en el puerto de Ceuta, fue cedido a la Compañía Transmediterránea, en régimen de arrendamiento.

Prestó sus primeros servicios en la línea Algeciras-Ceuta en sustitución de su gemelo Victoria que marchó a Valencia para proceder a su primera revisión y efectuada la misma, pasaba a prestar servicios extraordinarios en Baleares.

El 24 de abril tuvo lugar la entronización de una imagen de la Virgen de África en el buque portador de su nombre. El acto se celebró con toda solemnidad en Ceuta, de cuya ciudad es patrona la Virgen de África cuya imagen fue regalada al ayuntamiento de la ciudad.

Reintegrado el Victoria en octubre de 1953 a sus habituales servicios en las líneas del estrecho de Gibraltar, el Virgen de África paso a cubrir la línea Algeciras-Tánger. El 19 de noviembre de 1953, efectuó su primer viaje y el 21 de dicho mes quedo inaugurada oficialmente la línea mencionada. {3}

IV.- METODOLOGÍA

IV.- METODOLOGÍA

IV.- METODOLOGÍA

4.1.- Material

4.1.1.- Descripción del buque

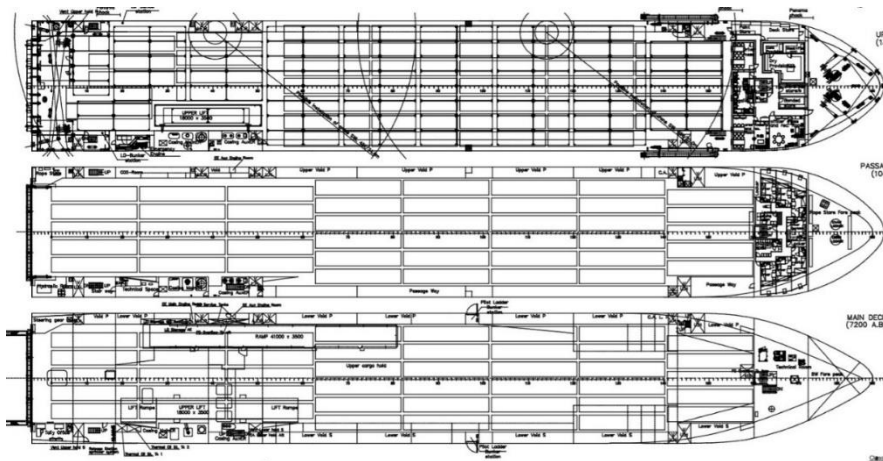
Ilustración 6: Buque OPDR Andalucía entrando en el Guadalquivir



Fuente: "shipspotting.com" [4]

El buque OPDR Andalucía con N° IMO 9331206, es del tipo CON/RO Carrier, por lo que puede transportar tanto carga rodada como contenedores. Para ello cuenta con 3 cubiertas, 2 de ellas son bodegas preparadas para el transporte de carga rodada mientras que la tercera es mixta pudiendo transportar tanto carga rodada como contenedores.

Ilustración 7: Vista de las bodegas de carga



Fuente: "final drawing" [5]

El buque consta de 145 m. de eslora, su casco es de acero y posee un bulbo, cuenta con dos hélices transversales a proa y a popa para facilitar la maniobra en puerto. Durante las travesías el buque es dirigido con un timón e impulsado por una hélice de paso variable.

La carga rodada entra por la rampa de popa hacia la cubierta principal donde se puede dirigir hacia la cubierta inferior o bodeguín mediante una rampa con una tapa accionada hidráulicamente para aprovechar al máximo la superficie de la cubierta principal o también se puede dirigir a la cubierta superior mediante un ascensor que se acciona hidráulicamente. Tanto la tapa del bodeguín como el ascensor son impulsados gracias a unas bombas hidráulicas llamadas MacGregor. La estiba de los contenedores se realiza en la cubierta superior ayudado por las grúas de puerto.

El responsable de la supervisión y control de la carga es el 1º Of. de cubierta. Mientras se realiza la maniobra de carga el 1º Of. de cubierta se encarga de controlar la estabilidad del buque mediante las operaciones de lastrado y deslastrado de los distintos tanques preparados para su cometido. Los alumnos que forman parte de la tripulación se encargan de hacer una lista de los desperfectos que posea la carga rodada con vistas a futuras reclamaciones.

La sala de máquinas del buque se encuentra en la popa mientras que la superestructura donde se encuentran las habitaciones se encuentra a proa.

4.1.1.- Características técnicas

Tabla 2: Características técnicas del buque

Nombre	OPDR Andalucía
Pabellón	Español
Registro	Registro especial de buques y empresas navieras de canarias
Puerto de registro	Santa Cruz de Tenerife
Folio	2/2007
Nº IMO	9331206
Tipo de buque	CON-RO
Año de construcción	2007

ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA HELICE DE PASO

Sociedad de clasificación	Germanisher Lloyd
Astillero	Fujian Mawei Shipyard
País de construcción	China
Distintivo de llamada	ECKY
Casco	433-1
Eslora total	145 m
Eslora entre perpendiculares	135 m
Manga de trazado	22 m
Puntal	13.9 m
Puntal de construcción	10.40 m
Calado de verano	6.013 m
Calado medio de trazado	6.000 m
Arqueo bruto (GRT)	11.300 Tn
Arqueo neto (NRT)	2..800 Tn
Desplazamiento máximo	12.658 Tn
Desplazamiento en rosca	5.358 Tn
Peso muerto	7.300 Tn
Motor principal	MAK 12VM32C
Potencia efectiva	6.000 kW
Velocidad de crucero	16.4 kN
Consumo	22 Tn/día
Motores auxiliares	MAN D2842LE301
Motor de emergencia	SISUDIESEL 634 DSBG
Generador de cola	AEM SE450 L4 6L
Hélice transversal de proa	WÄRTSILÄ FT175H
Hélice transversal de popa	WÄRTSILÄ FT125H
Hélice de popa	WÄRTSILÄCPP2-20250-038-160M A2A10SDS
Capacidad de tanques de lastre	4.322 m ³
Capacidad de tanque de FO	690.2 m ³
Capacidad de tanques de GO	94.1 m ³

Capacidad de tanques de aceite	19.8 m ³
Capacidad de tanques de agua dulce	26.3 m ³
Capacidad de carga rodada en bodeguín	17 remolques
Capacidad de carga rodada en bodega	44 remolques
Capacidad de carga de contenedores	500 TEUS

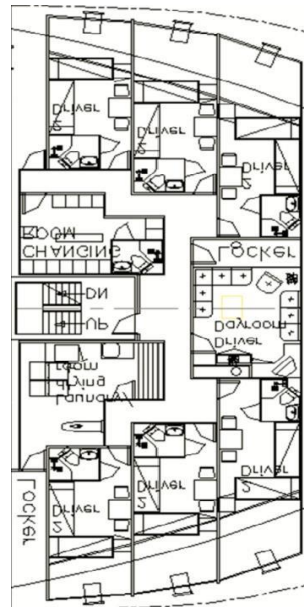
Fuente: "fomento.gob.es" [5], Trabajo de campo

4.1.2.- División de la superestructura

La superestructura posee cuatro cubiertas para habitación y debajo de ella se encuentra la cubierta inferior, la disposición de las cubiertas es:

- La cubierta inferior: donde se encuentran 6 camarotes para los conductores, aunque se utilizan dos de ellos para los alumnos, uno para el alumno de puente y otro para el alumno de máquinas, una sala de entretenimiento para los conductores, un pañol, la lavandería y un pequeño vestuario. Debajo de la cubierta inferior se encuentra el technical room, donde se alberga el hidróforo, los compresores del aire acondicionado, la refrigeración de las gambuzas, la planta séptica, la maquinilla de la hélice de proa y la bomba contraincendios de emergencia.

Ilustración 8: Vista de la cubierta Inferior

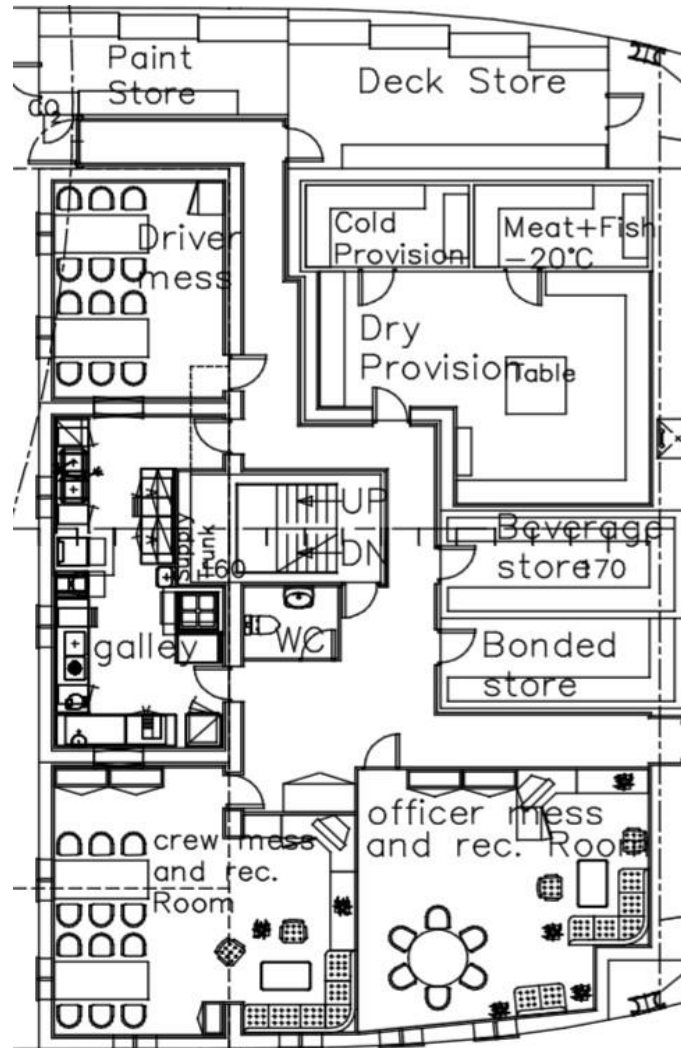


Fuente: "final drawing" [5]

La cubierta principal: En la cubierta principal se encuentra de estribor a babor. Los comedores de la tripulación y los oficiales, la cocina, un pequeño baño, el pañol de

aduanas, la gambuza, el comedor de conductores, el pañol del conteraestre y el pañol de pinturas.

Ilustración 9: Vista de la cubierta principal

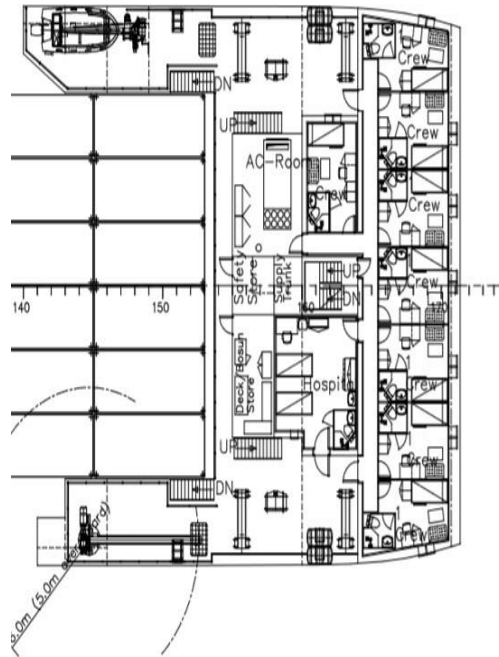


Fuente: "final drawing" [5]

- Cubierta A: En esta cubierta encontramos el local de aire acondicionado, los camarotes de la tripulación, un pequeño hospital, el bote rápido, las balsas salvavidas y una pequeña grúa para el aprovisionamiento.

IV.- METODOLOGÍA

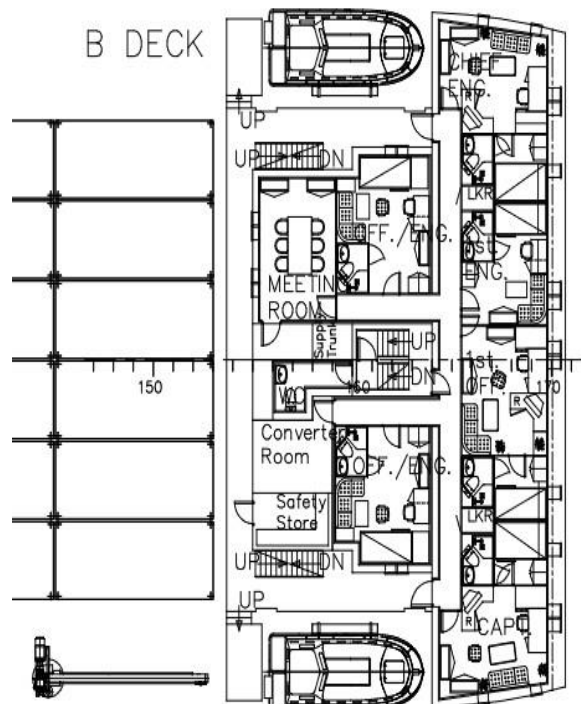
Ilustración 11: Vista cubierta A



Fuente: "final drawing" [5]

- Cubierta B: En esta cubierta se encuentran los camarotes del capitán, el jefe de máquinas, el 1º oficial de puente, el 1º oficial de máquinas, el 2º oficial de puente y el mecánico, también se encuentra una pequeña sala de reuniones y los botes de rescate.

Ilustración 10: Vista cubierta B



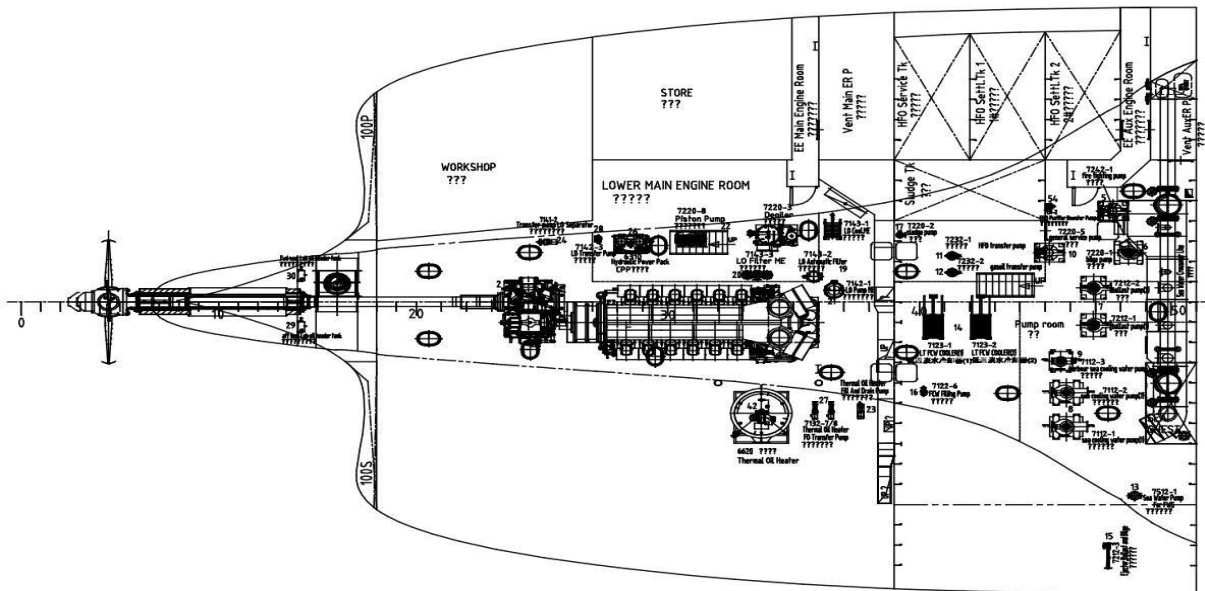
Fuente: "final drawing" [5]

4.1.3.- Sala de máquinas.

La sala de máquinas se divide en dos teclés:

- El teclé inferior: En el teclé inferior se encuentra de proa a popa, la sala de bombas donde se hayan las bombas de agua salada, las bombas de trasiego de combustible de Fuel Oil y Gas Oil, las bombas contraincendios, las bombas de lastre, dos intercambiadores de placas para refrigerar el agua LT (low temperatura), y un pequeño espacio reservado para el lavado. Hacia el otro lado encontramos el teclé inferior del motor principal donde se encuentra la maquinilla de la hélice de proa, la reductora, el generador de cola, la bancada y el bloque del motor principal, los filtros dúplex de aceite y Fuel Oil, el enfriador de aceite del motor principal y la CPP.

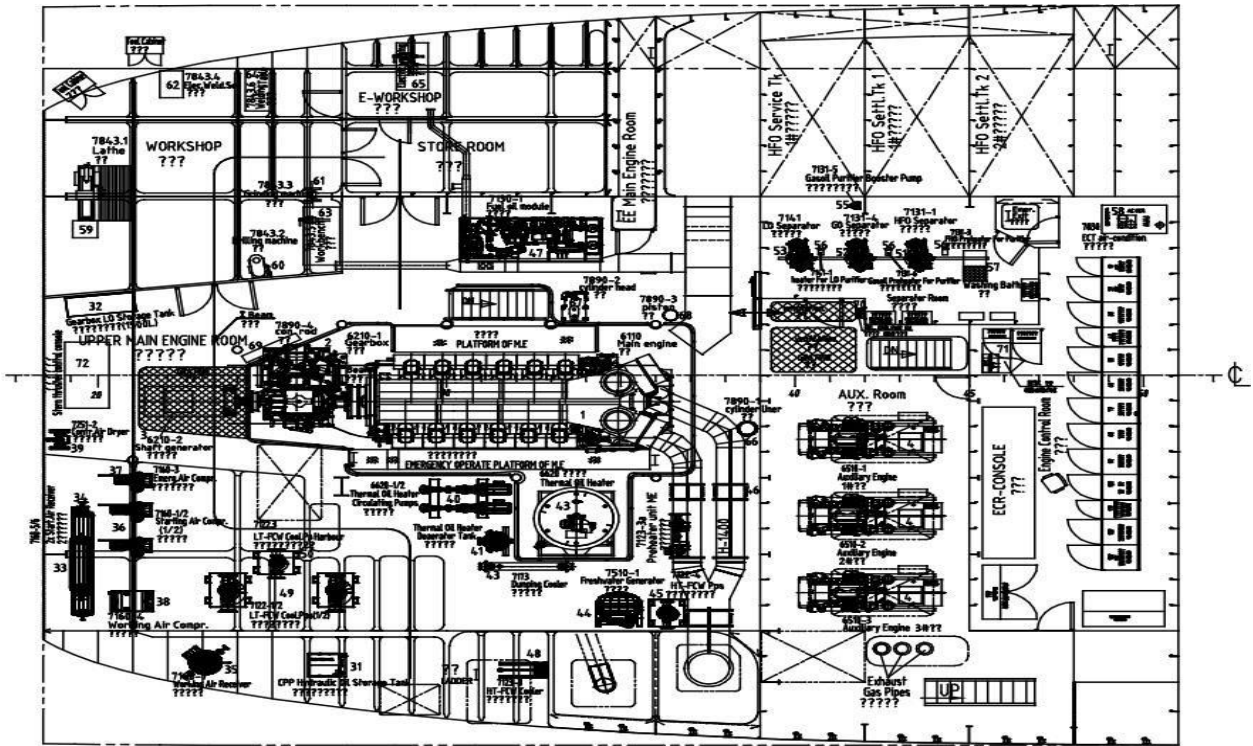
Ilustración 12: Teclé Inferior



Fuente: "final drawing" [5]

- El teclé superior: en el teclé superior nos encontramos con el control de máquinas, la sala de los auxiliares, sala de depuradoras, las culatas del motor principal, el generador de agua dulce, el enfriador del Thermal Oil Heater, las bombas de LT, los compresores de aire, un pequeño taller, un pequeño taller eléctrico, un almacén de respeto y el módulo booster

Ilustración 13: Tecele superior



Fuente: "final drawing" [5]

4.1.3.1.- Tecele inferior

El tecele inferior se divide en dos salas. Por un lado, se encuentra la sala de bombas a proa de la sala de máquinas y a popa encontramos el tecele inferior del motor principal

4.1.3.1.1.- Sala de bombas

En la sala de bombas nos encontramos con la mayoría de las bombas necesarias para el funcionamiento del buque.

- Bombas de agua salada

El buque posee 3 bombas de agua salada, 2 de ellas principales y 1 para utilizarla en puerto debido a que se necesita menor cantidad de agua salada para refrigerar los distintos sistemas esenciales

Ilustración 14: Bombas de agua salada



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas de las bombas de agua salada principales

Tabla 3: Características técnicas de las bombas de agua salada

Bomba	
Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Modelo	250-200/315-15031
Caudal	480 m ³ /h
Altura	25.5 m
Altura máxima	37 m
Consumo	45 kW
Velocidad	1770 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Tabla 4: Características técnicas del motor de las bombas de agua salada

Motor	
Marca	ABB Motors
Modelo	M3AA200MLC-4
Voltaje	440 V
Intensidad	86 A

IV.- METODOLOGÍA

Frecuencia	60 Hz
Potencia	51 kW
Factor de potencia	0.85
Velocidad	1770 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Características técnicas de la bomba auxiliar

Tabla 5: Características técnicas de la bomba auxiliar de agua salada

Bomba	
Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Modelo	125-100/250/AZ
Caudal	127 m ³ /h
Altura	25 m
Altura máxima	27 m
Consumo	13 kW
Velocidad	1760 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Tabla 6: Características técnicas del motor de la bomba auxiliar de agua salada

Motor	
Marca	ABB Motors
Modelo	M3AA160 L-1
Voltaje	440 V
Intensidad	31 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	18 kW
Factor de potencia	0.83
Velocidad	1760 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

- Toma de mar

El buque posee una única toma de mar en la banda de babor debajo de la línea de flotación. Después de esta toma de mar se encuentra con dos pocetes antes de llegar a las bombas de agua salada.

Ilustración 15: Vista de la toma de mar en el interior del buque



Fuente: Trabajo de campo

- Enfriadores de LT

Los enfriadores de LT son intercambiadores de placas a contra flujo, esto quiere decir que los fluidos se enfrentan entre ellos. Se dispone de dos enfriadores para poder habilitar uno en caso de rotura o fallo en el otro. El circuito de LT es refrigerado gracias al agua de mar.

Ilustración 16: Enfriadores de LT



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 7: Características técnicas del enfriador de LT

Tipo	Enfriador de placas
Marca	Tranter phe AB
Modelo	GXD-64-P

IV.- METODOLOGÍA

Presión de trabajo	1-6 bar
Ratio de temperatura de trabajo	0-110°C
Volumen de agua	184.36 l
Peso	1609 kg

Fuente: "Manual 61: Intercambiador de calor" [8]

- Bombas de trasiego

Las bombas de trasiego se utilizan para enviar el combustible de los storage a los setting. Hay una bomba para cada combustible por lo que hay dos, una para HFO y otra para GO. Antes de la bomba de HFO se encuentra un filtro para impedir que en la bomba entren grandes impurezas.

Ilustración 17: Bombas de trasiego de HFO y GO



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 8: Datos técnicos de las bombas de trasiego de combustible

Bomba	
Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Modelo	KV 275 2B 1ª 16
Caudal	20 m ³ /h
Altura	40 m
Consumo	5.5 kW
Velocidad	1750 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Tabla 9: Datos técnicos del motor de las bombas de trasiego de HFO y GO

Motor	
Marca	ABB Motors
Modelo	M2AA132 S-4
Voltaje	440-480 V
Intensidad	31 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	6.4 kW
Factor de potencia	0.83
Velocidad	1750 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

- Bomba y filtro de descarga de lodos.

En este buque ningún fluido se arroja al mar, todo se trasiega al tanque de lodos y una vez al mes se trasiega a una cuba en el puerto de Sevilla para su correcta eliminación. Para poder llevar los lodos a la cuba se necesita una bomba y antes de la bomba siempre se utiliza un filtro para limpiar las mayores impurezas que puedan haber debido que en el tanque de lodos puede acabar cualquier cosa. Una vez que se descarga el tanque de lodos se procede a la revisión y limpieza del filtro para dejarlo operativo de nuevo para la siguiente eliminación.

Ilustración 18: Bomba de descarga de lodos y filtros



Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Características técnicas

Tabla 10: Características técnicas de la bomba de descarga de lodos

Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Caudal	15 m ³ /h

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

- Bombas de lastre

El buque tiene dos bombas de lastre encargadas de introducir y expulsar el agua de los tanques de lastre del buque para su correcta.

Ilustración 19: Bomba de lastre



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 11: Características técnicas de la bomba de lastre

Bomba	
Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Modelo	200-150/315-1253
Caudal	250 m ³ /h
Altura	20.4 m
Altura máxima	26 m
Consumo	19.5 kW
Velocidad	1770 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Tabla 12: Características técnicas del motor de la bomba de lastre

Motor	
Marca	ABB Motors
Modelo	M3AA180 M-4
Voltaje	440 V
Intensidad	36 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	21 kW
Factor de potencia	0.85
Velocidad	1770 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

- Bomba de alimentación del evaporador

El evaporador se encarga de producir el agua dulce que se utiliza en el buque. Lo produce evaporando el agua de mar para desalarla, una vez después de que se haya evaporado se condensa y se extrae con una bomba dedicada a ello.

Ilustración 20: Bomba de agua salada de alimentación del evaporador



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 13: Características técnicas de la bomba de alimentación del evaporador

Presión	3.5 bar
---------	---------

Caudal	30m ³ /h
Consumo	8.6 kW
Velocidad	3340 rpm

Fuente: "Manual 16: Generador de agua dulce" [9]

4.1.3.1.2.- Tecele inferior del motor principal

- Generador de cola

El generador de cola es el encargado de producir la electricidad que consumirá el buque mientras nos encontramos en travesía. Se encuentra acoplado al motor principal por una caja multiplicadora que transforma los 750 rpm del motor a 1814 rpm que necesita el alternador. La conexión entre alternador y caja multiplicadora es un acoplamiento elástico del tipo Vulkan.

Ilustración 21: Generador de cola, Vista de popa



Fuente: "Manual 1.5: Motor principal" [10]

Características técnicas

Tabla 14: Características técnicas del generador de cola

Fabricante	AEM
Modelo	SE 450 L4
Voltaje	440 V
Intensidad	1900A
Potencia	1800 KVA
Frecuencia	60 Hz
RPM	1814 rpm

Fuente: "Manual 1.5: Motor principal" [10]

- Reductora

La reductora conecta el motor principal con el eje de la hélice, su función es la de reducir los 750 rpm a que gira el motor en condiciones normales, a la velocidad de giro de la hélice, 146.9 rpm. Para ello cuenta con un sistema de engranajes solidarios.

Dispone de tres salidas, una para el eje de la hélice, una para el generador de cola y otra para una bomba hidráulica de lubricación y refrigeración para la propia reductora. La reductora incorpora también un enfriador de aceite y un filtro.

Existe una bomba de aceite de reserva movida por un motor eléctrico que se encarga de lubricar la reductora en el proceso de arrancado del motor, cuando éste funciona a régimen normal de trabajo, la bomba se apaga y la reductora se lubrica por la bomba acoplada.

Ilustración 22: Reductora, vista de proa



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 15: Características técnicas de la reductora

Reductora	
Marca	RENG AG
Modelo	RSH-950
Consumo	1543 kW
Velocidad de entrada	750 rpm

IV.- METODOLOGÍA

Velocidad de salida	146.9 rpm
Capacidad de aceite	850 l

Fuente: "Manual 1.5: Motor principal" [10]

Tabla 16: Características técnicas de la bomba acoplada a la reductora

Bomba acoplada	
Marca	KRANCHT
Modelo	KF-5/200
Caudal	340 l/ min
Presión de descarga	6 bar
Velocidad	1813 rpm

Fuente: "Manual 1.5: Motor principal" [10]

Tabla 17: Características técnicas de la bomba de reserva

Bomba de reserva	
KRANCHT	
KF-5/150	
246 l/min	
6 bar	
1715 rpm	

Fuente: "Manual 1.5: Motor principal" [10]

Tabla 18: Características técnicas del motor eléctrico de la bomba de reserva

Motor eléctrico	
Marca	SNT
Voltaje	440 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	4.8 kW
Velocidad	1715 rpm

Fuente: "Manual 1.5: Motor principal" [10]

- Power pack de la CPP

La CPP es un módulo hidráulico encargado del manejo del ángulo de las palas del timón. En función del ángulo que se desee de las palas del timón la CPP se encarga de enviar una presión de aceite y ajustar el ángulo como se desee.

Ilustración 23: Power pack de la CPP



Fuente: Trabajo de campo

- Bomba de lubricación del motor principal

Esta bomba es la encargada de mover el aceite dentro de las partes que necesitan lubricación en el motor principal. A la hora de arrancar el motor principal esta bomba se pone en manual y se enciende. Una vez arrancado el motor principal y comprobado que el motor se encuentra a régimen se procede a colocar la bomba en automático y ella sola se encenderá cuando detecte una presión de aceite inferior a la establecida.

Ilustración 24: Bomba de lubricación del motor principal



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 19: Características técnicas de la bomba

Bomba	
Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Modelo	KF42.2A1A07
Caudal	5.9 m ³ /h
Altura	35 m
Consumo	1.2 kW
Velocidad	3500 rpm

Fuente: "Manual 1.4: Motor principal" [11]

Tabla 20: Características técnicas del motor eléctrico de la bomba

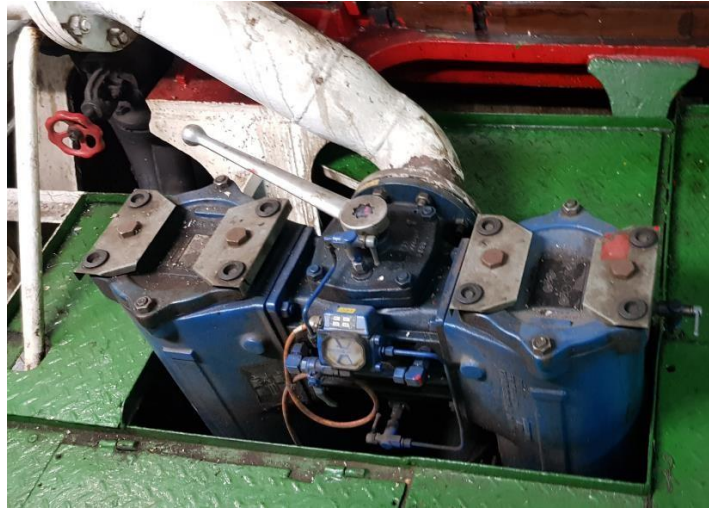
Motor	
Marca	Robert Birkenbeul GmbH&Co.K.G.
Modelo	5AP905-4
Voltaje	240-420 V
Intensidad	2.8 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	1.35 kW
Factor de potencia	0.81
Velocidad	1410-1692 rpm

Fuente: "Manual 1.4: Motor principal" [11]

- Filtro dúplex de aceite

Después de pasar por la bomba anteriormente nombrada el aceite pasa por un filtro dúplex antes de llegar al motor principal para limpiar los restos que la depuradora de aceite no haya podido eliminar. Se llama filtro dúplex porque posee dos filtros gemelos por si en caso de que fallara alguno o hubiera que hacerle mantenimiento a otro se pudiera utilizar el que este operativo

Ilustración 25: Filtro dúplex de aceite



Fuente: "Manual 1.4: Motor principal" [11]

- Filtro de Fuel Oil.

Del mismo modo que en el caso del aceite lubricante el fuel oil pasa por un filtro antes de llegar al motor principal después de pasar por el módulo booster.

Ilustración 26: Filtro dúplex de FO



Fuente: Trabajo de campo

Panel de control del motor principal

Es un panel situado a popa del motor que permite su control y supervisión de funcionamiento, dispone del comando de arrancado y parado del motor, de funcionamiento a régimen a altas revoluciones 750 rpm (generator mode) ya que al arrancar el motor solo alcanza un régimen de 450 rpm; y del comando de parada de emergencia. También cuenta con una palanca para realizar el soplado del motor.

Dispone de un indicador del tacómetro eléctrico para las revoluciones del motor, manómetro de presión de aire de sobrealimentación, manómetro de presión de combustible, manómetros para la presión de aceite lubricante, uno para la presión de entrada al filtro automático de aceite y otra para la presión a la salida del filtro; manómetros para la presión de agua dulce de refrigeración, uno para el enfriador de aceite y otro para el enfriador de aire de sobrealimentación; termómetro para el aceite lubricante, termómetro para el agua de refrigeración a la salida del motor y un indicador digital de las temperaturas de los gases de escape de cada cilindro, temperatura de los gases de escape a la entrada y salida de los turbocompresores y temperatura del aire de carga a la salida de cada turbocompresor.

Ilustración 27: Panel de control del motor principal



Fuente: Trabajo de campo

4.1.3.2.- Tecele superior

4.1.3.2.1.- Sala de motores auxiliares.

Los motores auxiliares son los encargados de suministrar electricidad al buque en maniobra y cuando nos encontramos en puerto. Este buque dispone de tres auxiliares junto con sus correspondientes alternadores.

Ilustración 28: Vista motores auxiliares desde babor



Fuente: Trabajo de campo

Son motores de la casa MAN, del modelo D2842LE301, diésel de 4 tiempos, de 12 cilindros dispuestos en V.

El arranque de los tres motores se efectúa con aire comprimido a una presión mínima de 28 kg/cm².

Son motores de cárter húmedo, una bomba del motor aspira el aceite del cárter y lo recircula por un enfriador, luego va a las partes internas deslizantes y en contacto para lubricarlas, el aceite, que sirve también para refrigerar los pistones, se dirige de nuevo al cárter. Cada motor tiene una bomba de prelubricación, para hacer circular el aceite cuando el motor no funciona al régimen de revoluciones de trabajo, es decir, cuando está arrancando o parando.

Características técnicas de los motores auxiliares

IV.- METODOLOGÍA

Tabla 21: Datos técnicos de los motores auxiliares

Tipo de motor	D 2840 LE 301
Forma de construcción	En V 90°
Proceso de combustión	Inyección directa
Funcionamiento	Motor diésel de 4 tiempos con turbocompresores e intercooler y regulación (waste gate)
Sobrealimentación	Turbocompresor de gases de escape
Numero de cilindros	12
Diámetro de los cilindros	128 mm
Carrera de los cilindros	142 mm
Cilindrada del motor	21927 cm ³
Relación de compresión	15.5:1
Orden de encendido	1-7-6-12-2-8-5-11-3-9-4-10
Capacidad de aceite en el cárter	Mínimo 26l-maximo 30l

Fuente: "Manual 2.1: Motores auxiliares" [12]

Características técnicas de los alternadores

Tabla 22: Datos técnicos de los alternadores de los motores auxiliares

Fabricante	Leroy somer
Modelo	LSAM 49.1 S4C 6S/4
Voltaje	450 V
Intensidad	1900 A
Potencia	634 kW

Frecuencia	60 Hz
Rpm	1800 rpm
Factor de potencia	0.80
Peso	1350 kg

Fuente: "Manual 2.1: Motores auxiliares" [12]

4.1.3.2.2.- Sala de depuradoras.

En la sala de depuradoras se encuentran tres depuradoras con sus respectivos paneles de control, uno para cada una. Cada depuradora se utiliza para un fluido en particular. Una es la depuradora de aceite, otra la depuradora de Gasoil y la ultima la depuradora de fuel. La depuradora se encarga de limpiar las impurezas que pueda haber dentro del fluido gracias a la acción de una fuerza centrífuga y la diferencia de densidades entre agua y el fluido a limpiar.

La depuradora de aceite se encarga de limpiar el aceite del tanque de circulación de aceite que alimenta al motor principal

La depuradora de gasoil es alimentada por una bomba que puede transferir el gasoil desde el tanque del almacén o el tanque de servicio. Aunque se suele depurar desde el tanque de almacén y dejarlo en el tanque de servicio una vez depurado.

La depuradora de Fuel Oil trasiega el combustible a través de una bomba desde los settling y lo pasa por un prefiltros antes de llegar a la depuradora. Una vez que el Fuel Oil ha sido depurado se dirige hacia el tanque de diario.

Los desechos de la limpieza de los distintos fluidos se dirigen hacia el tanque de lodos que se encuentra debajo de las depuradoras.

IV.- METODOLOGÍA

Ilustración 29: Vista de la sala de depuradoras desde proa



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas depuradora de Fuel Oil

Tabla 23: Características técnicas de la depuradora

Depuradora	
Marca	Westfalia
Modelo	OSD 18-0136-067/18
Capacidad	1800 l/h
Temperatura optima	98°C
Velocidad	11500 rpm

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

Tabla 24: Características técnicas del calentador

Calentador	
Marca	Westfalia
Voltaje	440 V
Potencia	48 kW
Temperatura de trabajo	170°C
Presión de trabajo	15 bar
Volumen	78 l

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

Tabla 25: Características técnicas del motor eléctrico de la depuradora

Motor eléctrico	
Marca	ABB Motors
Modelo	M2AA 132 SB-2
Voltaje	440-480 V
Intensidad	14.4 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	8.6 kW
Factor de potencia	0.89
Velocidad	3460 rpm

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

Características técnicas depuradora de Gas Oil

Tabla 26: Características técnicas de la depuradora

Depuradora	
Marca	Westfalia
Modelo	OSD 18-0136-067/18
Capacidad	1800 l/h
Temperatura optima	98°C
Velocidad	11500 rpm

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

Tabla 27: Características técnicas del calentador

Calentador	
Marca	Westfalia
Voltaje	440 V
Potencia	48 kW
Temperatura de trabajo	170°C
Presión de trabajo	15 bar
Volumen	78 l

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

IV.- METODOLOGÍA

Tabla 28: Características técnicas del motor eléctrico de la depuradora

Motor eléctrico	
Marca	ABB Motors
Modelo	M2AA 132 SB-2
Voltaje	440-480 V
Intensidad	14.4 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	8.6 kW
Factor de potencia	0.89
Velocidad	3460 rpm

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

Características técnicas depuradora de aceite

Tabla 29: Características técnicas de la depuradora

Depuradora	
Marca	Westfalia
Modelo	OSD 18-0136-067/18
Capacidad	1800 l/h
Velocidad	11500 rpm

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

Tabla 30: Características técnicas del calentador

Calentador	
Marca	Westfalia
Voltaje	440 V
Potencia	48 kW
Temperatura de trabajo	170°C
Presión de trabajo	15 bar
Volumen	78 l

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

Tabla 31: Características técnicas del motor eléctrico de la depuradora

Motor eléctrico

Marca	ABB Motors
Modelo	M2AA 132 SB-2
Voltaje	440-480 V
Intensidad	14.4 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	8.6 kW
Factor de potencia	0.89
Velocidad	3460 rpm

Fuente: "Manual 15.3: Depuradoras" [13]

4.1.3.2.3.- Tecele superior zona motor principal

- Modulo booster

El módulo booster es el encargado de controlar la temperatura y viscosidad a la que el fuel entra al motor principal porque si no las bombas de inyección y los inyectores se tupirían y no podrían inyectar el fuel debido a que a temperatura ambiente es demasiado viscoso.

El módulo booster funciona por dos etapas:

- La primera etapa se encarga de coger el fuel oil del tanque de diario y almacenarlo a presión en el mixing tank que este a si vez recoge el fuel no utilizado en los inyectores.
- La segunda etapa recoge el fuel oil del mixing tank lo vuelve a aumentar de presión y lo introduce por unos calentadores. Una vez que ha pasado por los calentadores se dirige o bien hacia el filtro del motor principal o si el caudal es mayor que el solicitado lo devuelve al tanque de diario

Ilustración 30: Modulo booster



Fuente: Trabajo de campo

IV.- METODOLOGÍA

Características técnicas

Tabla 32: Características técnicas del módulo booster

Modulo	
Temperatura máxima de salida	150°C
Capacidad	1194 l/h
Viscosidad	380 cts

Fuente: "Manual 14.2: Módulo de combustible" [14]

Tabla 33: Características técnicas de la bomba de circulación

Bomba de circulación	
Marca	AC-Motoren GmbH
Modelo	AC 90I-4
Velocidad	1168 rpm
Voltaje	440 V

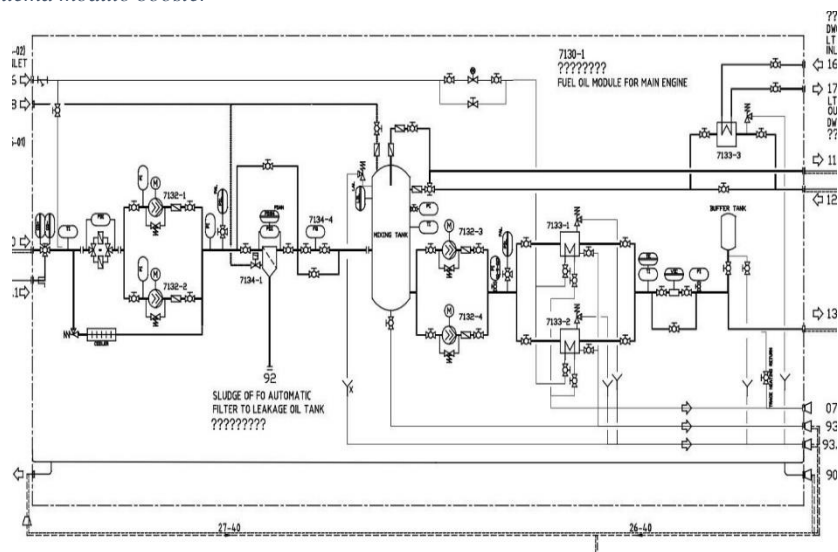
Fuente: "Manual 14.2: Módulo de combustible" [14]

Tabla 34: Características técnicas de la bomba de presión

Bomba de presión	
Marca	AC-Motoren GmbH
Modelo	FCA 100L-4
Velocidad	1705 rpm
Voltaje	440 V

Fuente: "Manual 14.2: Módulo de combustible" [14]

Ilustración 31: Esquema módulo booster



Fuente: "Manual 14.2: Módulo de combustible" [14]

- Evaporador

Es el dispositivo encargado de producir el agua dulce que se utiliza dentro del buque. Su sistema funciona generando vacío dentro de él, se le añade agua salada a la zona del evaporador, como se encuentra en vacío la temperatura de evaporación del agua es mucho menor entonces gracias al calor suministrado por el agua HT del motor principal el agua salada se evapora. El vapor pasa por un filtro y se condensa gracias a un enfriador donde fluye agua salada. La salmuera se elimina gracias a un eyector que también es el encargado de generar el vacío.

Características técnicas

Tabla 35: Características técnicas del evaporador

Marca	Alfa laval
Modelo	JWP-26-C80
Presión	6 bar
Caudal	16 m ³ /24h

Fuente: "Manual 16: Generador de agua dulce" [9]

Ilustración 32: Vista del evaporador



Fuente: Trabajo de campo

- Enfriador de HT

El HT es el agua encargada de refrigerar los inyectores y las camisas del motor principal y una vez que ha absorbido el calor este mismo debe de disiparlo. Para ello se utiliza este enfriador. Es un enfriador de placas por el que pasa el HT de arriba abajo y el LT de abajo a arriba, por lo que es un enfriador de placas de contraflujo. Se utiliza este tipo de enfriador porque es el más eficaz en la disipación del calor del fluido que se quiere refrigerar. El HT es bombeado gracias a una bomba centrífuga acoplada a popa del motor principal por lo que si el motor se encuentra parado no hay circulación del agua de refrigeración.

Ilustración 33: Enfriador de HT



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 36: Características técnicas del enfriador de HT

Tipo	Enfriador de placas
Marca	Tranter phe ab
Modelo	GXD-42-N
Presión de trabajo	1-6 bar
Ratio de temperatura de trabajo	0-110°C
Volumen	184.36 l
Peso	1609 kg

Fuente: "Manual 61: Intercambiador de calor" [8]

- Bombas de circulación LT

Estas bombas son las encargadas de distribuir el LT allá donde se necesite, como enfriador de aceite, enfriador de los motores auxiliares, etc. Por lo que es necesario un alto caudal y una alta capacidad de movimiento agua. Este sistema posee 3 bombas y al igual que el sistema de agua salada dos de ellas son para navegación y una de ellas es para puerto donde se requiere menos cantidad de caudal debido a que la mayor cantidad de sistemas esenciales se encuentran apagados.

Ilustración 34: Bombas de circulación de agua de refrigeración LT



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas

Tabla 37: Características técnicas bombas de circulación de LT principales

Bomba	
Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Modelo	250-200/315-15
Caudal	436 m ³ /h
Altura	30.6 m
Altura máxima	38 m
Consumo	50 kW
Velocidad	1770 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

IV.- METODOLOGÍA

Tabla 38: Características técnicas del motor eléctrico de la bomba principal

Motor	
Marca	ABB Motors
Modelo	M3AA200MLC-4
Voltaje	440 V
Intensidad	86 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	51 kW
Factor de potencia	0.85
Velocidad	1770 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Características técnicas bomba de circulación de LT auxiliar

Tabla 39: Características técnicas bomba de circulación LT auxiliar

Bomba	
Marca	Speckpumpen D-91161 Hilpolstein
Modelo	125-100/250/AZ
Caudal	210 m ³ /h
Altura	25.5 m
Altura máxima	30 m
Consumo	19.5 kW
Velocidad	1740 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

Tabla 40: Características técnicas del motor eléctrico de la bomba auxiliar

Motor	
Marca	ABB Motors
Modelo	M3AA160LB-4H0
Voltaje	440 V
Intensidad	37 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	21 kW
Factor de potencia	0.85
Velocidad	1740 rpm

Fuente: "Manual 11: bombas de distintos tipos" [7]

- Thermal Oil Heater

Este buque dispone de dos calderas. Una de mechero cuando nos encontramos en puerto y otra EGH (Exhaus Gas Heater) que se utiliza cuando el motor principal se encuentra en marcha. Usualmente se utiliza el vapor de agua para calentar los distintos sistemas esenciales como los tanques de F.O. o la entrada de las depuradoras, pero en este buque se utiliza aceite térmico a alta temperatura por lo que es menos peligroso su funcionamiento. El aceite una vez que ha sido calentado alrededor de unos 190 °C se hace pasar por un enfriador que le rebaja su temperatura alrededor de unos 10°C.

Ilustración 35: Modulo del Thermal Oil Heater



Fuente: Trabajo de campo

- Compresores

Los compresores tienen dos objetivos. Suministrar el aire de arranque de los motores auxiliares y el motor principal y suministrar el aire de servicio para los distintos sistemas que lo requieran. Posee dos tanques uno para los compresores principales y otro para el compresor de emergencia. Los tanques son: uno de 500 L para los motores principales y otro de 250 L para los motores de emergencia.

Ilustración 36: Vista de los compresores desde estribor



Fuente: Trabajo de campo

Características técnicas compresor principal tipo WP 33L

Tabla 41: Características técnicas de los compresores principales

Capacidad de llenado	38m ³ /hora
Presión de trabajo	30 bar
Máxima presión de trabajo	40 bar
Velocidad	1750 rpm
Potencia requerida	7.8 kW
Tiempos	2
Cilindros	2
Refrigeración	Por aire
Disipación del calor	8.6 kJ/seg
Temperatura ambiente	5°C-55°C
Inclinación máxima admisible	22.5°
Peso	145 kg
Unidad de ruido a 1 metro de distancia	88 dB
Capacidad de aceite en el cárter	1.5 l

Fuente: "Manual 20.1: Compresores" [15]

Características técnicas del compresor auxiliar

Tabla 42: Características técnicas del compresor de emergencia

Capacidad de llenado	18m ³ /hora
Presión de trabajo	30 bar

Máxima presión de trabajo	40 bar
Velocidad	1750 rpm
Potencia requerida	4.1 kW
Tiempos	2
Cilindros	2
Refrigeración	Por aire
Disipación de calor	4.5 kj/seg
Temperatura ambiente	5°C-55°C
Inclinación máxima admisible	22.5°
Peso	120 kg
Unidad de ruido a 1 metro de distancia	86 dB
Capacidad de aceite en el cárter	1.5 l

Fuente: "Manual 20.1: Compresores" [15]

- Taller mecánico

El taller posee una mesa con un tornillo de banco, a su lado una electro-esmeriladora, también se encuentra una mesa para hacer trabajos de soldadura o trabajos que necesiten utilizar una radial, un taladro de columna, también un torno y se encuentran los cubos de basura para su correcta eliminación. En el taller podemos encontrar todas las herramientas para los trabajos que se realizaran abordo. Todos los trabajos que se puedan realizar en el taller de reparación de piezas, mantenimiento de bombas y distintos elementos se harán en el taller donde será más fácil realizarlos.

Ilustración 37: Vista del taller mecánico desde proa



Fuente: Trabajo de campo

IV.- METODOLOGÍA

Ilustración 38: Vista del taller mecánico desde popa



Fuente: Trabajo de campo

- Taller eléctrico

En este taller se encuentra todo lo necesario para la reparación de equipos eléctricos y los respetos necesarios para el mantenimiento de estos.

Ilustración 39: Vista del taller eléctrico



Fuente: Trabajo de campo

- Pañol de la sala de máquinas.

En el pañol se encuentran los respetos de la sala de máquinas. Desde tuercas hasta tornillos pasando por válvulas y bridas.

Ilustración 41: Vista del pañol desde popa



Fuente: Trabajo de campo

Ilustración 40: Vista del pañol de máquinas desde estribor



Fuente: Trabajo de campo

4.1.3.2.4.- Engine control room

En el engine control room encontramos todos los dispositivos para controlar los distintos equipos remotamente, a su vez, disponemos de un ordenador para controlar las tareas de mantenimiento y los distintos trabajos.

- Control de energía

Disponemos del PLC de control de los dispositivos que generan electricidad como son

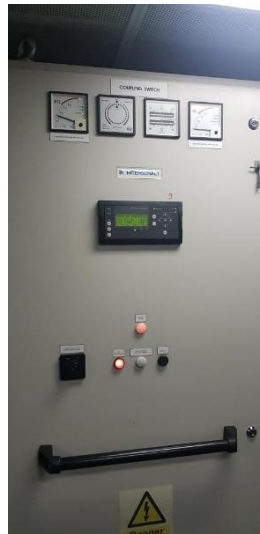
IV.- METODOLOGÍA

los generadores auxiliares y el generador de cola. Cuando estamos en maniobra se utilizan los motores auxiliares para alimentar los distintos sistemas del buque y el generador de cola se encarga de alimentar la carga de las bodegas y las hélices transversales.

Para realizar esa separación de la planta se utiliza el couplin switch.

Gracias a este dispositivo podemos desconectar una parte del circuito.

Ilustración 42: Coupling switch



Fuente: Trabajo de campo

A su lado nos encontramos con los controladores de los motores auxiliares.

Ilustración 43: Cajones de los motores auxiliares



Fuente: Trabajo de campo

En estos cajones podemos arrancar y parar los auxiliares, acoplarlos a la línea y

desacoplarlos, controlar la carga que está soportando cada uno de ellos y la frecuencia a la que están. En medio del controlador del auxiliar numero 1 encontramos un autómata que realiza los cambios de planta automáticamente acoplando y desacoplando el coupling switch y arrancando los motores auxiliares necesarios para aguantar la carga que les corresponda.

- Panel de la sala de maquinas

En este panel se controlan todos los valores del motor principal, se arrancan las bombas, se controla la CPP, etc. Este panel esta única y exclusivamente dedicado a todo lo que repercute en la propulsión.

Ilustración 44: Panel de control de la sala de maquinas



Fuente: Trabajo de campo

- Water Mist

El water mist es el sistema de detección de incendios de la sala de máquinas, se encarga de hacer saltar los rociadores cuando detecta una llama durante 10 segundos ininterrumpidos y hace saltar la alarma de incendio a bordo del buque.

Ilustración 45: Panel del Water mist



Fuente: Trabajo de campo

4.1.3.3.- Motor principal

El motor principal es un motor MAK 12VM32C, de la casa Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG. Es un motor diésel de 4 tiempos, no reversible, con inyección directa de fuel y sobrealimentado con dos turbocompresores accionados con los gases de escape. Tiene 12 cilindros dispuestos en V.

El motor puede funcionar con Fuel Oil y con Gas Oil. Se suele usar fuel por temas económicos, aunque por otra parte si se usara Gas Oil se ahorraría en averías. El bloque motor está formado por una pieza de acero fundido que incorpora los cojinetes del cigüeñal, cojinetes de eje de levas, la cámara de aire de barrido y las cavidades para el amortiguador de vibraciones y para los piñones de transmisión.

Todos los puntos de engrase del motor están conectados al circuito de aceite de lubricación mediante un tanque de circulación. El aceite enviado a los bulones de los émbolos también sirve para refrigerarlos. Las camisas de los cilindros, culatas, cajas de válvulas y turbocompresores son refrigerados por agua dulce.

El sistema de agua dulce de refrigeración del motor es un circuito cerrado de agua con un volumen de agua en circulación que debe mantenerse siempre constante pues pueden producirse pérdidas por evaporación, el control de la cantidad de agua refrigerante será efectuado en el tanque de compensación, en caso de pérdidas se rellenará de agua dulce en el mismo tanque proveniente de los tanques almacén de agua dulce.

El motor está equipado con un sistema monitorizado de parada de emergencia, este sistema evita, tanto peligros para el usuario como daños en el motor.

Este sistema se activará si:

- La velocidad de giro es excesiva.
- La presión de aceite lubricante es demasiado baja.
- La temperatura del aceite de lubricación es demasiado alta.
- La presión del agua de refrigeración es demasiado baja.
- La temperatura del agua de refrigeración es demasiado alta.

{16}

Ilustración 47: Vista del motor principal desde proa



Fuente: Trabajo de campo

Ilustración 46: Vista del motor principal desde popa



Fuente: Trabajo de campo

Características principales del motor

Tabla 43: Características técnicas del motor principal

Disposición de cilindros	12V
Diámetro del pistón	320 mm
Carrera	420 mm
Grado de compresión	1.3
Cilindrada	33.8 l/cil
Potencia media por cilindro	500 kW
Presión media por cilindro	23.7 bar
Revoluciones	750 rpm
Velocidad media del embolo	10.5 m/s
Turbocompresores	Sistema de un solo conducto
Dirección de rotación	Horario
Potencia efectiva	6000 kW
Emisiones de NOx	12 g/kWh
Presión de aire de carga	150 bar
Presión de combustible	198 bar
Orden de encendido por cilindros	1-3. 5-6. 4-2
Aire de carga a 20°C	37500 m ³ /h
Temperatura de aire de carga	50°C
Temperatura de gases de escape a la salida de los turbocompresores	310-380°C

Fuente: "Manual 1.1: Motor principal" [16]

4.1.4.- Technical Room

La technical room se encuentra a proa del buque. En ella se encuentran distintos dispositivos específicos para la habilitación y otros dispositivos esenciales para el buque.

- Planta séptica

La planta séptica es la encargada del tratamiento de las aguas residuales del buque. Cada semana se le añaden dos pastillas de cloro para su correcto funcionamiento y se

comprueba que en el interior todo se encuentra en perfecto estado.

Ilustración 48: Planta séptica



Fuente: Trabajo de campo

- Planta frigorífica

La planta frigorífica es la encargada de administrar el frío a las gambuzas del buque.

Ilustración 49: Compresores de la planta frigorífica



Fuente: Trabajo de campo

- Compresores de aire acondicionado

Se encargan de comprimir el fluido refrigerante y después del compresor se encuentran los condensadores de aire-agua.

Ilustración 50: Compresores del aire acondicionado



Fuente: Trabajo de campo

- Hidrosforo

Su función es la de dar presión al agua de uso doméstico para que pueda llegar a toda la habitación hay dos hidrosforos, uno para el agua fría y otro para el agua caliente. El hidrosforo del agua fría posee mayor capacidad que el del agua caliente.

Su función es la de dar presión al agua de uso doméstico para que pueda llegar a toda la habitación hay dos hidrosforos, uno para el agua fría y otro para el agua caliente. El hidrosforo del agua fría posee mayor capacidad que el del agua caliente.

Ilustración 51: Hidrosforo



Fuente: Trabajo de campo

4.2.- Métodos de documentación

Para la realización de este proyecto podremos distinguir varios grupos de metodologías

4.2.1.- Documentación bibliográfica

La documentación utilizada en este trabajo se ha obtenido a partir de distintas fuentes en las que se incluyen páginas web, informes y manuales del buque. A demás, del conocimiento adquirido durante mi periodo de embarque en prácticas.

4.2.2.- Trabajo de campo

Para la realización de este trabajo he realizado un trabajo de campo dentro del buque donde he podido en tomar distintas fotos de los equipos y de la avería que surgió en el sistema que compete a este proyecto.

4.2.3.- Marco referencial

Consiste en el estudio de la hélice de paso variable que contiene el buque OPDR Andalucía, en el cual tuve la suerte de estar embarcado.

IV.- METODOLOGÍA

V.- RESULTADOS

V.- RESULTADOS

V.- RESULTADOS

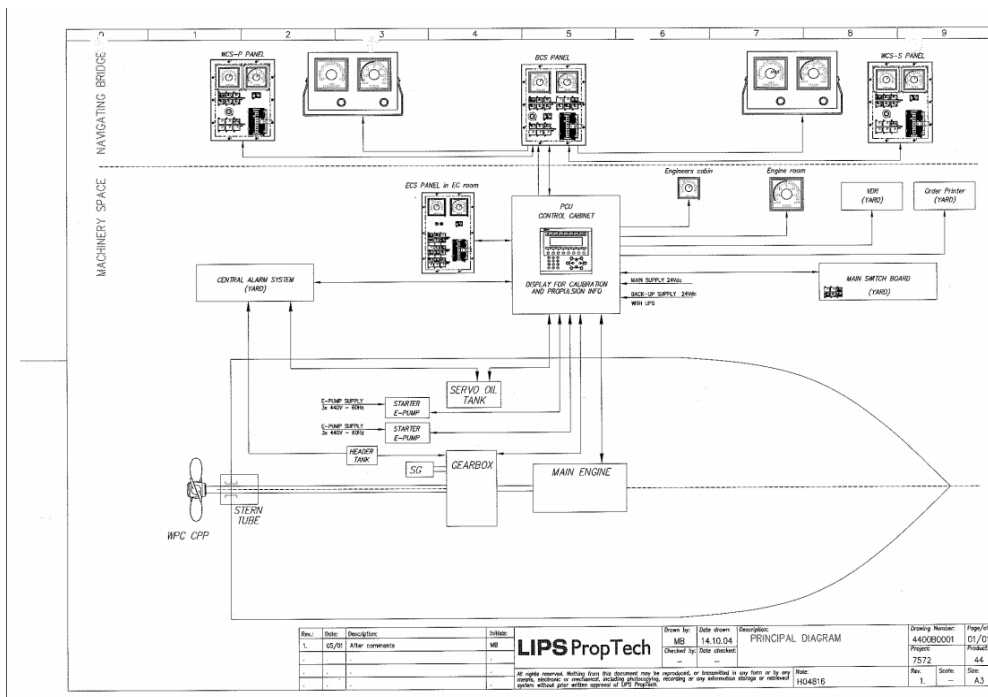
5.1.- Descripción del sistema

Las hélices de paso variable (CPP por sus siglas en inglés) se llaman así porque poseen palas que pueden cambiar su ángulo mientras la embarcación está navegando o en maniobra. Como el ángulo de la hélice se ha definido como la distancia que la hélice avanzaría en una revolución, esto significa que un cambio en el ángulo afectaría a la fuerza con la que se empuja al buque a través del agua.

En una hélice de paso fijo, las palas y el cubo se forjan en una misma pieza, mientras que en la CPP tiene palas separadas que se montan individualmente sobre el cubo. El ángulo de las palas cambia mediante el uso de un pistón dentro del eje que actúa sobre el cubo que a su vez actúa sobre las crucetas, que es la conexión entre el cubo y las palas de la hélice. Este pistón suele ser actuado por un sistema hidráulico, aunque antiguamente se utilizaban sistemas mecánicos.

Este sistema ofrece una serie de ventajas respecto a la hélice de paso fijo. Las hélices de paso fijo están diseñadas para cumplir con unas condiciones predefinidas en las que si se varían afecta en gran medida a su funcionamiento. Por otro lado, Las hélices de paso variable tienen un amplio rango de operatividad debido a que se puede ajustar el ángulo de las palas para cada condición en la que se encuentra el buque.

Ilustración 52: Esquema básico de la CPP



Fuente: "LT7000 CPP Basic electrical drawings" [17]

Un ejemplo sería los buques pesqueros, al dejar el puerto descargado pueden navegar en una posición de control que no comprometa al sistema de propulsión ni un alto consumo de combustible. Cuando se encuentran faenando pueden mantener velocidades lentas y cuando regresan a puerto con el buque cargado pueden navegar en un amplio rango de velocidades.

5.1.1.- Hélice

La hélice de paso variable consta de un cubo, las palas de la hélice, el eje, el sistema hidráulico y un control remoto.

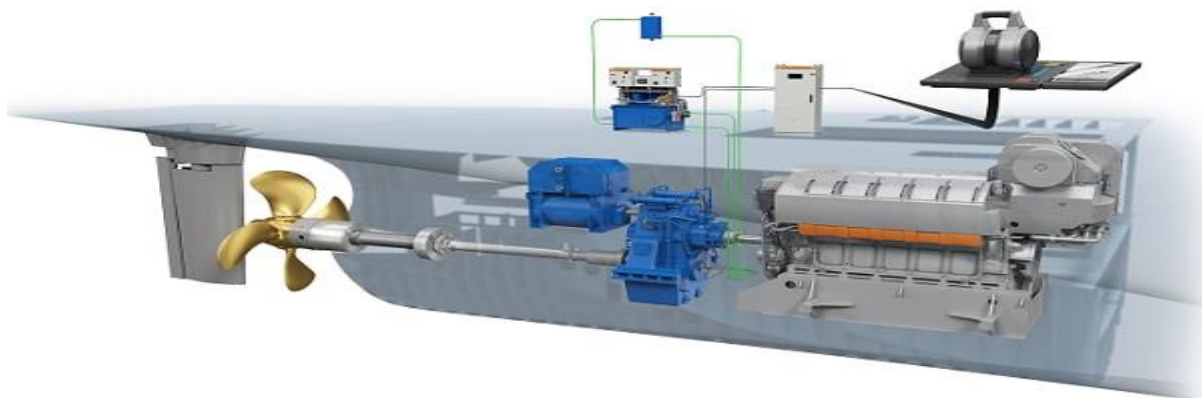
La hélice es fabricada por Wärtsilä Propulsion, consta de 4 palas del tipo CLT (movimiento oblicuo moderado) que giran en movimiento horario. El diámetro exterior de la hélice es de 4550 mm y el del núcleo de 1190 mm. Tanto el núcleo como las palas son hechas de bronce debido a su alta capacidad ante la corrosión. El modelo del núcleo es LIPS 4D/1190 y el modelo de la hélice es CPP21-20250-038-160M-A2A10SDS.

Las características principales del diseño son:

- Máxima eficiencia de propulsión en todas las condiciones de funcionamiento.
- Comportamiento excelente frente a la cavitación

{ 19 }

Ilustración 53: Vista general de los componentes de una hélice de paso variable



Fuente: “<https://www.wartsila.com>” [18]

Características técnicas

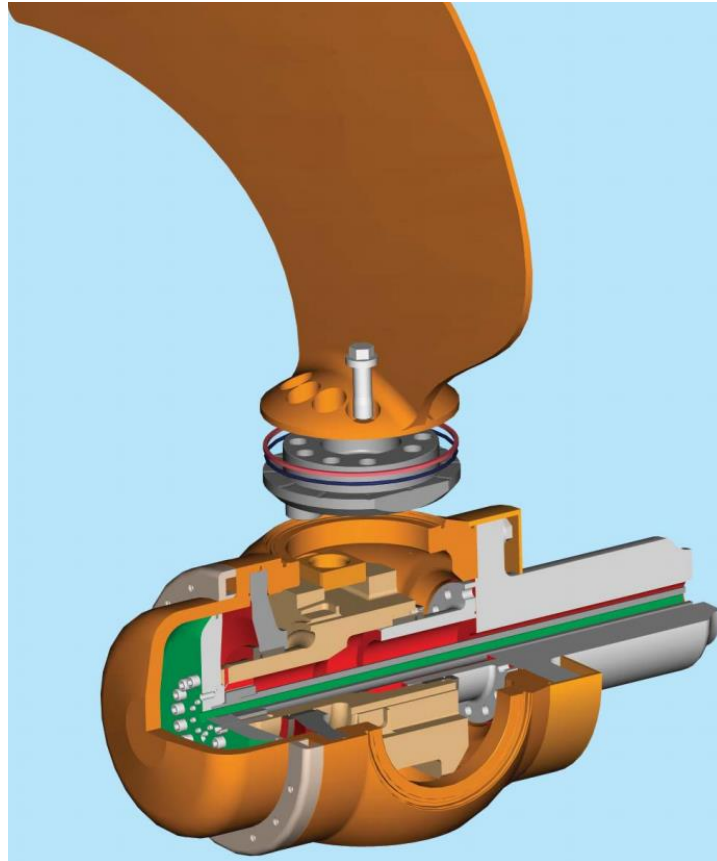
Tabla 44: Características técnicas de la hélice

Marca	Wartsila Propulsion
Modelo	CPP2-20250-038-160M-A2A10SDS
Sentido de giro	Horario
Diámetro exterior	4550 mm
Diámetro del núcleo	1190 mm

Material del núcleo y palas	Bronce
Pala tipo	CLT
Tipo de núcleo	Lips 4D/1190

Fuente: "Manual: MAWEI 433-1-2-3 CPP" [19]

Ilustración 54: Vista del cubo y pala de la hélice



Fuente: "https://www.wartsila.com" [18]

5.1.1.1.- Palas tipo CLT

Las palas CLT son un diseño español creadas por SISTEMAR. Este tipo de pala cuenta con unas placas de cierre en sus extremos, de forma que en el borde de la pala no existe una carga no nula, por lo que, evita que se generen torbellinos en sus extremos. La inexistencia de estos torbellinos propicia que las fuerzas fluctuantes de presión sean menores por lo que disminuye los niveles de ruidos y vibraciones.

{23}

5.1.2.- Eje de cola

El eje de cola conecta la hélice a la reductora. El componente principal del eje de cola es el eje de la hélice.

El cubo dentro de la hélice se encuentra conectado al eje de la hélice mediante pernos y tacos.

V.- RESULTADOS

El extremo delantero del eje esta reforzado por un casquillo interno que contrarresta las fuerzas a las que está sometido el cubo.

El eje es hueco y en su interior contiene insertos de tubería hidráulica, que comprendes dos tuberías concéntricas. Un tubo de aceite móvil interno y un tubo de aceite estacionario externo. El tubo móvil interno conecta el yugo del cilindro interno en el cubo con el mecanismo de retroalimentación de la OD-Box. Consigue transmitir la posición del yugo dentro del cilindro por lo tanto la posición de la cuchilla. El aceite fluye a través de esta tubería hacia el cilindro delantero.

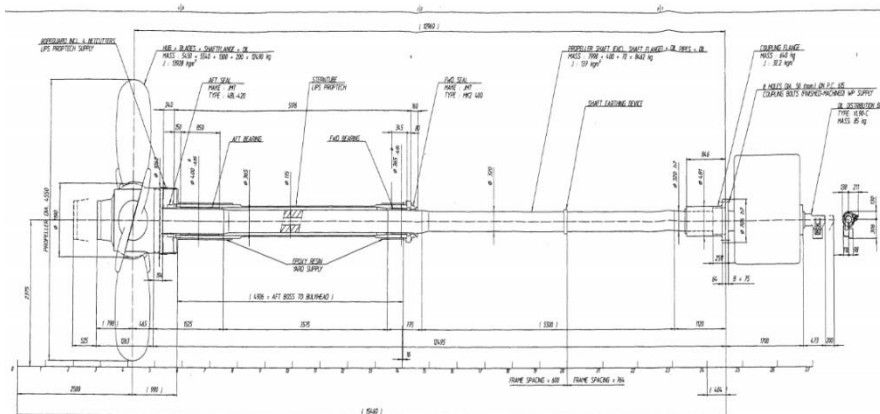
El aceite fluye hacia el compartimento delantero del cilindro a través del tubo móvil interno y hacia la parte trasera del compartimento del cilindro a través del tubo estacionario exterior.

Hay un tercer conducto entre el tubo estacionario y el orificio interior del eje. Este conducto conecta el cubo con la OD-Box y su objetivo es lubricar el cubo y mantener la cavidad del cubo bajo presión estática.

El tubo interno posee una válvula de bloqueo incorporada que se encarga de mantener el ángulo en situaciones en las que se desea mantener el ángulo de las palas de la hélice por ejemplo cuando nos encontramos en navegación con el mar en calma, también lo mantiene el paso cuando se encuentra en la posición de emergencia. Es una válvula de no retorno automatizada y se acciona mediante presión, controlada directamente por la presión de aceite dentro de la tubería. La válvula de bloqueo se encuentra en el eje de salida de la reductora.

{19}

Ilustración 55: Plano general del eje de cola



Fuente: "Manual: MAWEI 433-1-2-3 CPP" [19]

Características técnicas

Tabla 45: Características técnicas del eje de cola

Marca	Lips Proptech
Longitud	12960 mm
Acople	FC 320
Peso del acople	640 kg

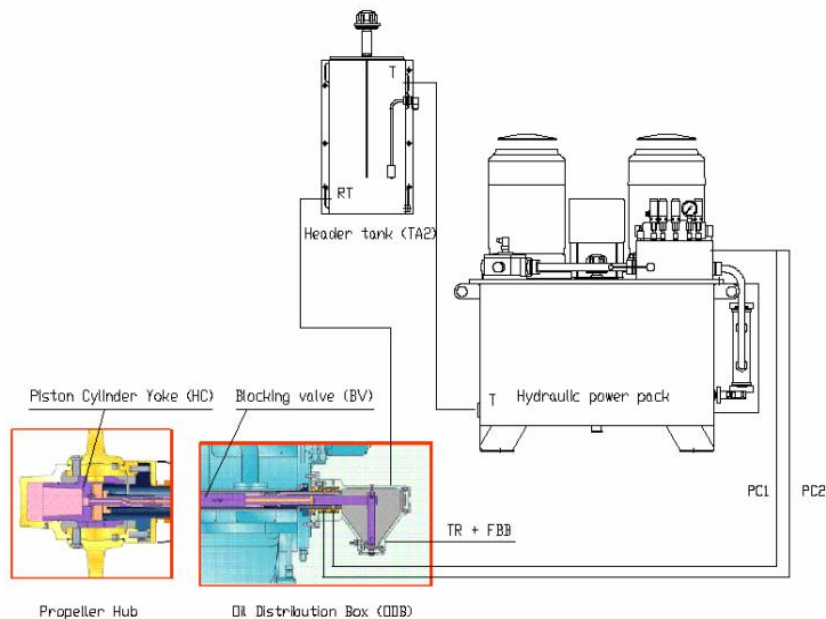
Fuente: "Manual: MAWEI 433-1-2-3 CPP" [19]

5.2.- Sistema hidráulico

Un sistema hidráulico con tanque de alimentación y tanque de expansión se encarga del control del paso de la hélice mediante presión hidráulica y la lubricación del cubo de la hélice. Dos bombas de similar tamaño accionadas eléctricamente, una principal y otra de reserva se encargan de generar la presión de aceite necesario. También se puede encontrar la bomba principal accionada mecánicamente acoplada a la reductora.

Cuando las bombas son accionadas eléctricamente están montadas en un tanque de aceite, formando el paquete de energía hidráulica (Power pack). El tanque de expansión esta situado a un nivel previamente calculado encima de la línea de flotación, asegurando que siempre la presión dentro del cubo que se encarga de proporcionar el movimiento para dar el ángulo de las palas de la hélice exceda la presión del agua circundante para evitar la entrada del medio en el que se encuentra el buque dentro del sistema

Ilustración 56: Esquema hidráulico del Power Pack



Fuente: "Manual: Produc description hydraulic power pack" [20]

El sistema hidráulico consta de los siguientes elementos:

- Disposición de pistón-cilindro-yugo dentro del cubo de la hélice
- Tuberías de aceite en los ejes con válvula de bloqueo en la tubería de aceite en movimiento.
- OD-Box con indicador del ángulo.
- Paquete de energía hidráulica con su equipo.

{20}

5.2.1.- Suministro de aceite y lubricación

El sistema de energía hidráulica está integrado en el Power pack.

El sistema consta principalmente de:

- Un tanque de aceite hidráulico: El tanque está diseñado para almacenar la cantidad necesaria de aceite para el ajuste de la inclinación. Como seguridad se verifica el nivel de aceite con una varilla medidora con la planta apagada. A su vez, posee un interruptor de nivel que activa una alarma cuando detecta bajo nivel de aceite.
- Dos bombas de aceite de engranajes accionadas eléctricamente: Ambas bombas son idénticas por lo que una debe de seleccionarse como principal y la otra cambia automáticamente al modo Espera. La bomba que se encuentra seleccionada como principal proporciona aceite presurizado para el ajuste de la inclinación. Cuando la bomba principal suministra una presión demasiado baja o falla, la automatización de la bomba en reposo la inicia automáticamente. Se recomienda cambiar la bomba principal a reserva y viceversa para mantener ambas bombas siempre en buen estado.

Características técnicas

Tabla 46: Características técnicas de la bomba

Bomba	
Marca	Lips proptech
Modelo	VL90C
Consumo	11kW

Fuente: "Manual: Produc description hydraulic power pack" [20]

Tabla 47: Características técnicas del motor de la bomba

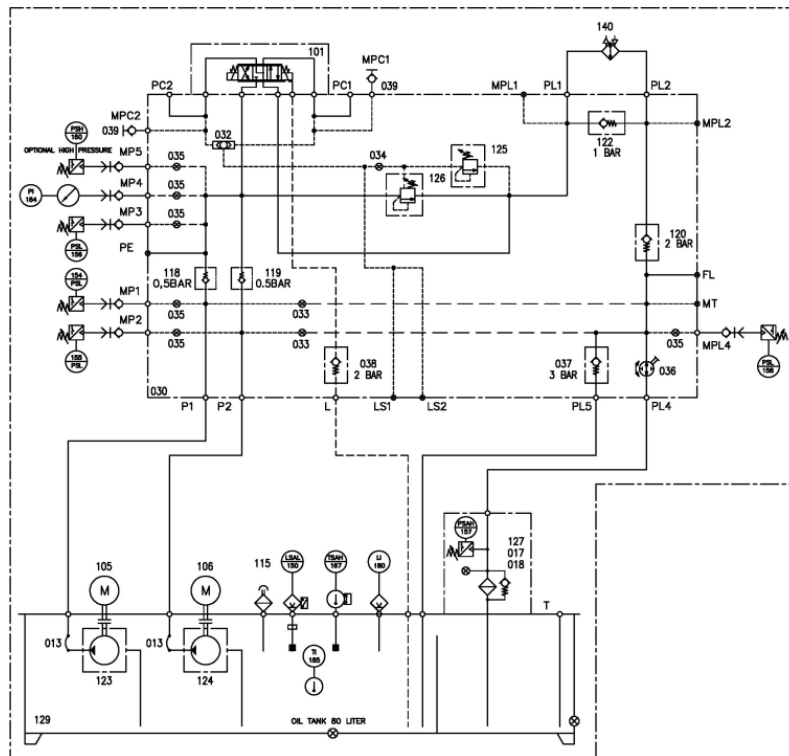
Motor	
Marca	AC-Motoren GmBH D-63110 Rodgau
Modelo	FOM 160M3-4
Voltaje	660-720V
Intensidad	21.1 A
Frecuencia	50Hz
Potencia	13.2 kW
Factor de potencia	0.84
Velocidad	1460rpm

Fuente: "Manual: Produc description hydraulic power pack" [20]

- Tanque de expansión: Se sitúa a un nivel prescrito sobre la línea de flotación para asegurar que la presión de aceite dentro del sistema exceda siempre la presión del agua circundante y por lo tanto evita la entrada de agua en el sistema y lo mantiene sellado.
- Presostatos: Los presostatos indican el estado del sistema hidráulico. Se encuentran tres presostatos en el sistema, dos se encargan de encender la bomba de reserva cuando se detecta una baja presión en el circuito y la última te indica una alarma de baja presión.
- Válvula proporcional de 4/3: Esta válvula se usa para el ajuste de la inclinación de las palas de la hélice y se activa eléctricamente gracias a la unidad de control.
- Manómetro: La presión de aceite dentro del circuito se puede comprobar mediante a este manómetro.
- Enfriador de aceite: Existen dos posibles enfriadores, un enfriador de placas con LTFW para mantener una temperatura correcta en todo el circuito de aceite que es el más utilizado y ocasionalmente se suele usar un enfriador de haz tubular que utiliza agua salada por lo que está preparado para ello para que no le afecte la corrosión.
- Un filtro de retorno: El filtro de retorno se encarga de eliminar las impurezas del aceite cuando retorna al power pack. El filtro posee una válvula de derivación para permitir el intercambio de un filtro sucio durante su funcionamiento para evitar la interrupción. También hay una alarma que indica que el filtro de aceite esta obstruido

{20}

Ilustración 57: Esquema hidráulico de la CPP



Fuente: “Manual: Produc description hydraulic power pack” [20]

5.2.2.- Ajuste del paso de la hélice

La presión de aceite necesaria para establecer el paso de la hélice depende de la hidrodinámica, las características y las revoluciones del eje.

Para ajustar el paso de la hélice la unidad de control manda una señal eléctrica a la válvula proporcional de 4/3 para el control del ángulo mediante señal eléctrica variable. La bomba de aceite hidráulico suministra aceite a la cámara seleccionada de la OD-Box. El aceite fluye a través del tubo de aceite interno o externo, dependiendo de la configuración, al lado del pistón seleccionado del cubo. El aceite del otro lado del pistón fluye a través del otro tubo y la OD-Box y la válvula proporcional se encargan de retornarlo de nuevo al tanque. Gracias a la válvula proporcional de 4/3 mantiene sin variar la tasa del cambio de la hélice por la constante diferencia de presión sobre la válvula.

Por seguridad un sistema que detecta la presión de aceite reduce la presión a la mínima requerida. Por otro lado, el sistema ajusta una caída de presión constante requerida a través de la válvula de 4/3 para proporcionar un comportamiento de control estable.

Este sistema de detección de carga consta de una válvula de doble efecto y actúa directamente sobre una válvula reguladora de presión

Desde la válvula reguladora de presión una pequeña cantidad de aceite fluye constantemente a través de la válvula de doble efecto a la línea de alimentación delantera o trasera a la hélice. La válvula de doble efecto se conecta a la línea con mayor presión. La detección de carga se ajusta aproximadamente a 6 bar.

Ahora se pueden distinguir tres posibles situaciones:

- **El sistema está en reposo:** La válvula proporcional de 4/3 no funciona y la presión de las salidas de la válvula de doble efecto se alivian porque la válvula proporcional está en su posición media que esta posición está conectada a la línea de retorno al tanque. El yugo en el cubo se mantiene en su posición requerida por una válvula de bloqueo.
- **El sistema está cambiando el ángulo:** La válvula proporcional se activa y una de las líneas de la válvula de doble efecto está conectada a la bomba de aceite. Se detectará la presión de reposo inmediatamente en la línea de alimentación. En consecuencia, la válvula reguladora de presión se mantendrá cerrada. La presión de la bomba aumentará hasta que el yugo del cilindro en la hélice este en movimiento. Como resultado de la caída de presión la presión a la que está regulada la válvula reguladora de presión, la válvula de alivio mantendrá siempre la presión de la bomba mayor que la presión del sistema. Por motivo de la caída de presión sobre la válvula proporcional de 4/3 se mantendrá a un nivel constante aproximadamente entre 8-12 bar independientemente del flujo a través de la válvula.
- **Se alcanza la presión de seguridad:** Cuando se alcanza una presión en la línea de alimentación extremadamente alta, por ejemplo, cuando el pistón esta al final de su carrera, la presión que actúa sobre la válvula reguladora de presión comprime el muelle por lo que la válvula se abre y la sobre presión en la línea es liberada, una vez que se libera la presión la válvula vuelve a su posición original.

{20}

5.2.3.- OD-Box (Caja de distribución de aceite)

La OD-Box es una caja estacionaria que se encarga de distribuir el aceite de un circuito lineal a un circuito lineal giratorio con una retroalimentación. Se encuentra delante del eje de la reductora y se encarga del suministro y distribución del aceite para el accionamiento del paso de la hélice.

El aceite fluye a través de la OD-Box y entra en el eje por dentro y fuera de los compartimentos del yugo del cilindro del cubo y la cavidad del cubo. El tubo de aceite interno, conectado al yugo del cilindro del cubo, realimenta el paso real de la hélice a la caja de retroalimentación. Este mecanismo consta de anillo deslizante y husillo, está conectado a dos potenciómetros lineales y un puntero mecánico. Estos potenciómetros y punteros retroalimentan e informan sobre la posición real del paso de la hélice.

{19}

5.2.4.- Aceite hidráulico

El aceite hidráulico utilizado en el sistema al que se dirige este estudio se trata del TELEX HVLP.

Para la producción de este aceite se han usado productos sometidos a un cuidadoso proceso de refinado para conseguir altos índices de viscosidad y una gran resistencia a la oxidación. Los aditivos añadidos, además de mejorar estas características naturales, confieren a estos aceites unas propiedades antidesgastes y de comportamiento excepcionales frente a la temperatura.

Es un aceite específico para circuitos hidráulicos sometidos a fuertes cambios de temperatura y en los que además se exige al aceite una alta capacidad antidesgaste.

Cualidades

- Gran resistencia a la oxidación, envejecimiento y formación de lodos.
- Excelente separación del agua.
- Magníficas propiedades antidesgaste.
- Muy buenas cualidades antiespumantes.
- Muy alto índice de viscosidad.
- Excelente protección de los metales contra la corrosión.
- Compatibilidad con las juntas utilizadas habitualmente en los circuitos hidráulicos.
- Gran capacidad para soportar carga.

El aceite posee los siguientes niveles de calidad.

- DIN-51524 Parte 3 HVLP.
- ISO 6743/4 HV
- ISO 11158
- MAG IAS P-68 (ISO 32); P-69(ISO-68); P70(ISO-46)
- AFNOR NF E 48-603 HV.
- FILTRABILIDAD AFNOR (NF E 48-690 y 48-691)
- Eaton Vickers I-286-S y M-2950-S.

{21}

Ilustración 58: Características técnicas del aceite hidráulico

Características técnicas

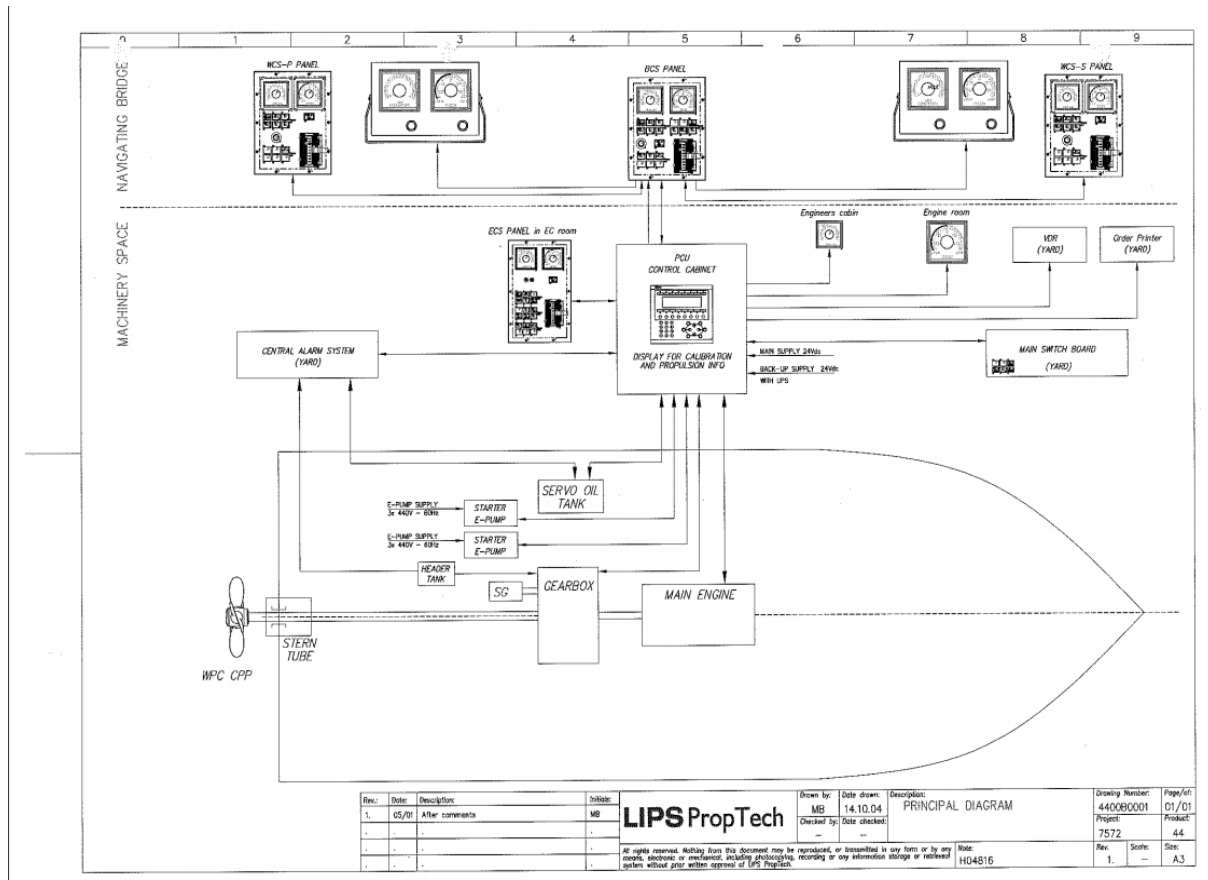
	UNIDAD	METODO	VALOR				
Grado ISO VG			15	22	32	46	68
Viscosidad a 100 °C	cSt	ASTM D 445	4,0	4,9	6,2	8,2	11,3
Viscosidad a 40 °C	cSt	ASTM D 445	15	22	32	46	68
Indice de Viscosidad		ASTM D 2270	145	150	150	150	150
Densidad a 15 °C	g/cm ³	ASTM D 4052	0,859	0,864	0,868	0,871	0,879
Punto de inflamación	°C	ASTM D 92	195	205	205	210	230
Punto de congelación	°C	ASTM D 97	-45	-39	-33	-33	-33
Desemulsión a 54 °C	min.	ASTM D 1401	<25	<25	<25	<30	<45
Resistencia a la herrumbre, A y B		ASTM D 665	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
Aeroemulsión a 50 °C	min.	ASTM D 3427	<1	<2	<2	<4	<5
Corrosión al cobre 3h a 100 °C		ASTM D 130	1b	1b	1b	1b	1b
TAN	mg KOH/g	ASTM D 664	0,5	0,5	0,38	0,38	0,38
Oxidación, NN a 2000 h	mg KOH/g	ASTM D 943	2 máx.	2 máx.	2 máx.	2 máx.	2 máx.
FZG, Escalón de daños		DIN 51354	11	11	12	12	12

Fuente: "repsol.com" [21]

5.3.- Sistema eléctrico

El sistema eléctrico es el encargado de suministrar la electricidad necesaria al Power pack y de enviar la señal que activa la actuación de las bombas y la válvula de 4/3 desde el puente o el control de máquinas. Si la señal falla siempre se posee de una salvaguarda para poder actuar las palas manualmente en la válvula de 4/3.

Ilustración 59: Esquema eléctrico básico



Fuente: "LT7000 CPP Basic electrical drawings" [17]

5.3.1.- Señal

La señal para la actuación de la CPP se envía desde el mando de la velocidad del buque desde el puente. Pero antes de llevar la información al Power pack para cambiar el ángulo de la manera adecuada pasa por el HMI.

5.3.1.1.- HMI

El terminal E-300 se utiliza como interfaz estándar de maquina humano.

Como se muestra en la siguiente ilustración, contiene pantalla y teclas de operación.

Ilustración 60: HMI E-300



Fuente: "Manual: LT700 basic HMI complete description" [22]

Además de los instrumentos tradicionales y las luces indicadoras, el terminal también presenta datos de procesos. También se puede utilizar para controlar funciones especiales como ReductionZone. Toda la calibración del sistema de la CPP debe de realizarse desde este terminal.

El HMI está conectado a la PCU y está montado en la puerta de entrada del cajón que se encarga de la propulsión.

El terminal es una unidad integrada con pantalla, teclado numérico, botones de funciones y luces indicadoras.

Con un terminal se pueden realizar tres tareas importantes.

- Presentación de los datos del proceso.
- Activación e instalación de funciones en el sistema de control remoto.
- Configuración del sistema.

Presentación de datos

Las pantallas en el terminal están estructuradas de modo que la página principal muestra datos

de los procesos en todo el sistema.

Para poder mostrar más información hay que dirigirse a subpáginas que presentan los datos disponibles sobre la función seleccionada o la unidad física.

Página principal

Esta página representa los siguientes valores

- Pitch resp and order: Estos campos representan el ángulo demandado controlado y el porcentaje actual del ángulo.
- Rpm resp and order: Estos campos representan las revoluciones en las que se encuentra el motor principal y las revoluciones demandadas.
- Pitch%: Indica la retroalimentación del ángulo de la pala de la hélice.
- PropRpm: Indica las revoluciones de la hélice.
- EngRpm: Indica las revoluciones del motor principal.
- Carga mm: Presenta la cantidad de cremallera con la que está funcionando el motor.
- Load%: Indica el porcentaje de carga con la que está trabajando el motor principal.

{22}

Ilustración 61: Página principal del HMI

PROPELLER	STATE	ENGINE
Resp: BCS	Clutch1: IN	Resp: BCS BCS
Order: 99.5%	Clutch2: IN	Order: 100 100%
Pitch: 97.8%	Gearnode: OFF	Rpm: 760 760
Pitch: 1.03 P/D	Redzone: AUT	Load: 40 40 mm
Rpm: 129	Red: 3%	Load: 99 99%

Fuente: "Manual: LT700 basic HMI complete description" [22]

5.4.- Mantenimiento

Debido a que la CPP es un equipo crítico se recomienda por el fabricante realizar un mantenimiento exhaustivo que mantenga en las condiciones necesarias de operatividad del sistema en todas las circunstancias de manejo.

5.4.1.- Mantenimiento diario

- Condición en funcionamiento
 - Verificar las condiciones generales de funcionamiento (ruido inusual, vibraciones, fugas, etc.).

- Comprobar las presiones de aceite del sistema hidráulico y compararlo con los datos de ajuste.
- Condición en parado
 - Comprobar visualmente los filtros.
 - Power pack
 - Verificar la temperatura del aceite hidráulico.
 - Verificar el nivel de aceite con la varilla medidora.

5.4.2.- Mantenimiento mensual

- Simular el arranque de la bomba en espera.

Pasos que seguir

1. Parar la bomba en funcionamiento.
 2. Comprobar si la bomba en espera se pone en marcha
 3. Detener la bomba que se encontraba en espera y verificar si se activa la alarma de baja presión
 4. Restaurar el sistema a funcionamiento normal.
- Analítica de aceite para comprobar que mantiene las propiedades requeridas.

5.4.3.- Mantenimiento trimestral

- Examinar los ánodos de sacrificio del intercambiador de calor.
- Verificar la estanqueidad de la válvula de bloqueo en el tubo de aceite interno navegando con el pulsador.

5.4.4.- Mantenimiento semestral

- Comprobar las válvulas de seguridad.
- Comprobar las válvulas de contrapresión.
- Comprobar la configuración del interruptor de presión.
- Chequear el nivel de aceite del Power pack.

5.4.5.- Mantenimiento anual

- Cambio de aceite y filtro del Power pack.
- Comprobar el control de emergencia del paso de la hélice.

- Limpiar los tanques de aceite.
- Verificar todas las conexiones de tuberías y bridas.

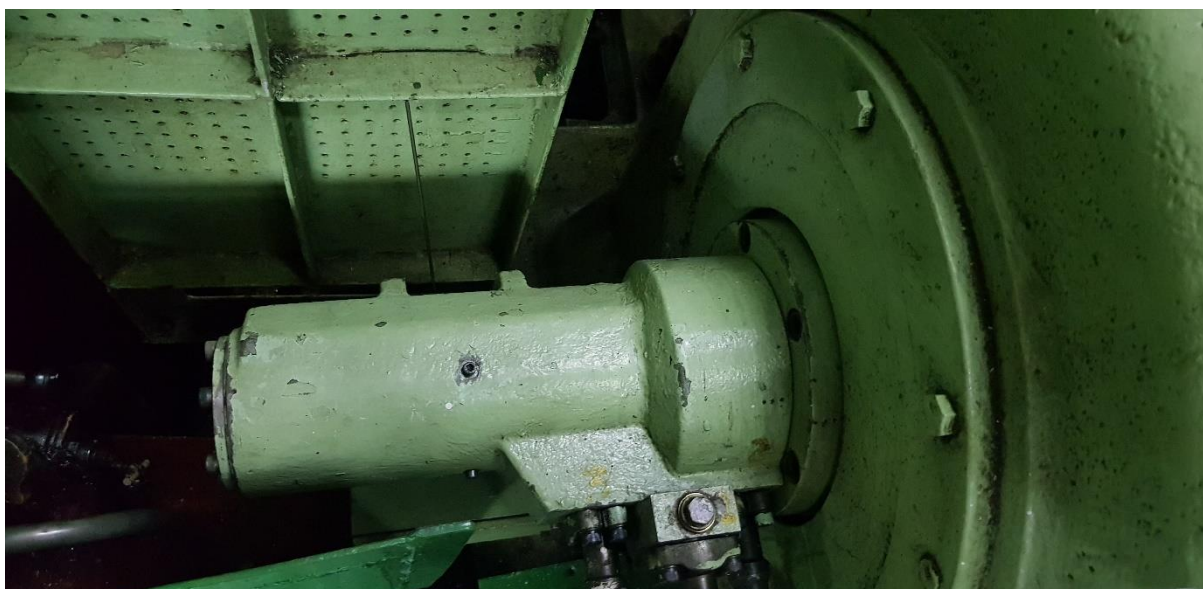
5.4.6.- Mantenimiento a los 5 años

- Reacondicionamiento de los sellos mecánicos de la OD-Box.
- Renovar todos los sellos y juntas tóricas.
- Renovar los potenciómetros de la OD-Box.

{19}

5.5.- Avería de la OD-Box

Ilustración 62: OD-Box montada al final de la reductora



Fuente: Trabajo de campo

5.5.1.- Problema

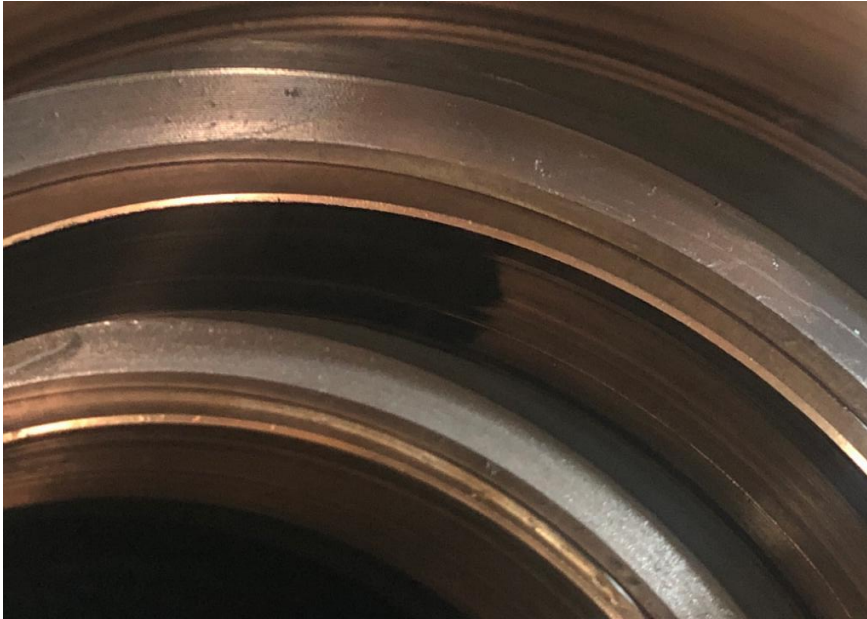
El capitán informaba que para poder cambiar la velocidad del buque se necesitaba un gran periodo de tiempo. Tras analizarse en la sala de máquinas gracias a los presostatos se comprobó que al solicitar el cambio de las palas se demandaba una alta cantidad de presión y se tardaba mucho en recuperar la presión nominal (18 bar). Por ello se decidió realizar una analítica de aceite y se comprobó que el aceite hidráulico se encontraba en perfectas condiciones. Una vez se comprobó todo lo posible en la CPP se tomó la decisión de cambiar la OD-Box para comprobar si era el problema.

5.5.2.- Causas

Una vez desmontada la OD-Box y separados los componentes internos se comprobó que dentro de la OD-Box se encontraba algo de desgaste dentro de los sellos mecánicos.

Los sellos mecánicos son anillos de cobre y se encargan de estanqueizar las cámaras del tubo interno y del tubo externo por lo que al estar desgastados se comunicaban las distintas cámaras y hacía falta una gran cantidad de presión para poder distribuir el aceite hasta el cubo de la hélice para realizar el cambio del ángulo de la pala, dado que, hasta que la señal de retroalimentación no se iguala con el ángulo solicitado las bombas siguen añadiendo presión hasta que se consigue el ángulo deseado. Por ello, se necesitaba una alta presión de aceite y se demoraba el cambio de ángulo de las palas de la hélice.

Ilustración 63: Foto interior de los sellos mecánicos



Fuente: Trabajo de campo

5.5.3.- Solución

Cambiar los anillos de estanqueidad para evitar que las cámaras se comuniquen y por seguridad reemplazar la OD-Box completa menos la carcasa.

V.- RESULTADOS

VI.- CONCLUSIÓN

VI.- CONCLUSIÓN

VI.- CONCLUSIÓN

Antes de realizar este proyecto desconocía tanto el funcionamiento de las partes de una hélice de paso variable, como se conseguía mover las palas de la hélice, como conseguía fluir el aceite dentro del eje de cola mientras giraba y cómo funcionaba la OD-Box.

Tras la realización de este trabajo de fin de grado se ha conseguido cumplir con los objetivos previamente marcados. Se ha conseguido comprender el complejo funcionamiento de una hélice de paso variable desde que se da la orden de cambio de ángulo de la pala hasta conseguir la posición correcta de la misma. Lo importante que es el buen mantenimiento no solo en este equipo crítico del que se ha realizado el estudio sino a su vez de todo aquel equipo que cumpla una función dentro de un buque.

También, cabe destacar, que gracias al periodo que estuve embarcado en el OPDR Andalucía he conseguido aprender tanto la metodología de trabajo dentro de un buque como el comportamiento y supervisión de cada sistema, todo ello gracias al mecánico naval y a los primeros oficiales que me ayudaban en lo que estuviera en su mano.

VI.- CONCLUSIÓN

VII.- BIBLIOGRAFÍA

VII.- BIBLIOGRAFIA

VII.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tiwari, V. Controllable Pitch Propeller and Fixed Pitch Propeller. Recuperado el 22 octubre 2019, de <https://cultofsea.com/ship-handling/basic-propeller-types/>
- [2] Controllable pitch propeller. Recuperado el 30 de septiembre de 2019, de <https://www.kongsberg.com/maritime/products/propulsors-and-propulsion-systems/propellers/controllable-pitch-propeller/#services>
- [3] Bellver, C., y Álvarez Moreno, L. (2019). VIRGEN DE AFRICA. Recuperado el 19 de octubre de 2019, de <https://www.trasmeships.es/los-buques/virgen-de-áfrica/>
- [4] OPDR ANDALUCIA - IMO 9331206 - Callsign ECKZ - ShipSpotting.com - Ship Photos and Ship Tracker. (2019). Recuperado el 2 de noviembre 2019, de <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1939343>
- [5] final drawing
- [6] Incendio y pérdida de propulsión del buque OPDR ANDALUCIA a 200 millas al nordeste de Lanzarote, el 17 de enero de 2013. (2013). Recuperado el 27 de octubre de 2019, de https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/it_s_38_2013_opdr_andalucia_web.pdf
- [7] Manual 11: Bombas de distintos tipos
- [8] Manual 61: Intercambiadores de calor
- [9] Manual 16: Generador de agua dulce
- [10] Manual 1.5: Motor principal
- [11] Manual 1.4: Motor principal
- [12] Manual 2.1: Motores auxiliares
- [13] Manual 13: Depuradoras
- [14] Manual 14.2: Modulo de combustible
- [15] Manual 20.1: Compresores
- [16] Manual 1.1: Motor principal
- [17] LT700 CPP Basic electrical drawings
- [18] Wärtsilä Controllable Pitch Propeller Systems. Recuperado el 19 de septiembre de 2019, de <https://www.wartsila.com/marine/build/propulsors-and-gears/propellers/wartsila-controllable-pitch-propeller-systems>
- [19] Manual: MAWEI 433-1-2-3 CPP
- [20] Manual: Produc description hydraulic power pack
- [21] TELEX HVLP. (2013). Recuperado el 29 de octubre de 2019, de https://www.repsol.com/imagenes/global/es/RP_TELEX_HVLP_tcm13-62562.pdf

VII.- BIBLIOGRAFIA

- [22] Manual: LT700 basic HMI complete description
- [23] Sánchez, N. (2014). Diseño de las Hélices CLT (Hélice de punta contratada y cargada). Recuperado el 7 de octubre de 2019, de <http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2014/03/disenode-las-helices-clt-contractada.html>