
TRABAJO DE FIN DE GRADO

SALA DE MÁQUINAS DE UN BUQUE TANQUE DE GAS NATURAL LICUADO Y ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN GENERADOR DE AGUA DULCE

GRADO EN MARINA

Alumno: Jon Borja Lázaro Martínez

Director de TFG: Esperanza Díaz

Marzo 2020

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ESTADO DEL ARTE	9
3. METODOLOGÍA	11
4. PARTE TEÓRICA	12
4.1- BARCO: SEVILLA KNUITSEN.....	13
4.1.1- SALA DE MÁQUINAS	14
4.1.2- DISTRIBUCIÓN.....	14
4.1.3- SALA DE CONTROL	19
4.1.4- TRIPULACIÓN DE MÁQUINAS	20
4.1.5- SISTEMAS PRINCIPALES	21
PROPULSIÓN.....	21
REDUCTORA.....	28
SERVO-MOTOR	30
INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM (IAS).....	31
4.1.6- SISTEMAS AUXILIARES	32
CIRCUITOS PRINCIPALES	32
SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO	42
CALDERAS	47
PURIFICADORAS	51
4.2- GENERADOR DE AGUA DULCE (FWG).....	54
4.2.1- FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL FWG	54
TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN	54
EVAPORACIÓN AL VACIO	55
4.2.2- FRESH WATER GENERATOR.....	55
DESCRIPCIÓN	56
FUNCIONAMIENTO	59
5. RESULTADOS	62
5.1- SECUENCIAS DE ARRANQUE Y DE PARADA	63
5.2- COMPARATIVA CON OTROS GENERADORES DE AGUA DULCE	65
FWG DE UNA ETAPA.....	65
FWG TIPO FLASH MULTJETAPA	67

5.3- VENTAJAS E INCONVENIENTES RESPECTO AL FWG DEL BARCO	68
6. CONCLUSIONES	70
7. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFIA	73
8. ANEXO	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. ETS de náutica y máquinas navales. Fuente: UPV.....	8
Ilustración 2. Barco "Turbinia". Fuente: Internet.....	10
Ilustración 3. Barco Sevilla Knutsen. Fuente: Knutsen OAS.	13
Ilustración 4. Floor Deck. Fuente: Knutsen OAS.....	15
Ilustración 5. Deck ENG3. Fuente: Knutsen OAS.....	15
Ilustración 6. Deck ENG2. Fuente: Knutsen OAS.....	16
Ilustración 7. Deck ENG1. Fuente: Knutsen OAS.....	17
Ilustración 8. Upper deck. Fuente: Knutsen OAS.	17
Ilustración 9. Deck A. Fuente: Knutsen OAS.....	18
Ilustración 10. Deck B y Deck C. Fuente: Knutsen OAS.	18
Ilustración 11. Deck D. Fuente: Knutsen OAS.	19
Ilustración 12. Motores Wärtsilä 3 y 4. Fuente: Propia.	22
Ilustración 13. Partes internas del motor Wärtsilä 12V50DF. Fuente: Knutsen OAS.....	23
Ilustración 14. Partes internas del motor Wärtsilä 9L50DF. Fuente: Knutsen OAS.	25
Ilustración 15. Esquema eléctrico de los sistemas de alta tensión. Fuente: Knutsen OAS.....	28
Ilustración 16. Vistas de la caja reductora. Fuente: Knutsen OAS.	29
Ilustración 17. Bombas de accionamiento del servo-motor. Fuente: Propia.	30
Ilustración 18. Panel de visualización de alarmas. Fuente: Knutsen OAS.....	32
Ilustración 19. Circuito HFO y DO. Fuente: Knutsen OAS.....	33
Ilustración 20. Circuito de aceite lubricante. Fuente: Knutsen OAS.	36
Ilustración 21. Circuito de agua dulce, sección babor. Fuente: Knutsen OAS.	38
Ilustración 22. Circuito de agua salada. Fuente: Knutsen OAS.	41
Ilustración 23. Circuito de aire comprimido. Fuente: Knutsen OAS.....	43
Ilustración 24. Circuito de aire de control. Fuente: Knutsen OAS.....	44
Ilustración 25. Esquema de una caldera pirotubular. Fuente: Knutsen OAS.....	48
Ilustración 26. Circuito de la planta de vapor. Fuente: Knutsen OAS.	49
Ilustración 27. Purificadora y calentador. Fuente: Propia.	51
Ilustración 28. Vista frontal, lateral y trasera de un FWG. Fuente: Propia.	56
Ilustración 29. Interior de un FWG sumergido. Fuente: IngMaritima.com.....	58
Ilustración 30. Fresh water jacket pump. Fuente: Propia.	58
Ilustración 31. Panel de control del FWG. Fuente: Propia.	59
Ilustración 32. FWG Alfa Laval AQUA Blue. Fuente: Alfa Laval	66
Ilustración 33. Dimensiones del FWG AQUA Blue. Fuente: Alfa Laval	66
Ilustración 34. FWG de tipo flash. Fuente: LNG Catalunya Spirit.....	67
Ilustración 35. Disposición de placas del evaporador y condensador. Fuente: Donghwa Entec.75	
Ilustración 36. Esquema de los sistemas del FWG. Fuente: Knutsen OAS.....	77
Ilustración 37. Esquema del servo. Fuente: Knutsen OAS.	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diagrama de Gantt del alumno. Elaboración propia	12
Tabla 2. Características técnicas. Fuente: Knutsen OAS.	24
Tabla 3. Aire de carga. Fuente: Knutsen OAS.	24
Tabla 4. Gases de escape. Fuente: Knutsen OAS.	24
Tabla 5. Balance de calor. Fuente: Knutsen OAS.	24
Tabla 6. Consumos. Fuente: Knutsen OAS.	25
Tabla 7. Características técnicas. Fuente: Knutsen OAS.	26
Tabla 8. Aire de carga. Fuente: Knutsen OAS.	26
Tabla 9. Gases de escape. Fuente: Knutsen OAS.	26
Tabla 10. Balance de calor. Fuente: Knutsen OAS.	27
Tabla 11. Consumos. Fuente: Knutsen OAS.	27
Tabla 12. Tanques de HFO. Fuente: Knutsen OAS.	34
Tabla 13. Tanques de DO. Fuente: Knutsen OAS.	35
Tabla 14. Tanques de aceite. Fuente: Knutsen OAS.	36
Tabla 15. Tanques de la reductora. Fuente: Knutsen OAS.	36
Tabla 16. Tanques de la bocina. Fuente: Knutsen OAS.	36

RESUMEN

La finalidad de este proyecto es conocer el interior de un barco y el futuro puesto de trabajo de los alumnos de máquinas. Por ello se hace un recorrido por las cubiertas de la sala de máquinas, en ellas se encuentra toda la maquinaria de la que un oficial de máquinas está a cargo. Se explica cómo funcionan y la finalidad de todos los sistemas principales y algunos auxiliares para una mayor familiarización del barco a la hora de embarcar. Por último se hará un estudio sobre el generador de agua dulce del barco y una comparativa con otros modelos y tamaños.

INTRODUCCIÓN

En la carrera universitaria se adquieren gran cantidad conocimientos teóricos básicos sobre el ejercicio de maquinista de la marina mercante y los equipos a bordo de los buques. No obstante, hasta el periodo de prácticas a bordo de un barco mercante no se puede poner en práctica dicho conocimiento, ya que la experiencia en el barco es el 80% de los conocimientos totales sobre maquinaria naval. Poder trabajar codo con codo con oficiales de máquinas, tener responsabilidades, hacer guardias o saber cómo actuar en caso de alarma aumenta de manera exponencial el interés y los conocimientos sobre la materia.



Ilustración 1. ETS de náutica y máquinas navales. Fuente: UPV

Cuando se llega a un barco por primera vez hay que estar preparado para cualquier adversidad, ya que, no hay ningún manual que te indique cómo actuar en cada situación. Saber identificar los sistemas y la maquinaria que rodea al jefe de máquinas y a sus oficiales es fundamental porque en medio del océano los problemas han de resolverse de la manera más eficiente y rápida posible.

Los alumnos de máquinas llegan al barco para aprender el oficio y, algún día, ser oficiales de máquinas de la Marina Mercante. Es por eso que se ha elaborado este trabajo, para conocer de antemano las instalaciones con las que se trabajarán día a día, así como saber identificarlos ya que muchos de estos equipos no se encuentran en ninguna empresa en tierra.

ESTADO DEL ARTE

A principios del siglo XIX se implementó la máquina de vapor en la propulsión de los buques mercantes y ello supuso un gran avance para la conquista de las rutas marítimas sin temer por la climatología. Esto supuso un cambio notable en la fisionomía de los barcos, ya que, las velas fueron suprimidas.

En consecuencia, se creó el departamento de máquinas y la necesidad de personal correspondiente a bordo. A pesar de los riesgos de incendio y explosión, las máquinas proporcionaron un avance en la navegación marítima al reducir el tiempo de los trayectos.



Ilustración 2. Barco "Turbinia". Fuente: Internet

El gas natural licuado (GNL) consiste en gas natural que ha sido procesado para ser transportado en estado líquido. Es una alternativa más económica que transportarlo por gasoducto o por generación de electricidad y poder monetizar reservas remotas de difícil acceso.

Los buques tanque especializados en el transporte de gas natural licuado transportan este producto como líquido a presión atmosférica y entre -158°C y -165°C . Estos barcos suelen tener entre cuatro y seis tanques numerados en orden ascendente de proa a popa y centrados sobre la crujía. En combinación con estos tanques también están los tanques de lastre y cofferdams que dan al barco la denominación de doble casco.

METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación se ha basado en los 144 días a bordo del barco “Sevilla Knutsen” de la empresa KNUTSEN OAS. Las tareas correspondientes al alumno de máquinas llevan consigo poca responsabilidad debido a que se encuentra en período de prácticas.

Primeramente se dará a conocer el buque tanque para el transporte de gas licuado y se hará una descripción física del mismo. Seguidamente se expondrán detalladamente los equipos principales y algunos de los auxiliares. Todos los datos que se muestran sobre el barco son reales y están tomados por el propio alumno de máquinas.

Así mismo este trabajo trata la viabilidad de un generador de agua dulce a bordo de un barco, por ello, la última parte del trabajo detalla una comparativa con otros modelos y sus ventajas e inconvenientes.

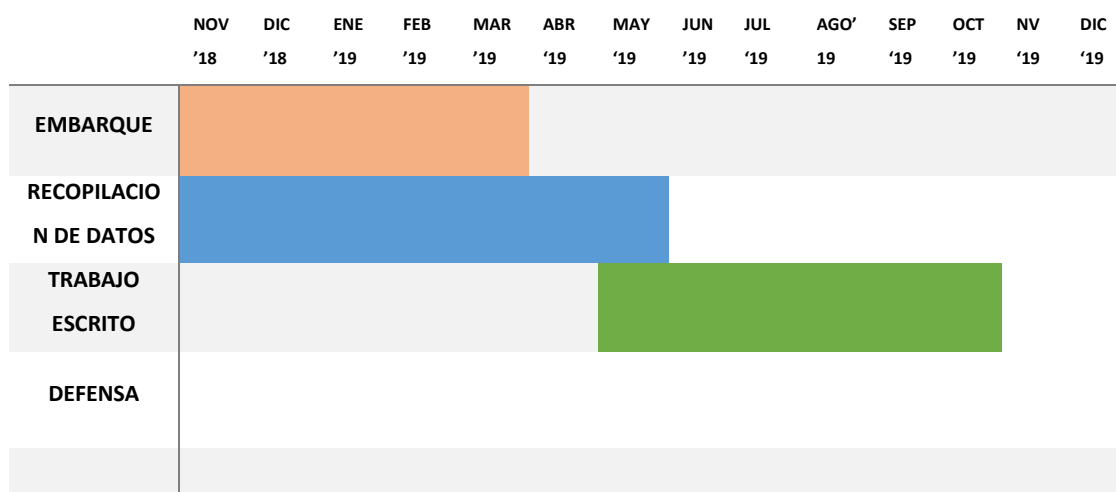


Tabla 1: Diagrama de Gantt del alumno. Elaboración propia

PARTE TEÓRICA

4.1- BARCO: SEVILLA KNUTSEN



Ilustración 3. Barco Sevilla Knutsen. Fuente: Knutsen OAS.

El barco fue construido en el 2009 por “Daewoo shipbuilding and Marine Engineering Co. Ltd. Okpo Shipyard” en la República de Korea y se entregó en el 2010. Actualmente el armador es “NORSPAN LNG VI AS”, lo opera la compañía “KNUTSEN OAS SHIPPING” y lo tienen fletado a la compañía “SHELL Int. Trading Middle East Ltd”.

A continuación se nombrarán las siguientes especificaciones del barco Sevilla Knutsen:

- Tipo: Buque tanque de GNL (Gas natural licuado).
- Nº OMI: 9414632
- Distintivo de llamada: EANB
- Dimensiones:
 - Eslora: 290 metros.
 - Manga: 45.8 metros.
 - Puntal: 26.5 metros.
- Capacidad de carga: Cuatro tanques de membrana capaces de albergar en total 173650 m³.
- Velocidad nominal: 19.5 nudos.
- Bandera: Santa Cruz de Tenerife, España.
- Capacidad de tripulantes: 40 tripulantes y 6 Suez crew.

4.1.1- SALA DE MÁQUINAS

Una sala de máquinas alberga la gran mayoría de la maquinaria abordo presidida por el equipo propulsor y los oficiales de máquinas tienen que estar familiarizados con todos los equipos que estén a su cargo. Por cuestiones de estabilidad las salas de máquinas se sitúan en el tercio de popa y toda la manga. A los costados y en el fondo se encuentran los depósitos. Los cascos y cubiertas tienen una serie de refuerzos preparados específicamente para soportar los esfuerzos de la maquinaria.

4.1.2- DISTRIBUCIÓN

A continuación se mostrará la distribución de los sistemas más significativos desde la cubierta inferior hacia arriba (floor deck, ENG3, ENG2, ENG1, upper deck, deck A, deck B, deck C, deck D), así como los demás habitáculos existentes en la sala de máquinas.

Floor deck. Es la planta más baja, por debajo de ella solo hay tanques y sentinas. Aquí se encuentran principalmente el sistema de propulsión, las reductoras y los ejes de cola de ambas bandas. Además también están los sistemas más importantes de bombeo tales como las bombas de lastre, las de trasiego de combustible, las de trasiego de aceite, las de sentinas, las del circuito de agua dulce, agua salada y las del sistema de contra incendios.

[illegible]

15

Deck ENG2. En esta cubierta se encuentra el cuarto de purificadoras a estribor; los compresores de aire de arranque, el cuarto de cuadros eléctricos principales y el módulo de agua dulce de servicio a proa; los módulos de combustible de los cuatro motores y la sala del servo-motor.

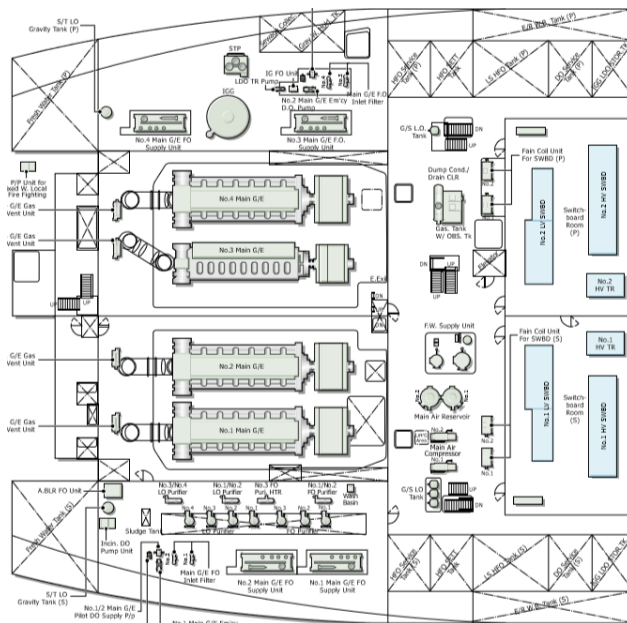


Ilustración 6. Deck ENG2. Fuente: Knutsen OAS

Deck ENG1. Ésta es la cubierta principal y aquí se encuentra el alma de la sala de máquinas, la sala de control. También se hallan las unidades de aire acondicionado de la gambuza, de toda la acomodación y de la propia sala de máquinas; las calderas y los compresores de aire de servicio y control. En esta cubierta también se encuentra el taller de los oficiales de máquinas y el almacén de respetos.



Deck A. Los ventiladores de la Gas Combustion Unit (GCU) se encuentran en esta cubierta. A babor está la sala del generador de emergencia donde también se encuentra el compresor y el cuadro eléctrico de emergencia. Para acceder a ella se tiene que salir por la cubierta upper y acceder por fuera.

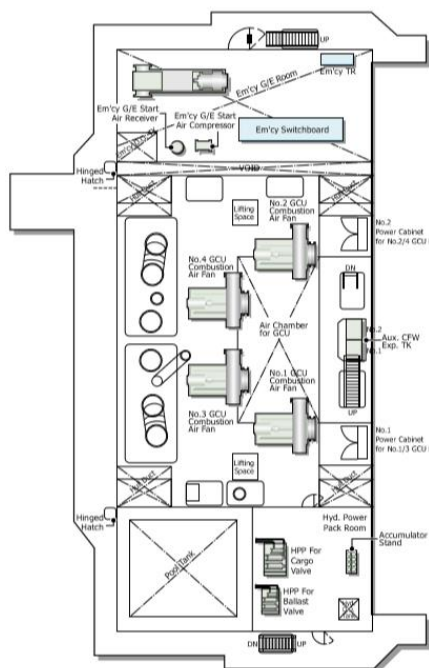


Ilustración 9. Deck A. Fuente: Knutsen OAS.

Deck B, deck C y deck D. En estas cubiertas básicamente tienen conductos de ventilación de la máquina y el conducto de la GCU.

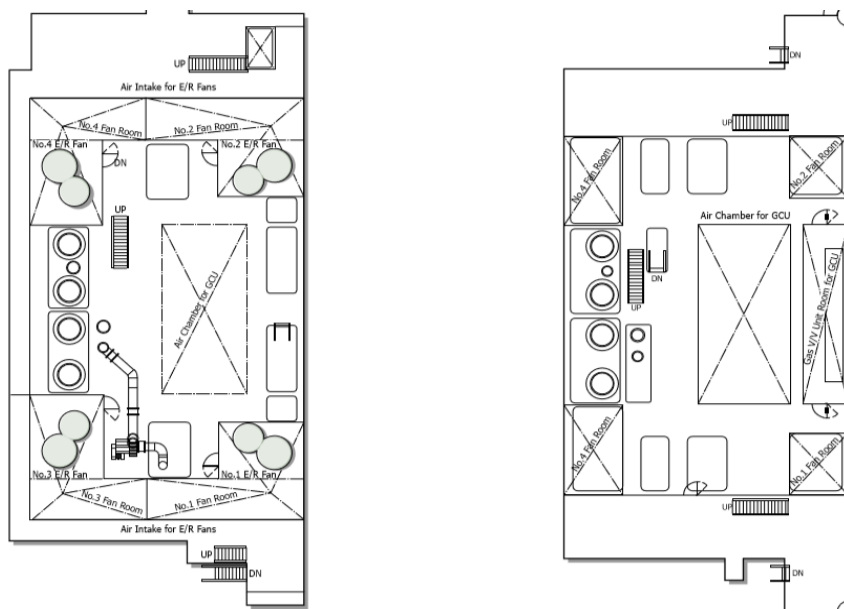


Ilustración 10. Deck B y Deck C. Fuente: Knutsen OAS.

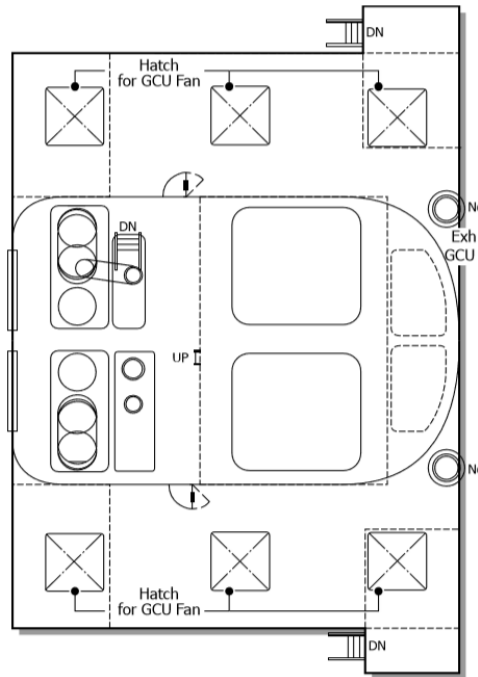


Ilustración 11. Deck D. Fuente: Knutsen OAS.

4.1.3- SALA DE CONTROL

La sala de control es el lugar esencial de la máquina porque en ella se encuentran los elementos de control y monitorización de todos los equipos, y el *Integrated Automation System* o *IAS*, de ahora en adelante, es el software utilizado en el barco para llevar dicha tarea. Las alarmas se ven reflejadas en los monitores del control y el oficial de guardia presente deberá aceptarlas y tratar de solucionar el problema en caso de que lo hubiese, algunas alarmas son indicativas del estado de un aparato o parte del buque (Ej: bajo nivel de un tanque de agua o cuando se cierra manualmente el aire de control para mantenimiento).

En ella también suceden los *meetings* mañaneros en el que se comparten ideas sobre los trabajos y mantenimientos a realizar; también se producen los cambios de guardia y es el punto de reunión en caso de avistamiento pirata. Esto es debido a que en el supuesto caso que un grupo pirata consiga subir al barco, y se haya dado el aviso a las autoridades pertinentes, la sala de máquinas debe considerarse una fortaleza inexpugnable para que ninguno de los tripulantes corra peligro alguno sellando todas las posibles entradas e inutilizando los controles del puente para que solo puedan utilizarse desde el control.

4.1.4- TRIPULACIÓN DE MÁQUINAS

La tripulación de máquinas sigue un orden jerárquico en cuanto a las responsabilidades que se asumen independientemente de la carga de trabajo que tenga cada uno. En este trabajo se va a hablar de cada uno de ellos teniendo en cuenta las funciones principales en este barco específicamente, ya que, depende de la cantidad de oficiales que disponga el barco o la cantidad de aparatos y sistemas que haya.

Jefe de máquinas. Es el máximo responsable de todo lo que ocurre en la sala de máquinas, para bien y para mal. Aunque no realiza trabajos de mantenimiento en su día a día, por él pasan los reportes de todos los trabajos de mantenimiento, reparación o sustitución que se realizan en la máquina para dar su visto bueno. En caso de incendio o emergencia general, se encarga de coordinar el equipo de respuesta de la máquina.

Primer oficial de máquinas. Se encarga de tomar nota de los trabajos de los equipos de la máquina y de coordinar los grupos que vayan a realizar dichos trabajos, en caso de que se necesite más de una persona para ejecutarlo. Además de eso, en este barco tiene asignados los trabajos relacionados con los motores principales, la reductora, intercambiadores de calor, el separador de sentinas y el incinerador.

Segundo oficial de máquinas. Es el encargado de la seguridad en la máquina y, con ello, proporciona los PPEs (Personal Protection Equipment) correspondientes y necesarios a cada tripulante. Los equipos a su cargo tienen relación a los combustibles y el vapor, es decir, las depuradoras, bombas del combustible, calderas, economizadores

Tercer oficial de máquinas. En algunos barcos la figura del tercer oficial de máquinas no existe por diferentes motivos: salario, espacio en la máquina o porque la cantidad de trabajos en la máquina se cubren con dos oficiales. En este barco sí existe y se encarga del mantenimiento y supervisión de la maquinaria referente a los circuitos de aire comprimido (compresores de arranque, de control, de servicio) y de aceite lubricante (purificadoras de aceite, inventario de aceites). También supervisa el generador de agua dulce y el sistema de desagüe de la acomodación.

4.1.5- SISTEMAS PRINCIPALES

Los equipos que se nombran en este grupo son los considerados imprescindibles para que el barco pueda navegar, es decir, sin uno de ellos no tendríamos propulsión, energía o gobierno. A continuación se explicarán las características específicas de cada maquinaria para un mayor entendimiento a la hora de manejarlos y poder estar un poco más familiarizados cuando se esté frente a ellos.

PROPULSIÓN

MOTORES PRINCIPALES

Se trata de cuatro motores duales de la marca WÄRTSILÄ que alimentan la planta energética del barco. Tres de ellos son el modelo 12V50DF que dan una potencia de 11400 kW y el otro es el modelo 9L50DF cuya potencia producida es de 8550 kW. Estos motores se pueden arrancar y parar desde el IAS (Integrated Automation System), un sistema del que se hablará más adelante en este trabajo.

Se denominan duales porque los combustibles que pueden consumir pueden ser líquidos como el FO y el MDO, o también puede funcionar con gas natural. Estos motores están adaptados para consumir el gas que no puede aprovecharse de los tanques, es el llamado *boil-off*. Éste se produce por el movimiento natural de la carga debido al balance del propio barco en el mar, el roce entre las moléculas del LNG aumenta la temperatura del mismo y, como consecuencia, se evapora elevando la presión del tanque. En ocasiones en que se produce demasiado *boil-off* y los motores no queman el suficiente, se arranca el sistema Gas Combustion Unit (GCU), sistema compuesto por unos quemadores y unos ventiladores de gran tamaño situados en la parte inferior de las chimeneas que queman ese gas natural sobrante.

El modo gas está limitado a tres minutos con una carga por debajo del 15% con riesgo de que pueda haber una combustión incompleta. El motor cambiará automáticamente al modo diésel (MDO) si la carga permanece por debajo del 15% más de esos tres minutos.

Aunque el heavy fuel-oil (HFO) sea el producto más barato de los tres que puede consumir el motor, la experiencia a bordo demuestra que es el menos utilizado. Los compradores cuentan con las pérdidas de carga que se dan en el transcurso del viaje que es aprovechado por el barco

teniendo coste cero por el consumo del combustible. Pero también es cierto que el HFO al ser un producto más pesado y denso que el MDO puede llegar a obstruir tuberías y los propios inyectores.



Ilustración 12. Motores Wärtsilä 3 y 4. Fuente: Propia.

Tal y como aparece en los manuales se han recopilado las características técnicas más relevantes sobre estos modelos a fin de conocer los parámetros más importantes a tener en cuenta en el manejo de los motores marinos.

- Modelo 12V50DF.

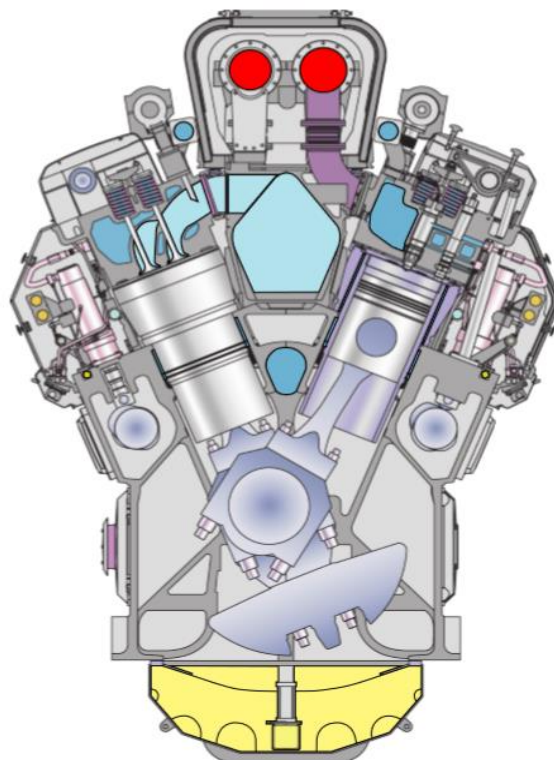


Ilustración 13. Partes internas del motor Wärtsilä 12V50DF. Fuente: Knutsen OAS.

Está compuesto por doce pistones en forma de V que generan una potencia de 11400 kW. Posee dos turbo compresores, uno para cada bancada. El aire de barrido pasa por el *intercooler*, en el que se produce un intercambio de calor con el agua de camisas para mantener su temperatura y no provocar un sobrecalentamiento. Con 100% de carga los gases de escape salen a unos 400° C. El cárter (coloreado en amarillo) contiene el aceite que cae de la lubricación de los mecanismos internos del motor.

A continuación se van a mostrar datos técnicos relevantes sobre este motor, proporcionados por los manuales de la casa Wärtsilä que se encuentran a bordo, cuando el motor se encuentra funcionando en modo gas o en modo HFO/MDO.

Características técnicas:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Potencia de salida	kW	11400	11400
Diámetro del cilindro	mm	500	500

Carrera del pistón	mm	500	500
Presión media de trabajo ($v=514$ rpm)	MPa	2.0/1.95	2.0/1.95
Número de válvulas	-	Dos válvulas de entrada y dos válvulas de salida	

Tabla 2. Características técnicas. Fuente: Knutsen OAS.

Aire de carga:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Caudal de aire, carga 100%	kg/s	17.3	23.2
Tª a la entrada del turbocompresor	°C	45	45
Tª después del intercambiador de calor	°C	45-55	45-55

Tabla 3. Aire de carga. Fuente: Knutsen OAS.

Gases de escape:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Caudal de gases de escape, carga 100%	kg/s	17.9	23.8
Caudal de gases de escape, carga 75%	kg/s	14.2	18.8
Caudal de gases de escape, carga 50%	kg/s	9.8	13.5
Tª después del turbocompresor a 100%	°C	400	348
Tª después del turbocompresor a 75%	°C	430	344
Tª después del turbocompresor a 50%	°C	475	370
Presión de los gases de retorno	bar	0.03	0.03

Tabla 4. Gases de escape. Fuente: Knutsen OAS.

Balance de transmisión de calor:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Agua de camisas	kW	1410	1660
Aire de carga, HT	kW	1380	2480
Aire de carga, LT	kW	970	1330
Aceite lubricante	kW	1020	1310
Radiación, etc.	kW	410	460

Tabla 5. Balance de calor. Fuente: Knutsen OAS.

Consumos:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
--	----------	----------	--------------

Energía total consumida, carga 100%	kj/kWh	7296	-
Energía total consumida, carga 75%	kj/kWh	7620	-
Energía total consumida, carga 50%	kj/kWh	8181	-
Consumo de gas, carga 100%	kj/kWh	7258	-
Consumo de gas, carga 75%	kj/kWh	7562	-
Consumo de gas, carga 50%	kj/kWh	8105	-
Consumo de FO, carga 100%	g/kWh	1.0 ^(*)	189
Consumo de FO, carga 75%	g/kWh	1.5 ^(*)	189
Consumo de FO, carga 50%	g/kWh	2.0 ^(*)	196

Tabla 6. Consumos. Fuente: Knutsen OAS.

(*): Cantidad estimada que se consume en el sistema *pilot* cuando el motor se encuentra en modo gas.

- Modelo 9L50DF

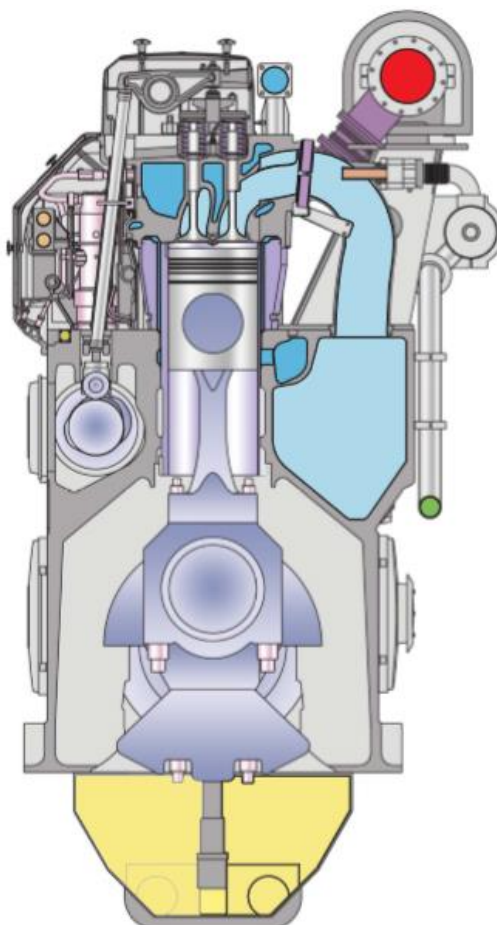


Ilustración 14. Partes internas del motor Wärtsilä 9L50DF. Fuente: Knutsen OAS.

Este modelo tiene nueve cilindros dispuestos en línea y genera una potencia de 8550 kW. Las diferencias en cuanto a estética son significativas: menor tamaño, menor número de pistones y su disposición, un colector para los gases de escape en vez de dos y

Características técnicas:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Potencia de salida	kW	8550	8550
Diámetro del cilindro	mm	500	500
Carrera del pistón	mm	580	580
Presión media de trabajo ($v=514$ rpm)	MPa	2.0/1.95	2.0/1.95
Número de válvulas	-	Dos válvulas de entrada y dos válvulas de salida	

Tabla 7. Características técnicas. Fuente: Knutsen OAS.

Aire de carga:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Caudal de aire, carga 100%	kg/s	17.3	23.2
Tª a la entrada del turbocompresor	°C	45	45
Tª después del intercambiador de calor	°C	45-55	45-55

Tabla 8. Aire de carga. Fuente: Knutsen OAS.

Gases de escape:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Caudal de gases de escape, carga 100%	kg/s	17.9	23.8
Caudal de gases de escape, carga 75%	kg/s	14.2	18.8
Caudal de gases de escape, carga 50%	kg/s	9.8	13.5
Tª después del turbocompresor a 100%	°C	400	348
Tª después del turbocompresor a 75%	°C	430	344
Tª después del turbocompresor a 50%	°C	475	370
Presión de los gases de retorno	bar	0.03	0.03

Tabla 9. Gases de escape. Fuente: Knutsen OAS.

Balance de transmisión de calor:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Agua de camisas	kW	1410	1660
Aire de carga, HT	kW	1380	2480
Aire de carga, LT	kW	970	1330
Aceite lubricante	kW	1020	1310
Radiación, etc.	kW	410	460

Tabla 10. Balance de calor. Fuente: Knutsen OAS.

Consumos:

	Unidades	Modo Gas	Modo HFO/MDO
Energía total consumida, carga 100%	kj/kWh	7296	-
Energía total consumida, carga 75%	kj/kWh	7620	-
Energía total consumida, carga 50%	kj/kWh	8181	-
Consumo de gas, carga 100%	kj/kWh	7258	-
Consumo de gas, carga 75%	kj/kWh	7562	-
Consumo de gas, carga 50%	kj/kWh	8105	-
Consumo de FO, carga 100%	g/kWh	1.0(*)	189
Consumo de FO, carga 75%	g/kWh	1.5(*)	189
Consumo de FO, carga 50%	g/kWh	2.0(*)	196

Tabla 11. Consumos. Fuente: Knutsen OAS.

(*): Cantidad estimada que se consume en el sistema *pilot* cuando se encuentra en modo gas.

SISTEMA DE CONTROL

La propulsión eléctrica genera una tensión de 6600 kV a una frecuencia de 60 Hz en el cuadro eléctrico principal del barco.

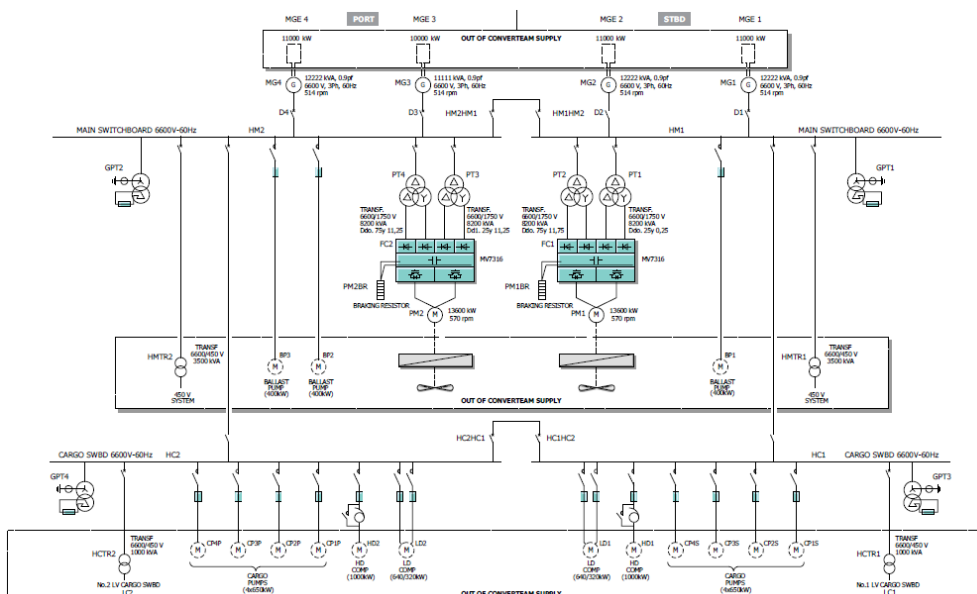


Ilustración 15. Esquema eléctrico de los sistemas de alta tensión. Fuente: Knutsen OAS.

Como se puede apreciar en el esquema, cada eje se compone de un motor de propulsión y una reductora. Este motor es alimentado por un convertidor de frecuencia modelo MV7316.

Cada convertidor de frecuencia se compone de dos unidades separadas que funcionan en paralelo, cada una conectada a la barra de alto voltaje correspondiente y que pasa por un transformador.

- Cada motor de propulsión tiene las siguientes características:

Tipo:	Inducción
Potencia nominal:	13.6 MW
Velocidad nominal:	570 rpm
Velocidad máxima:	610 rpm
Velocidad nominal del eje:	72.6 rpm

REDUCTORA

Toda máquina cuyo movimiento sea producido por un motor, ya sea eléctrico o de explosión, necesita que su velocidad resultante se adapte a la necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de una correcta velocidad, se deben tener en cuenta otros factores como los rendimientos mecánicos, la potencia mecánica que se transmite y la potencia térmica.

Esta adaptación de la velocidad se realiza con uno o varios pares de engranajes montados en un cuerpo compacto llamado *reductor de velocidad* o *caja reductora*.

La caja reductora es un elemento muy importante de la propulsión ya que, con ella, se puede ajustar la velocidad de la hélice a las necesidades requeridas y perdiendo la mínima potencia posible.

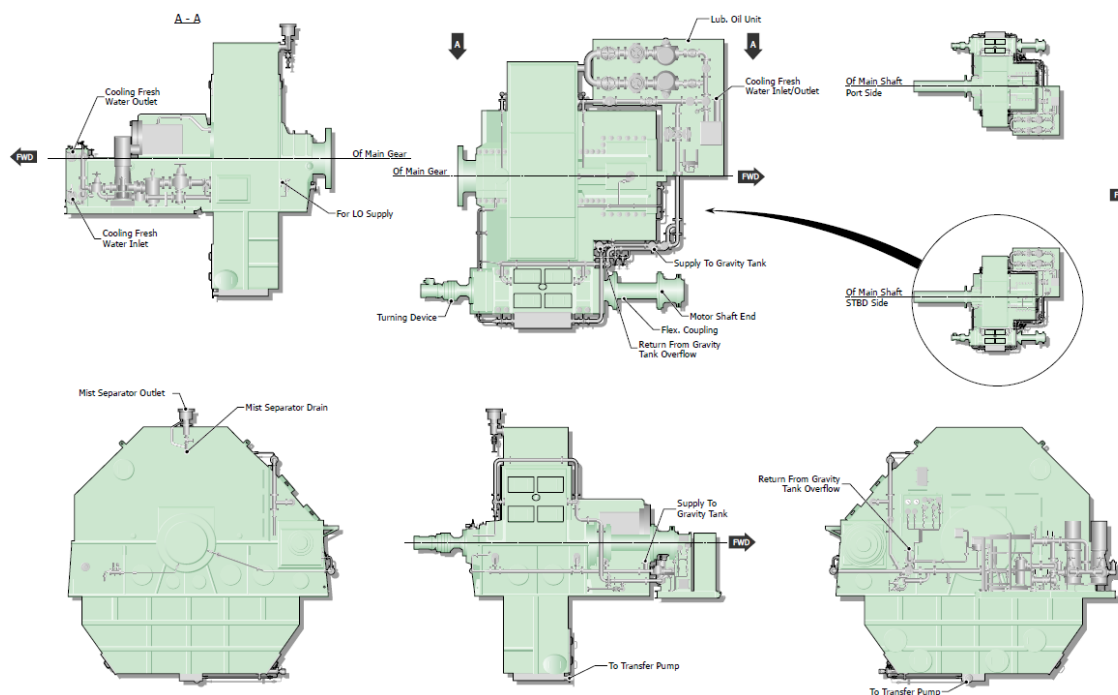


Ilustración 16. Vistas de la caja reductora. Fuente: Knutsen OAS.

- Especificaciones principales de la reductora:
 - Modelo: M1H-190/67
 - Tipo: Helicoidal doble
 - Máxima potencia nominal continuada: 13328 kW
 - Sentido de giro: Horario (visto desde popa)
 - Velocidad máxima permitida del eje: 115% de MCR*
 - Sistema marcha atrás: Epicíclica
 - 5.5 kW, 440 V

El esfuerzo de torsión que viene de los motores se transmite a través de un acoplamiento flexible que permite el movimiento relativo axial, expansión y excentricidades del motor y el piñón reductor.

*MCR: Maximum Continuous Rate.

SERVO-MOTOR

El servo-motor se compone de dos sistema hidráulicos rotativos que actúan directamente sobre las palas del timón, uno en babor y otro en estribor, tal y como se aprecia en el esquema de la ilustración 37 en el anexo de este trabajo. Se sirve de dos unidades de bombas que hacen llegar la presión necesaria de aceite para operar dicho timón.



Ilustración 17. Bombas de accionamiento del servo-motor. Fuente: Propia.

Esta unidad de doble bomba puede operar con una o con las dos ya que, cada una puede levantar la suficiente presión necesaria para actuar la pala del timón. Cuando el barco se encuentra navegando normalmente se usa una de las bombas y la otra permanece en *stand-by*. Aunque en puerto durante las maniobras de atraque y desatraque se mantienen las dos bombas arrancadas para una respuesta más rápida del timón.

- Especificaciones del timón
 - Marca: Rolls Royce
 - Modelo: RV2600-3
 - Diámetro: 500 mm
 - Ángulo de apertura del timón: 46.5° a cada banda

- Presión máxima de trabajo: 60.6 bar
- Especificaciones de las bombas.
 - Marca: Leistritz
 - Modelo: L3MF70/112
 - Velocidad nominal: 3500 rpm
 - Capacidad a la velocidad nominal: 849.9 l/min
- Especificaciones de los motores eléctricos.
 - Marca: ABB
 - Modelo: M3AA 250 SMB-2
 - Potencia: 76 kW
 - Tensión: 440 V
 - Frecuencia: 60 Hz
 - Velocidad nominal: 3500 rpm

INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM (IAS)

El IAS es un sistema de control y monitorización que cubre un gran rango de aplicaciones y en diferentes tipos de barco debido a su estructura y flexibilidad. Para ello, el IAS está provisto de una serie de elementos de hardware y software que permite una solución óptima para cualquier tipo de inconveniente.

La configuración normal en este barco incluye la monitorización y control de la maquinaria de la sala de máquinas, control y monitorización de la propulsión y gobierno, así como el control de la carga y el sistema de lastrado.

Estos equipos pueden operarse desde cualquier estación de operaciones. Estas estaciones se encuentran en los lugares más importantes del barco que se nombran a continuación:

- Sala de control de carga (CCR)
- Sala de control de máquinas (ECR)
- Puente

También existen aparatos de visualización de alarmas en todas las zonas de la acomodación en las que puede estar el oficial de guardia en su tiempo libre a fin de que pueda recibir el aviso de

una posible alarma. El sistema exige que se tenga que aceptar la alarma desde una estación de operación para cerciorarse de que se han llevado a cabo medidas de corrección.

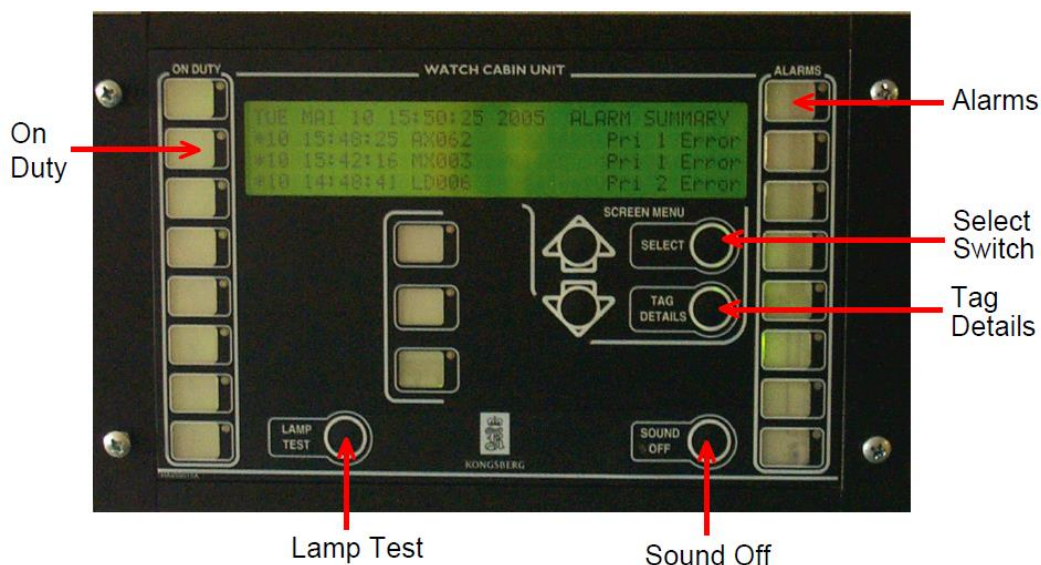


Ilustración 18. Panel de visualización de alarmas. Fuente: Knutsen OAS

4.1.6- SISTEMAS AUXILIARES

Los elementos auxiliares constituyen el la mayor parte del espacio de la sala de máquinas y son un entramado de circuitos que permiten el buen funcionamiento del sistema propulsor. Un vistazo bajo los suelos o detrás de paneles y se puede comprobar que se mantiene una distribución ordenada por cuestiones elementales de estabilidad y los condicionantes de la propulsión.

CIRCUITOS PRINCIPALES

Los elementos principales de propulsión requieren la ayuda de unos sistemas auxiliares para el buen funcionamiento de éstos mismos. Para hacer un repaso a todas esas máquinas se ha recurrido a una separación en grupos teniendo en cuenta el fluido principal que manejan. Los principales fluidos que se van a nombrar son el combustible, el aceite lubricante, el agua dulce y el agua salada.

COMBUSTIBLE

Cuando se habla de combustible se refiere a HFO y MDO. Lo que ocurre en este tipo de barcos es que se usa más de un tipo de combustible para los motores, ya que, éstos son duales y pueden trabajar con gas natural pero tiene otro circuito y recorrido diferente que será mencionado más adelante.

El HFO se almacena en los tanques #1 y #2 en proa, en el tanque de almacenamiento de la máquina y en el tanque destinado al HFO bajo en azufre. De los tanques de la sala de máquinas se trasiega a los tanques de sedimentación en el cual se deja sedimentar antes de ser purificado y poder circularlo hacia el tanque de servicio. Los tanques de almacenamiento se llenan por los colectores (*manifolds*) situados en la mitad del barco a babor y a estribor.

Principalmente se usa para alimentar las calderas auxiliares, ya que, estos motores funcionan normalmente con el LNG como se ha mencionado al principio en este trabajo.

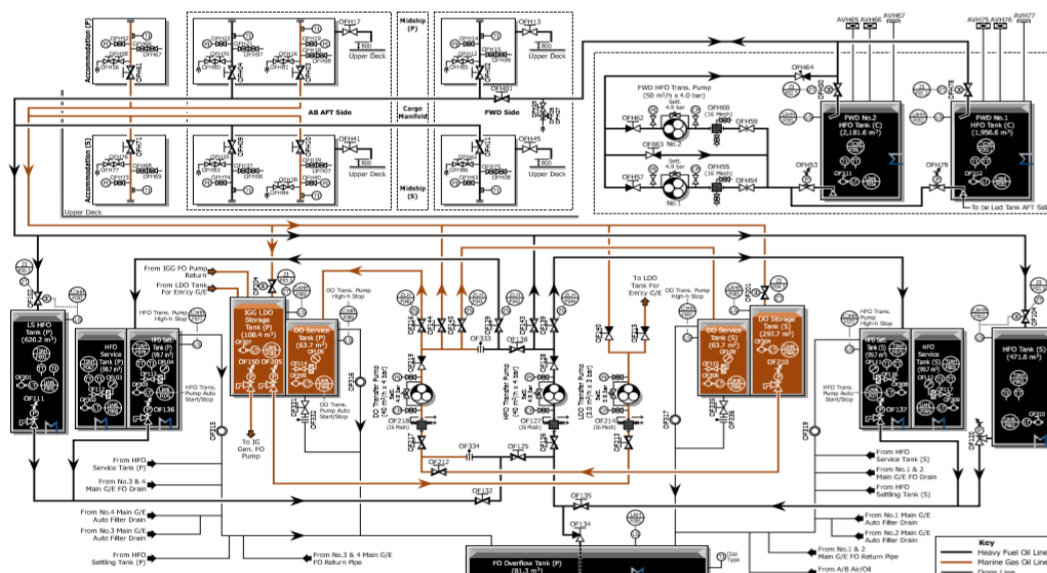


Ilustración 19. Circuito HFO y DO. Fuente: Knutsen OAS.

Como puede apreciarse en el esquema, los tanques de HFO se reparten así:

	CANTIDAD	CAPACIDAD (m ³)	TOTAL (m ³)
Almacenamiento de proa #1	1	1969,6	1969,6
Almacenamiento de proa #2	1	2181,8	2181,8
Almacenamiento de popa	1	471,6	471,6
Almacenamiento de LS HFO*	1	620,2	620,2
Sedimentación	2	99,7	199,4
Servicio	2	99,7	199,4

Tabla 12. Tanques de HFO. Fuente: Knutsen OAS.

*LS: Low Sulphure (Bajo azufre)

Existen dos bombas para el trasiego de HFO situadas en el compartimento de proa. Estas bombas se usan para trasegar el HFO desde los tanques #1 y #2 de proa al tanque de almacenamiento de HFO en babor y al de bajo en azufre en estribor.

La bomba de trasiego de la sala de máquinas se usa para trasegar desde los tanques de almacenamiento a los de sedimentación. Esta bomba se para automáticamente cuando el nivel del tanque de sedimentación acciona un interruptor de nivel, aunque también puede operarse manualmente si es preciso.

- Bombas de trasiego de HFO de proa:
 - Marca: IMO AB
 - Modelo: ACF 090K4 NVBO
 - Cantidad: 2
 - Tipo: De tornillo, vertical
 - Capacidad: 50 m³/h x 4.0 bar
 - Motor: 21.3 kW, 1760 rpm
- Bomba de trasiego de HFO de la sala de máquinas:
 - Marca: IMO AB
 - Modelo: ACF 080N4 IRBO
 - Cantidad: 1
 - Tipo: De tornillo, vertical
 - Capacidad: 40 m³/h x 4.0 bar
 - Motor: 17.3 kW, 1760 rpm

Para el DO hay un tanque de almacenamiento y otro que almacena el diésel ligero para la planta de gas inerte y de ahí se trasiega a los tanques de servicio (babor y estribor). Estos tanques proveen de DO a los motores, a las calderas y al incinerador.

Los tanques de almacenamiento de DO y LDO se llenan por el colector situado en el *manifold* de carga en mitad del barco o por los que se encuentran en popa al lado de la acomodación. Al igual que pasa con el HFO, las bombas de trasiego de DO se detienen automáticamente cuando el nivel de los tanques servicio llega al tope.

En caso de emergencia es posible hacer circular DO por la bomba de trasiego de HFO, y viceversa, siempre que se eliminen por completo los residuos de la línea.

Los tanques de DO se reparten de esta manera:

	CANTIDAD	CAPACIDAD (m ³)	TOTAL (m ³)
Almacenamiento	1	297,7	297,7
Almacenamiento LDO* del IGG**	1	108,4	108,4
Servicio	2	63,7	127,4

Tabla 13. Tanques de DO. Fuente: Knutsen OAS.

*LDO: Light Diesel Oil **IGG: Inert Gas Generator (Planta de gas inerte)

- Bombas de trasiego de DO:
 - Marca: IMO AB
 - Modelo: ACG 070K7 NVBP
 - Cantidad: 1
 - Tipo: De tornillo, vertical
 - Capacidad: 40 m³/h x 4.0 bar
 - Motor: 21.3 kW, 3530 rpm
- Bomba de trasiego de LDO:
 - Marca: IMO AB
 - Modelo: ACE 032L3 NVBP
 - Cantidad: 1
 - Tipo: De tornillo, vertical
 - Capacidad: 3 m³/h x 3.0 bar
 - Motor: 1.25 kW, 3440 rpm

ACEITE LUBRICANTE

El aceite lubricante está presente en todas las máquinas del barco, ya que, la lubricación es imprescindible para evitar el desgaste y las altas temperaturas debido a las fricciones que se producen por los movimientos de las partes internas del aparato.

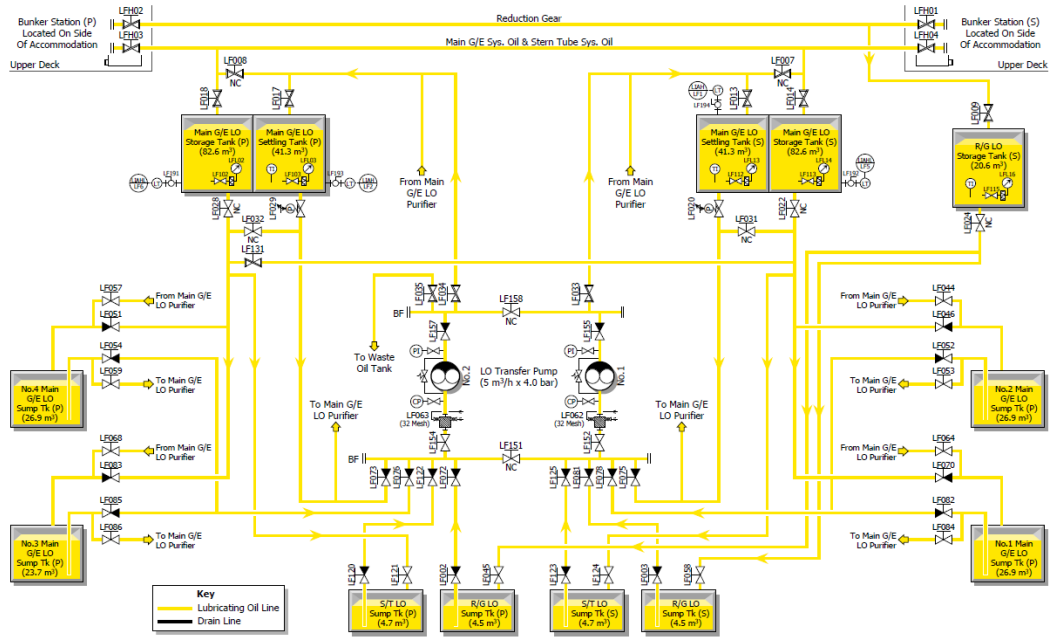


Ilustración 20. Circuito de aceite lubricante. Fuente: Knutsen OAS.

Los tanques de almacenamiento de aceite lubricante que figuran en el esquema anterior se dividen de la siguiente forma:

- Motores principales

	CANTIDAD	CAPACIDAD (m ³)	TOTAL (m ³)
Tanques de almacenamiento	2	82,6	165,2
Tanques de sedimentación	2	41,3	82,6
Cárter MGE #1, #2 y #4	3	26,9	80,7
Cárter MGE #3	1	23,7	23,7

Tabla 14. Tanques de aceite. Fuente: Knutsen OAS.

- Reductora

	CANTIDAD	CAPACIDAD (m ³)	TOTAL (m ³)
Tanques de almacenamiento	1	20,6	20,6
Cárter	2	4,5	9,0

Tabla 15. Tanques de la reductora. Fuente: Knutsen OAS.

- Bocina

	CANTIDAD	CAPACIDAD (m ³)	TOTAL (m ³)
Tanques de almacenamiento	2	4,7	9,4

Tabla 16. Tanques de la bocina. Fuente: Knutsen OAS.

Todos los tanques de almacenamiento se llenan por las conexiones situadas en la cubierta *Upper deck*, en ambos lados del barco. Aunque también pueden llenarse los tanques de sedimentación si se requiere. Como puede apreciarse en el esquema anterior, existen dos líneas de llenado independientes, una para llenar los tanques de almacenamiento de aceite para la reductora y otra para los tanques de almacenamiento de los motores principales. Esta última línea puede usarse para llenar los tanques de sedimentación con la misma conexión si se necesita.

Todas las válvulas vaciado de los tanques de HFO, DO y LO están construidas con un sistema neumático de cierre rápido (quick-closing valves). Permiten el sellado de la línea en caso de emergencia y se accionan de forma remota desde la sala de operaciones de emergencia o desde la estación de control de incendios situada en la cubierta C de la acomodación junto a la sala de control de carga. Después de ser accionadas, las válvulas deben ser reiniciadas localmente.

- Bomba de trasiego del aceite lubricante:
 - Marca: IMO AB
 - Modelo: ACE 032N3 NVBP
 - Nº de sets: 2
 - Tipo: De tornillo, horizontal
 - Capacidad: 5 m³/h x 4.0 bar
 - Motor: 2.5 kW, 3420 rpm

REFRIGERACIÓN CON AGUA DULCE

CIRCUITO PRINCIPAL

El circuito principal de agua dulce en la sala de máquinas tiene la función de atenuar la temperatura de los motores con la ventaja de no deteriorar las tuberías o conductos tan rápidamente como lo haría el agua salada. Este circuito se encuentra en babor y estribor, el circuito de estribor comprende a los motores #1 y #2; y el circuito situado en babor realiza lo mismo con los motores #3 y #4. El siguiente esquema muestra el ejemplo del circuito situado en estribor:



Este sistema es controlado por la bomba accionada por el motor y una válvula de tres vías a la salida de los intercambiadores de calor principales del barco que mantiene la temperatura del agua a 91° C.

- Características del calentador de agua de camisas:
 - Nº de sets: 2 (babor y estribor)
 - Temperatura: 70° C

Los tanques de expansión del agua dulce de refrigeración se encuentran en la cubierta ENG1. Estos tanques mantienen la presión positiva del circuito y permiten la expansión del agua al calentarse. Cuando baja el nivel de los tanques se rellenan con el agua dulce proveniente del hidróforo.

CIRCUITO AUXILIAR

El sistema auxiliar de refrigeración de agua dulce es un circuito cerrado que pasa por toda la sala de máquinas, uno en babor y otro en estribor. Las bombas de circulación de esta agua se encuentran en la cubierta *ENG3*, dos bombas para cada banda. Una de ellas se encuentra en funcionamiento mientras la otra se encuentra en estado *stand-by*, siempre disponible para arrancar automáticamente en caso de fallo de la primera bomba o una fuga de presión.

El agua de refrigeración se mantiene a 36° C a la salida del intercambiador de calor auxiliar por mediación del control de una válvula de tres vías. Esto permite que el agua fluya a través de los intercambiadores o pase a través de un *by-pass* dependiendo de su temperatura.

- Características de las bombas de los intercambiadores de calor auxiliares de agua dulce:
 - Marca: Shinko Ind. Ltd.
 - Modelo: SVS250M
 - Nº de sets: 2
 - Capacidad: 515 m³/h x 2.5 bar (babor)
465 m³/h x 2.5 bar (estribor)
 - Motor: 55 kW, 1800 rpm (babor)
45 kW, 1800 rpm (estribor)
- Características de los intercambiadores de calor auxiliares de agua dulce:
 - Marca: Alfa-Laval Korea Ltd.
 - Modelo: MX25-BFM/MX25-MFMS
 - Nº de sets: 2
 - Capacidad: 5243820 kcal/h (babor)

1829540 kcal/h (estribor)

○ Caudal:

515 m³/h, 465 m³/h a 36° C

REFRIGERACIÓN CON AGUA SALADA

El sistema de refrigeración por agua de mar tiene tres bombas principales de circulación. Estas bombas succionan de los fondos del barco y llevan el agua directamente a los intercambiadores de calor principales del barco que bajan la temperatura del agua dulce de refrigeración de los motores principales (ya se han nombrado en el apartado “*refrigeración con agua dulce*” de este trabajo). El agua salada del circuito termina otra vez en el mar por ambos lados del barco.

El sistema auxiliar de refrigeración por agua de mar se compone de dos bombas de circulación. Estas bombas se alimentan del mismo colector que lo hacen las bombas principales.

- Especificaciones de las bombas principales de refrigeración por agua salada:

- Marca: Shinko Ind. Ltd.
- Modelo: SVS300M
- Nº de sets: 3
- Capacidad: 700 m³/h x 2.5 bar
- Motor: 75 kW, 1800 rpm

- Especificaciones de las bombas auxiliares de refrigeración por agua salada:

- Marca: Shinko Ind. Ltd.
- Modelo: SVS350MS/SVS350M
- Nº de sets: 2
- Capacidad: 1055 m³/h x 2.5 bar
- Motor: 110 kW, 1800 rpm

Como puede apreciarse en el siguiente esquema, existen varios sistemas que utilizan bombas de circulación de agua salada que succionan del mismo colector principal:

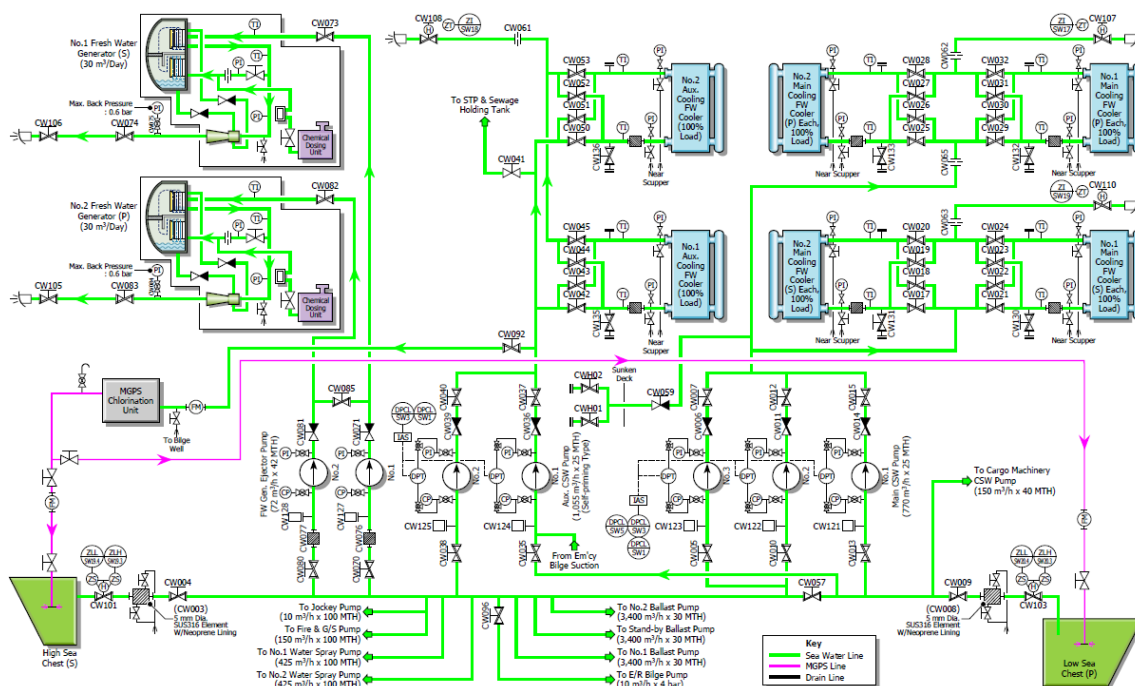


Ilustración 22. Circuito de agua salada. Fuente: Knutsen OAS.

Las bombas de circulación de agua salada son las siguientes

- Bomba “Jockey”: 1 x (10 m³/h x 10 bar)
- Bomba contra incendios y servicios generales: 1 x (150 m³/h x 10 bar)
- Bombas de spray: 2 x (425 m³/h x 10 bar)
- Bombas de lastre: 3 x (3400 m³/h x 3 bar)
- Bomba de sentinas de la sala de máquinas: 1 x (10 m³/h x 4 bar)

Como se explica más adelante, el generador de agua dulce tiene dos bombas que succionan agua salada de los fondos del barco que la hacen circular por los eyectores para crear una presión negativa en la cámara.

MGPS (Marine Growth Prevention System)

Por último, el barco está provisto de un sistema para prevenir, en gran medida, el problema que sucede en todos los barcos: el *fouling*. Los moluscos y plantas marinas que se pegan al casco del barco y hacen que el barco pierda velocidad nominal. Este sistema se llama “MGPS” (Marine Growth Prevention System) y previene el *fouling* a través de las tomas de agua de mar y de todo el circuito de agua salada.

En el esquema anterior se puede ver por el circuito morado, que en la descarga de las descargas de las bombas de circulación auxiliares se desvía una parte para que pase por la unidad MGPS. El circuito termina en los fondos de ambos lados del barco donde la aspiración de las bombas de agua salada recoge esa agua tratada.

- Especificaciones de la unidad MGPS.
 - Marca: Nippon Corrosion Eng.
 - Modelo: MGPS TD-2400PK
 - Nº de equipos: 1
 - Caudal máximo de agua de mar a tratar: 3684 m³/h
- Fuente de alimentación
 - Entrada: AC 440V, 3Ø, 60 Hz, 10.35 A
 - Salida: DC 8 V, 710 A
- Células electrolíticas
 - Intensidad nominal máxima de electrolisis: 710 A
 - Caudal a través de las células electrolíticas: 20 m³/h

SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

En esta sección se hablará de los circuitos principales de aire comprimido para el control de las válvulas neumáticas, del arranque de los motores principales y de los servicios generales del barco.

Para un correcto funcionamiento del circuito están las unidades de secado de aire que funcionan en modo automático. Hay dos unidades que funcionan simultáneamente, mientras una se encuentra operando y secando el aire que pasa a través de él, la otra se encuentra regenerando el desecante. Éste atrapa la humedad dejando el aire seco hacia los sistemas de la sala de máquinas. Cuando el desecante se satura, automáticamente se cambia al modo regenerativo permitiendo a la segunda unidad funcionar normalmente. Después del ciclo regenerativo, la unidad de secado estará lista para quitar la humedad del aire repitiendo el proceso una y otra vez.

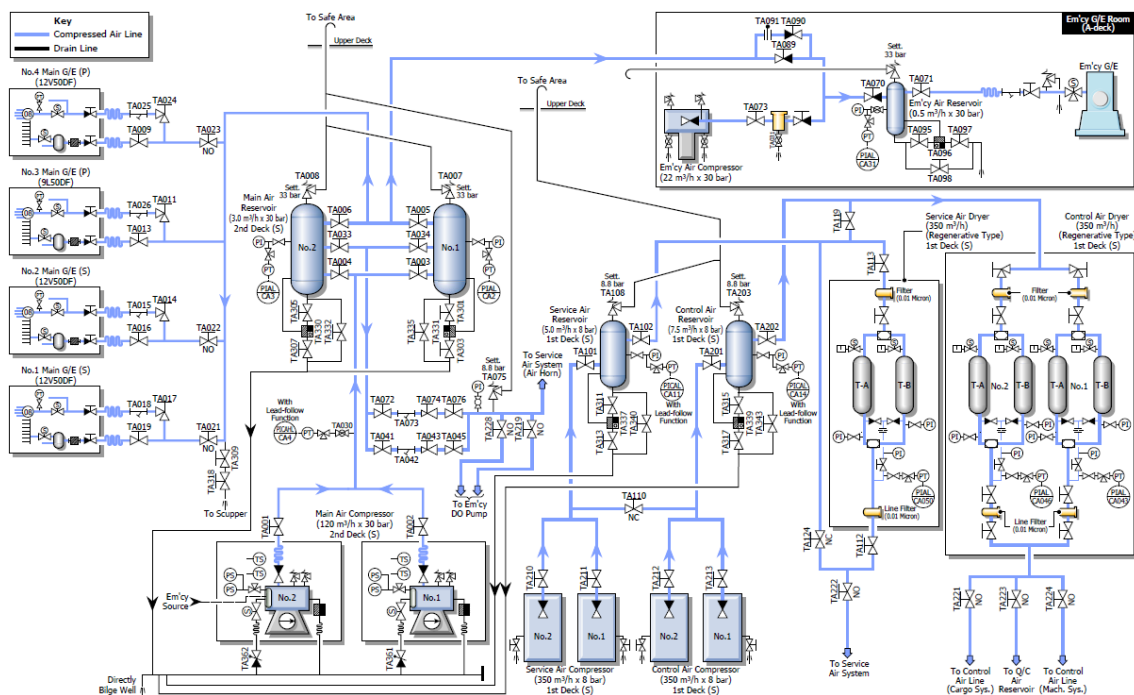


Ilustración 23. Circuito de aire comprimido. Fuente: Knutsen OAS.

AIRE DE CONTROL

El sistema de aire de instrumentación y control provee de aire seco limpio a una presión de 8.0 bar. Este aire es usado para operar las válvulas neumáticas, electro-neumáticas y los “dampers”. Los dampers son escotillas que comunican la sala de máquinas con el exterior, en caso de incendio se cierran localmente de forma neumática para evitar el flujo de aire y así favorecer la extinción del fuego.

Como puede apreciarse en el esquema anterior, dos compresores accionados por un motor eléctrico son los encargados de proveer de aire a la reserva de aire de control y de ahí el aire fluye a través de unos filtros para llegar a los secadores de aire.

Los compresores pueden ser arrancados de forma local pero normalmente se hace de forma remota, desde la sala de control de máquinas. Uno de ellos se encuentra en arranque automático y el otro en *stand-by*.

El compresor que se encuentra en servicio comienza a comprimir aire cuando la presión de la botella de reserva baja de 6.0 bar y se detiene cuando la presión en la misma alcanza los 8.0 bar. Si se da el caso en que la presión baja de 5.5 bar, el segundo compresor arrancará y ayudará al compresor en servicio.

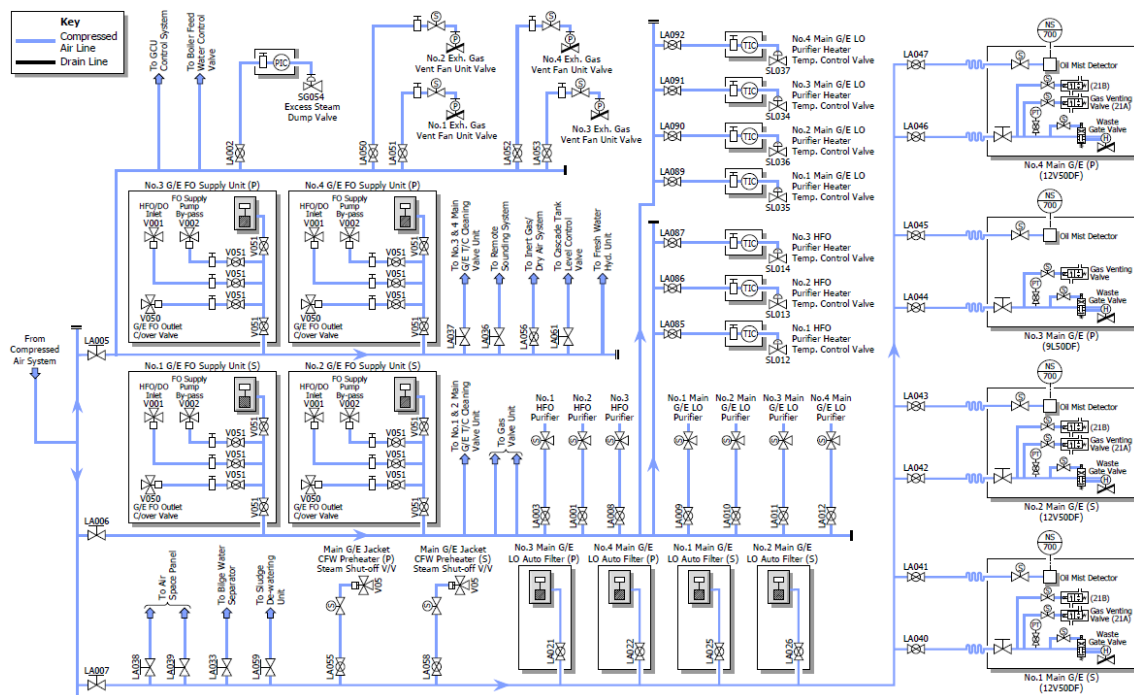


Ilustración 24. Circuito de aire de control. Fuente: Knutsen OAS.

Si, por alguna razón, la presión se mantiene por debajo de 5.5 bar, existe una conexión de emergencia que conecta este circuito con el aire de servicio. Esto permitiría usar el aire de servicio para los elementos de control.

Las botellas de reserva tienen instaladas unas válvulas de alivio ajustadas a 8.8 bar. Siguiendo el circuito, después de las botellas, el aire pasa a través de unos filtros tipo cartucho que eliminan todo tipo de residuos oleosos en el aire.

- Especificaciones de los compresores
 - Marca: Tamrotor Marine Compr. AS.
 - Modelo: TMC40 SA-9
 - Nº de equipos: 2
 - Capacidad: 350 m³/h x 8.0 bar
- Reservas de aire
 - Marca: Kangrim
 - Modelo: AR2705HV
 - Nº de equipos: 1
 - Capacidad: 7.5 m³ x 8.0 bar
- Secador de aire de control
 - Marca: Kyung Nam Dryer

- Modo de secado: Desecante sin calor
- Nº de equipos: 2
- Capacidad: 360 m³/h
- Ciclo de operación:
 - Secado (5 minutos)
 - Regeneración (4 minutos)
 - Re-presurización (1 minuto)
- Punto de rocío: -40° C, 8.0 bar

AIRE DE SERVICIO

El sistema de aire de servicio provee de aire comprimido a 8.0 bar a las diferentes partes del barco, tanto de la sala de máquinas como de la acomodación, el puente, las zonas de carga y en proa. Tiene la misma configuración que el sistema de aire de control, dos compresores de los cuales uno se encuentra en *stand-by* y el otro en servicio.

La diferencia más significativa es el tamaño de la botella de reserva de aire de servicio, es de menor tamaño que la botella de aire de control.

- Especificaciones de los compresores
 - Marca: Tamrotor Marine Compr. AS.
 - Modelo: TMC40 SA-9
 - Nº de equipos: 2
 - Capacidad: 350 m³/h x 8.0 bar
- Reservas de aire
 - Marca: Kangrim
 - Modelo: AR2207HV
 - Nº de equipos: 1
 - Capacidad: 5.0 m³ x 8.0 bar
- Secador de aire de control
 - Marca: Kyung Nam Dryer
 - Modo de secado: Desecante sin calor
 - Nº de equipos: 2
 - Capacidad: 360 m³/h
 - Ciclo de operación: Secado (5 minutos)

Regeneración (4 minutos)

Re-presurización (1 minuto)

➤ Punto de rocío:

-40° C, 8.0 bar

AIRE DE ARRANQUE

Los motores principales y el motor de emergencia necesitan de aire comprimido para arrancar y ambas unidades están provistas de sistemas que comprimen aire a 30.0 bar. Las reservas de aire llevan incorporadas una válvula de alivio calibrada a 33.0 bar para evitar la sobrepresión.

Los compresores, que están calibrados para arrancar automáticamente cuando la presión de las reservas de aire alcanza un punto mínimo, se pueden arrancar desde la sala de control de máquinas o desde el panel de control situado localmente. Cada unidad compresora se compone de una etapa de baja presión (LP) y otra de alta presión (HP) para comprimir el aire que pasa a través de ellos.

Un sistema de refrigeración por agua dulce mantiene las cámaras de compresión a la temperatura adecuada y una bomba de lubricación acoplada mueve aceite lubricante a través del compresor.

Al comienzo de cada arrancada del compresor, un sistema de auto drenado se abre para purgar durante un periodo corto de tiempo y evitar que entre humedad en las botellas de reserva de aire comprimido.

El compresor que se encuentra en servicio comenzará a comprimir cuando la presión baje a 20.0 bar aproximadamente y se parará automáticamente cuando la reserva de aire alcance una presión de 30.0 bar. Si en el caso de que la presión baje de 19.0 bar, el segundo compresor se arrancará para asistir al primero y se parará cuando alcance la presión de 25.0 bar.

El compresor de emergencia es accionado por un motor diésel de cuatro tiempos y se arranca manualmente haciéndolo girar previamente con una manivela. Previamente se descomprime el circuito para que la manivela pueda girar.

- Compresores de aire de arranque.

➤ Marca:

Sperre

➤ Modelo:

HV2/200

➤ Nº de equipos:

2

- Capacidad: 120 m³/h
- Presión de trabajo: 30.0 bar
- Compresores de aire de emergencia.
 - Marca: Sperre
 - Modelo: HL2/77
 - Nº de equipos: 1
 - Capacidad: 22 m³/h
 - Presión de trabajo: 30.0 bar
- Reservas de aire de arranque
 - Marca: Kangrim
 - Modelo: AR1805EV
 - Nº de equipos: 2
 - Capacidad: 3.0 m³ x 30.0 bar
- Reservas de aire de emergencia
 - Marca: Kangrim
 - Modelo: AR0803EV
 - Nº de equipos: 1
 - Capacidad: 0.5 m³ x 30.0 bar

CALDERAS

El circuito de la planta de generación de vapor consiste en dos calderas auxiliares y dos economizadores de gases de escape. El vapor se produce para el calentamiento del FO y para los servicios de vapor generales. La caldera arrancará y parará automáticamente en el caso de que la presión de vapor baje.

- Datos técnicos:
 - Marca: AALBORG Ind.
 - Modelo: MISSION OS
 - Nº de equipos: 2
 - Presión de trabajo del vapor: 7.0 bar (máx. 9.0 bar)
 - Temperatura del vapor: 170° C
 - Quemador tipo: Atomización presurizada
 - Modelo del quemador: KBO.R50M

Esta es una caldera marina de tiro vertical, todas las válvulas y conexiones se encuentran en la parte superior para permitir una fácil conexión con las tuberías del barco. El sistema de control de la caldera MISSION™ OS opera automáticamente el quemador y la propia caldera.

Estéticamente, como puede apreciarse en el siguiente esquema, la caldera está diseñada cilíndricamente con una carcasa que envuelve el hogar también cilíndrico. La carcasa del quemador se encuentra en la parte frontal de la caldera ensamblado de tal manera que se puede abrir para inspeccionarlo sin necesidad de separarlo completamente de la unidad. En caso de que se abra accidentalmente estando en funcionamiento, un interruptor apagará el quemador.

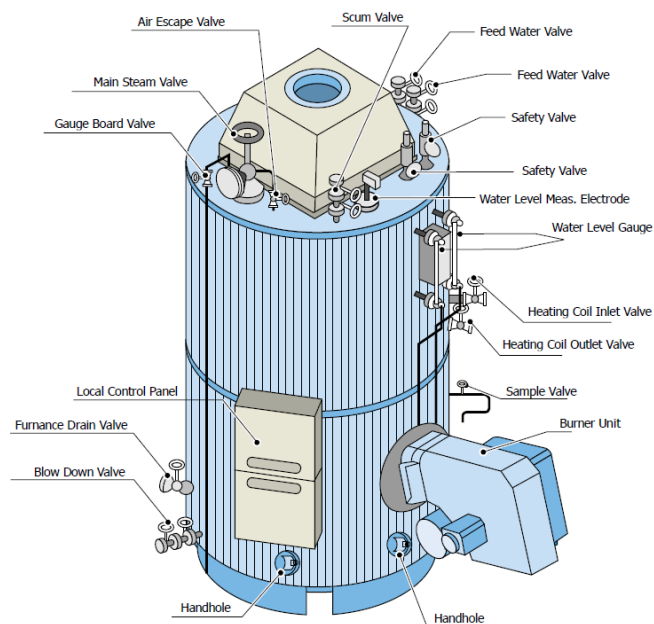


Ilustración 25. Esquema de una caldera pirotubular. Fuente: Knutsen OAS.

Un motor eléctrico se encuentra unido a un lateral de la carcasa del quemador y conectado directamente al ventilador.

Las paredes interiores están protegidas con material refractario y la parte inferior tiene un drenado para sacar el agua de lavado. El quemado de combustible tiene lugar en el hogar y el calor transferido que produce la llama es, principalmente, por radiación.

Existen dos válvulas de seguridad instaladas en la parte superior de la caldera diseñadas para aliviar la presión en la cámara de combustión en caso de sobrepresión. También una purga en la parte inferior con una válvula anti-retorno que evita que vuelva vapor o agua a la cámara por error estando vacía.

El quemador es una unidad presurizada y calibrada al milímetro que puede operar modificando la cantidad de combustible que pasa a través de él. Es capaz de quemar diésel (DO) con una

viscosidad mínima de 4.0 cSt a 5°C, y el fuel pesado (HFO) con una viscosidad máxima de 380/700 cSt a 50° C. Lleva incorporado un ventilador con motor eléctrico a un lado de la carcasa para facilitar la combustión.

El fuel pesado es calentado en un pre-calentador y la temperatura del HFO pulverizado se controla mediante un regulador electrónico que se establece cuando la viscosidad en la boquilla es de 7.5-10.0 cSt.

Cuando el quemador arranca y se alcanza la secuencia de ignición, la llama se produce por la chispa de dos electrodos conectados a un transformador de alto voltaje. Estos electrodos se encuentran justo encima de la tobera y orientados a la salida pulverizada del HFO.

En caso de fallo de la llama durante el proceso normal de funcionamiento de la caldera, existen unas fotocélulas montadas en la parte interior de la carcasa del quemador. Están conectadas al sistema de control y, en caso de fallo de la llama, pararía automáticamente la caldera cortando el suministro de combustible.

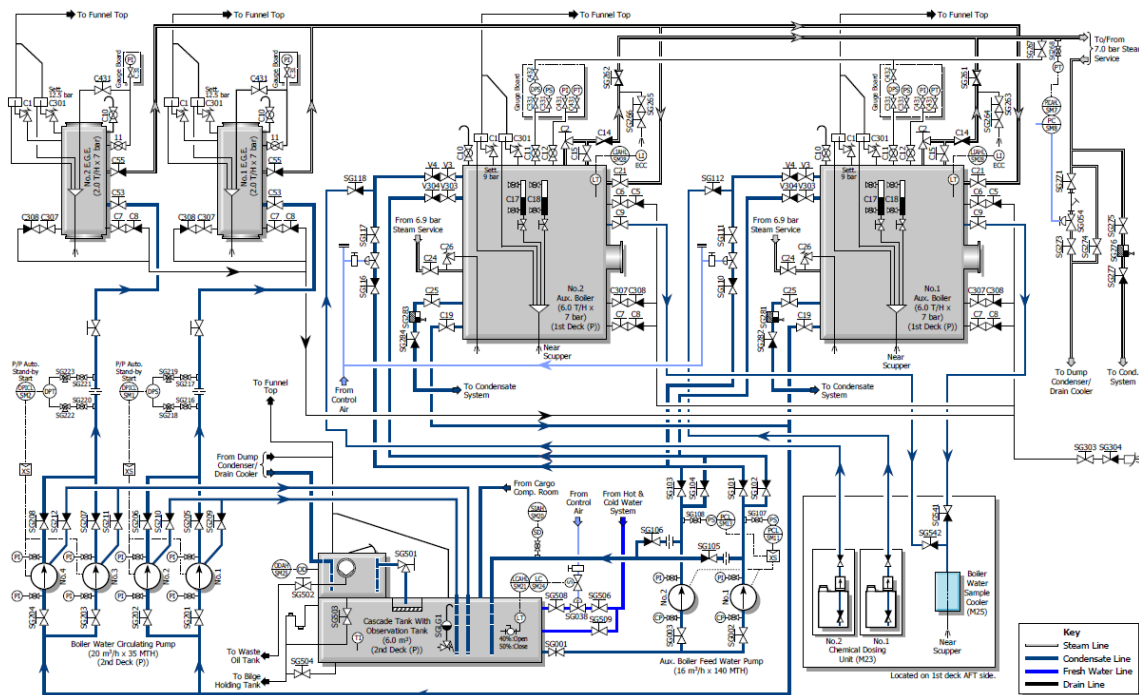


Ilustración 26. Circuito de la planta de vapor. Fuente: Knutsen OAS.

El circuito de agua de alimentación de la planta de generación de vapor circula gracias a las bombas de alimentación que mueven el agua desde el tanque de cascada. La cantidad de agua

que se trasiega se controla automáticamente con una válvula reguladora dependiendo del nivel de agua en la caldera y la presión de vapor.

Las bombas de circulación de la caldera están diseñadas para hacer pasar el agua por los economizadores durante las condiciones normales de navegación y mientras las calderas están paradas. Cuando el agua asciende por los economizadores recibe energía calórica de los gases de escape y lo convierte en una mezcla saturada de agua y vapor.

El vapor circulado que se sale del economizador por las líneas de drenado, acaba en el condensador del tanque de cascada. Este intercambiador de calor es refrigerado con el sistema de refrigeración de agua dulce. Después de eso pasa por un tanque de observación en el que el condensado es monitorizado para el control de contaminación del agua. Si se detecta alguna contaminación sonará la alarma y automáticamente lo hará retornar al tanque de observación otra vez para trasegarlo al tanque del separador de sentinas.

El tanque de cascada provee de agua a las bombas de alimentación con una presión positiva en la entrada. La temperatura de salida del condensador está fijada para que se mantenga en 80°C.

- Bombas de alimentación de la caldera.

- Marca: Shinko Ind, Ltd.
- Modelo: SHQ50MH
- Nº de equipos: 2
- Tipo: Horizontal, centrífuga.
- Capacidad: 16 m³/h x 14.0 bar
- Motor: 22 kW, 3555 rpm

- Bombas de circulación de la caldera.

- Marca: Shinko Ind, Ltd.
- Modelo: BT40-5
- Nº de equipos: 4
- Tipo: Horizontal, centrífuga.
- Capacidad: 20 m³/h x 3.5 bar
- Motor: 5.5 kW, 3525 rpm

PURIFICADORAS

Estos elementos se componen de un motor eléctrico que hace girar el bolo interior de la purificadora. El citado bolo se llena de combustible o aceite y mediante la rotación del mismo, hará que los fluidos más densos, en este caso el agua, y las impurezas se separen del fluido que se quiere purificar.

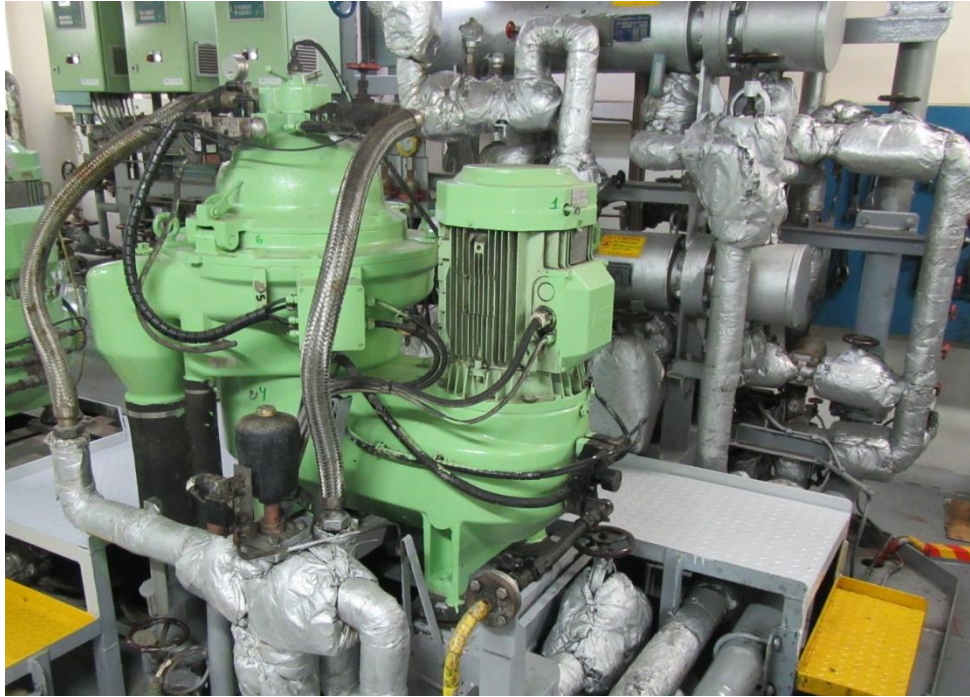


Ilustración 27. Purificadora y calentador. Fuente: Propia.

COMBUSTIBLE

Los sistemas de purificación de HFO y de DO son idénticos con separador centrífugo y con cada uno de los sistemas va incluida una bomba de alimentación y un calentador propio. Hay un tanque de lodos común donde van a parar los residuos de las purificadoras.

Se trata de tres elementos purificadores auto-limpiados de HFO y la Nº 3 se puede configurar para purificar DO. Las bombas de alimentación Nº 1 y Nº 2 succionan de los tanques de sedimentación de HFO mientras que la bomba Nº 3 lo puede hacer también del tanque de almacenamiento de DO haciéndolo pasar antes a través de un filtro.

Las purificadoras son del tipo auto-limpiado en el que el bolo se levanta y automáticamente abre la descarga al tanque de lodos cuando la señal llega al sistema de control.

La separación centrífuga se basa en diferencia de densidades relativas del combustible, el agua y las impurezas. Este movimiento permite que lo más denso (agua e impurezas) queden en la parte exterior del bolo y, una vez abierto, llegue al tanque de lodos. Para aumentar esa diferencia de densidades relativas se aumenta la temperatura el HFO a tratar que se ajusta con una válvula automática que controla el paso de vapor en el calentador.

- Purificadoras de HFO
 - Marca: Westfalia
 - Modelo: OSD 35-0136-067
 - Nº de equipos: 3
 - Capacidad: 5000 l/h
 - Velocidad del bolo: 8200 rpm
 - Viscosidad: 600 cSt a 50°C
 - Tª de separación: 98°C
 - Motor: 3600 rpm, 17.5 kW, 440 V
- Bombas de alimentación de las purificadoras
 - Marca: IMO AB
 - Modelo: ACE 032N3 NQBP
 - Nº de equipos: 3
 - Tipo: Horizontal de engranajes
 - Capacidad: 5.0 m³ x 2.5 bar
 - Motor: 2.50 kW, 3420 rpm
- Calentadores de las purificadoras
 - Marca: Donghwa Entec
 - Nº de equipos: 3
 - Tipo: Tubos en U
 - Capacidad: 5.0 m³ x 60°/98° C

ACEITE LUBRICANTE

Hay cuatro purificadoras de aceite lubricante del tipo centrífugas auto-limpiadas que se utilizan para los motores principales. Se pueden arrancar para purificar aceite durante un período corto de tiempo o para un uso continuado. Normalmente están en funcionamiento continuo, estén los motores en marcha o parados. Hay que tener en cuenta que en el proceso de parada se debe

prestar especial atención a la temperatura del aceite lubricante ya que puede sobrecalentarse debido a una caída en la demanda del aceite.

Las bombas de alimentación de las purificadoras toman aceite del tanque de almacenamiento y lo impulsan directamente al calentador. Aquí se eleva su temperatura pasando a través de una serie de tubos en forma de U por los que pasa vapor.

- Purificadoras de LO
 - Marca: Westfalia
 - Modelo: OSD 18-0196-067
 - Nº de equipos: 4
 - Capacidad: 3400 l/h
 - Tª de separación: 98°C
 - Motor: 8.6 kW, 3600 rpm
- Bombas de alimentación de las purificadoras
 - Marca: IMO AB
 - Modelo: ACE 032L3 NVBP
 - Nº de equipos: 4
 - Tipo: Horizontal de engranajes
 - Capacidad: 3.4 m³ x 2.5 bar
 - Motor: 1.25 kW, 3440 rpm
- Calentadores de las purificadoras
 - Marca: Donghwa Entec
 - Nº de equipos: 4
 - Tipo: Tubos en U
 - Capacidad: 3.4 m³ x 60°/95° C

4.2- GENERADOR DE AGUA DULCE (FWG)

Más del 90 % del agua de la tierra es salada. La sal y las impurezas que contiene hacen que no sea adecuada para los fines que se desean. Por ello, el **generador de agua dulce** hace una labor importante al convertir el agua salada en agua potable junto con el mineralizador del barco.

4.2.1- FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL FWG

El agua pasa de estado líquido a gas a los 100° C, o eso es lo que se enseña en la escuela. Pero existe una matización para que la frase sea correcta del todo y es que cambia a estado gaseoso si la presión a la que se encuentra el líquido es la atmosférica, o lo que es lo mismo 1013 milibares.

Si la presión es mayor a la atmosférica, el agua necesitaría llegar a una temperatura mayor de 100° C para hervir, como ocurre en las ollas de cocina a presión. En cambio, si la presión es menor a la atmosférica el agua puede hervir a una temperatura menor de los 100° C.

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

En un intercambiador de calor se produce el fenómeno de la transmisión de calor, esto significa que las partículas “calientes” de zonas de temperatura alta pasan a zonas de temperatura más baja, y viceversa, equilibrándose así ambas temperaturas. Este fenómeno se produce cuando un fluido entra en contacto con una superficie sólida a una temperatura distinta.

Hay dos tipos de procesos de convección: convección libre o natural y convección forzada. En el primer caso el movimiento de las partículas se origina por la diferencia de densidad en el fluido que es el resultado del contacto con la superficie sólida. En el segundo caso con un aparato que hace circular el fluido sobre la superficie de mayor o menor temperatura. Para cualquiera de las formas de convección la cantidad de calor transmitida es:

$$q_c = \bar{h}_c A (T_s - T_{f,\infty})$$

Donde:

\bar{h}_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección en la interfase líquido-sólido.

A: Área superficial de contacto con el fluido en m^2 .

T_s : Temperatura de la superficie.

$T_{f,\infty}$: Temperatura del fluido lejos de la superficie transmisora de calor.

Este mecanismo de transmisión de calor actuará de forma combinada con otros elementos como la humedad para dar el grado de comodidad del espacio a estudiar.

EVAPORACIÓN AL VACIO

“La evaporación al vacío es una operación unitaria que consiste en concentrar una disolución mediante la eliminación del solvente por ebullición. En este caso, se lleva a cabo a una presión inferior a la atmosférica. Así, la temperatura de ebullición es sustancialmente inferior a la correspondiente a presión atmosférica, lo que conlleva un gran ahorro energético”

4.2.2- FRESH WATER GENERATOR

El sistema de generación de agua dulce se compone de varios sistemas de circulación a parte de los elementos propios del generador. La finalidad principal es producir agua dulce a partir de la evaporación del agua de mar.



Ilustración 28. Vista frontal, lateral y trasera de un FWG. Fuente: Propia.

Especificaciones y rangos del FWG:

- | | |
|------------------|-------------------------|
| • Marca: | Donghwa Entec |
| • Modelo: | DF 23/30 |
| • Nº de equipos: | 2 |
| • Tipo: | De placas / una etapa |
| • Capacidad: | 30 m ³ /día* |

*Con el motor trabajando a plena carga.

DESCRIPCIÓN

El generador de agua dulce aprovecha el calor del agua de refrigeración de camisas para producir agua potable evaporando el agua de mar. Esto se basa en el principio de destilación, se fuerza la evaporación de agua salada en un ambiente de vacío en el cuál el agua puede llegar a evaporarse a 40° C.

Este sistema consta de las siguientes partes:

- Campana. Estructura estanca en la cual todo el proceso de evaporación ocurre dentro de la ella. En la campana se produce la condición de vacío para facilitar la evaporación.
- Sección evaporador. Es un conjunto de placas de titanio situado en la parte inferior de la campana. Se disponen unas contra otras como puede apreciarse en la ilustración 29 y cuando el sistema se encuentre en marcha, estas placas quedaran rodeadas de agua salada. A través de las placas circulará el agua de refrigeración de camisas que hará llevar al punto de ebullición al agua salada produciendo vapor y salmuera.

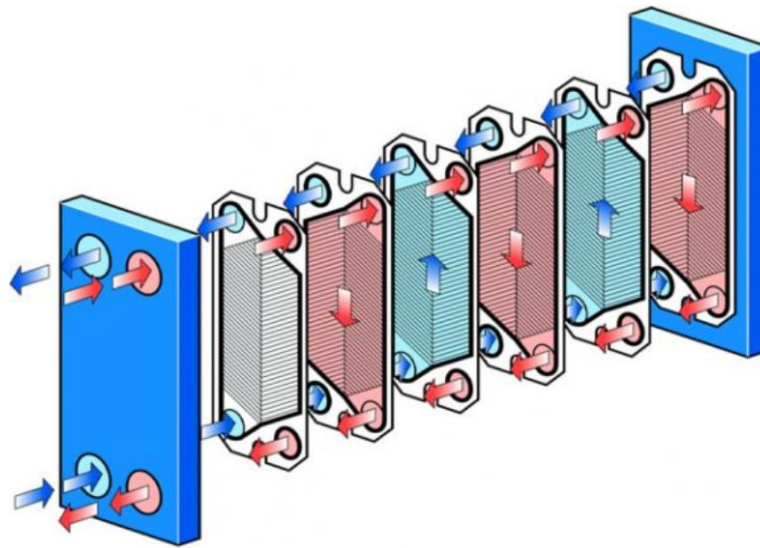


Ilustración 29: Disposición de las placas evaporador/condensador. Fuente: ingenieromarinero.com

- Sección condensador. Al igual que el evaporador, es un conjunto de placas de titanio colocadas en la parte superior de la campana donde el vapor pasa a través de ellas y se condensa debido a la transmisión de calor. A través del condensador pasa agua salada de los fondos del barco.
- Desnebulizador "Demister". Es un filtro separador cuya función es evitar que en una evaporación turbulenta, el vapor producido arrastre exceso de sales hacia el condensador. En la ilustración 29 aparece un FWG de placas en el que se puede ver el evaporador arriba, el condensador en la parte inferior y el filtro desnebulizador.

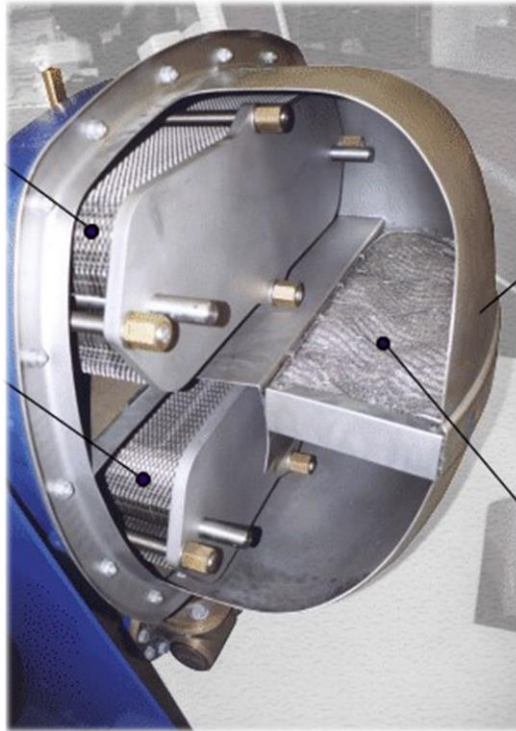


Ilustración 30. Interior de un FWG sumergido. Fuente: IngMaritima.com

- Bomba del eyector. Esta bomba tiene doble función, ya que, extrae la salmuera del fondo de la campana y crea el vacío en ella.
- Bomba de agua dulce. Una bomba independiente hace circular el agua de refrigeración por un by-pass para que recorra el circuito con la presión requerida. Esta bomba se arranca y se para localmente desde el sistema de control del FWG.



Ilustración 31. Fresh water jacket pump. Fuente: Propia.

- Salinómetro. Este aparato mide constantemente la salinidad del agua generada. Se encuentra conectado a una electro-válvula que dejará pasar el agua generada al tanque de uso diario si contiene una cantidad de sales menor de quince partes por millón.
- Panel de control. Contiene los botones de arranque y parada de las bombas, el visualizador de parámetros del salinómetro y las bombillas piloto de las alarmas. (Figura 31. Panel de control)
- Dosificador del producto químico, bomba de agua destilada, válvulas, purgas y tuberías que terminan de formar el sistema de generación de agua dulce.



Ilustración 32. Panel de control del FWG. Fuente: Propia.

FUNCIONAMIENTO

Como puede apreciarse en la ilustración 36 en el anexo de este trabajo, el circuito de agua salada comienza en los fondos del barco y llega al condensador, pasando por el primer elemento a nombrar, la bomba del eyector que puede arrancarse desde el panel de control del FWG.

- Bomba del eyector.
 - Marca: Shinko Ind. Ltd
 - Modelo: SVS125-2M
 - Nº de equipos: 2
 - Capacidad: 72 m³/h x 4.2 bar
 - Motor: 18.5 kW, 1800 rpm

El agua salada es succionada por la bomba del eyector y llevada al condensador que más adelante se hablará de él. A la salida del condensador un retorno que conecta con el evaporador haciendo pasar el agua salada a través de sus placas y alrededor de ellas, que es lo que formará el nivel de agua suficiente para cubrir el evaporador. El caudal de agua que entra a la campana se regula con una válvula de aguja. A partir de ahí, se consigue un equilibrio entre la cantidad de agua que entra y la cantidad que se va evaporando.



Ilustración 33: Disposición del evaporador y condensador en el FWG. Fuente: Propia.

El circuito hará pasar el agua por el eyector que, por el “Efecto Venturi”, creará una condición de vacío dentro de la campana. Después de eso el agua salada volverá al mar por los orificios de rebose del barco junto con la salmuera producida en el condensador.

Por otro lado, se tiene el circuito de agua dulce que refrigera las camisas. En la ilustración (*) se puede apreciar que el recorrido del agua de refrigeración de camisas sigue su camino hasta la válvula ***. Antes y después de la válvula se encuentra el citado subsistema que comienza con la bomba de agua dulce que hace mover el fluido hasta el evaporador donde eleva la temperatura del agua salada que pasa alrededor y a través de las placas. Para regular la temperatura de la cámara del FWG se usan las válvulas de entrada y el by-pass para dejar pasar más o menos agua dependiendo de la necesidad.

- Bomba de recirculación de agua de refrigeración de camisas.
 - Marca: Shinko Ind. Ltd.
 - Modelo: SVS100MG
 - Nº de equipos: 2
 - Capacidad: 43 m³/h x 4 bar
 - Motor: 3.7 kW, 1730 rpm

La presión de vacío es de -0.09 bar, una vez llegado a ese punto de ebullición del agua salada baja y comienza a evaporarse al rato de entrar en contacto con el evaporador. El agua de refrigeración de camisas sale a una media de 85° C. El vapor sube por su baja densidad, pasando por el desnebulizador, y llega al condensador que baja su temperatura que lo convierte en agua con baja salinidad. Una bandeja bajo el condensador recoge el agua condensada y la bomba de agua destilada lo lleva al tanque de agua dulce.

La bomba de agua destilada recoge el agua del condensador y, a la descarga en la descarga, hay un sensor de salinidad que se encuentra conectado a una válvula solenoide. Cuando la salinidad se encuentra por debajo de las 15 ppm la válvula se cierra para dejar que el agua siga su curso hasta el tanque de almacenamiento de agua dulce. Hasta ese momento la válvula solenoide se encuentra activada y hace recircular el agua hacia la cámara. Esta recirculación es posible debido a la presión de vacío que hay en la cámara.

RESULTADOS

El buen funcionamiento del sistema de generación de agua dulce depende, en gran medida, de una correcta manipulación y un mantenimiento periódico de la instalación. Es por eso que las secuencias de arranque y parada deben seguirse como indican los manuales.

5.1- SECUENCIAS DE ARRANQUE Y DE PARADA

La seguridad es lo más importante a la hora de manejar cualquier aparato que se encuentre presurizado. Éste es el caso, por lo tanto, una buena manutención de todos los aparatos que componen el sistema de generación de agua dulce es muy importante y llevar al día las revisiones cada cierto tiempo como indica en los manuales de instrucciones de cada aparato.

Primeramente se explicará el proceso de parada del sistema. Al conocer los componentes en la anterior sección se podrá saber la manera de dejar el sistema despresurizado y todo cerrado. De esta manera el posterior arranque del sistema se hará a la inversa dando lugar al mínimo error de manipulación.

De antemano, sabemos que el FWG se encuentra a pleno rendimiento y funcionando correctamente.

SECUENCIA DE PARADA

- El primer paso sería bajar la temperatura de la cámara hasta conseguir una temperatura inferior a los 40° C. Para ello se cierran paulatinamente las válvulas provenientes del agua de camisas.
- Acto seguido, se para la bomba de refrigeración de camisas y se cierran las válvulas del circuito.
- Se para la bomba de agua destilada y se cierra la válvula que lleva al tanque de almacenamiento.
- Una vez que el sistema se enfría por completo, se para la bomba del eyector y se cierran las válvulas de entrada y salida del condensador.
- Se abren las purgas de vacío y de drenaje de la cámara. El eyector saca la salmuera restante antes de parar la bomba. También se cierra la válvula del dosificador de química.

SECUENCIA DE ARRANQUE

Como ya se ha comentado, el procedimiento de arranque del sistema de generación de agua dulce es a la inversa que el de parada. Por tanto, se empezaría así:

- Se cierran las purgas de vacío y las de extracción. También se abre la válvula de dosificación de química.
- Se arranca la bomba del eyector, que comenzará a crear vacío dentro de la cámara. (aprox. -0.09 mbar)
- Una vez llegado a ese punto, se abren un 20% las válvulas de entrada y salida de la bomba de recirculación de agua dulce de refrigeración de camisas, después se arranca la bomba. Se van abriendo paulatinamente hasta conseguir una temperatura en la cámara por encima de los 40° C. Este proceso debe ser lento para evitar un choque de temperaturas ya que el agua pasa a alta temperatura y contrasta con la temperatura de las placas del evaporador que están en contacto con el agua de mar a unos 18-20° C de media.
- Cuando se alcanza el nivel de vacío y de temperatura adecuados (-0.09 mbar y +40° C, respectivamente), se puede observar por la mirilla si hay paso de agua. Si pasa agua, se arranca la bomba de agua destilada y se abre la válvula que conecta con el tanque de almacenamiento de agua dulce. El sensor de salinidad accionará la electroválvula cuando la salinidad baje de las 10 ppm permitiendo que el agua destilada llegue al tanque.
- Se chequean los siguientes parámetros y, una vez hecho, se puede dejar en su funcionamiento normal:
 - Salinidad del agua producida.
 - Temperatura de la cámara.
 - Presión de vacío.
 - Posibles pérdidas, ruidos, etc.

MANTENIMIENTO

Este sistema que se compone de varios subsistemas debe ser examinado con periodicidad y aplicarle los mantenimientos que indican los fabricantes de cada una de las máquinas.

El sistema de agua salada es el más susceptible de ser problemático, ya que el agua salada tiene más potencia de corrosión y lleva consigo más impurezas que obstruye filtros y tuberías. Por ello se deben revisar los aparatos y partes de la maquinaria que entren en contacto con el agua salada con frecuencia. El fabricante indica que cada 1000 horas de funcionamiento del FWG, los intercambiadores de calor deben ser limpiados y cambiar las juntas en caso de rotura o desgaste.

Por el evaporador circula agua dulce, pero al otro lado de las placas circula agua salada. En el interior de la campana hay situados dos ánodos de sacrificio, para que el proceso de corrosión al resto de elementos del interior disminuya.

A pesar de la química usada para evitar que se quede salmuera entre las placas, se debe abrir el generador y limpiar las placas de los intercambiadores de calor. En la ilustración 35 del anexo de este documento se puede ver la disposición de las placas y la forma de los sellos en cada placa para que el intercambiador funcione correctamente. Una placa mal puesta o mal sellada supondría mirar una por una las 50 placas que lleva cada uno de los intercambiadores.

Dentro de la cámara, las variaciones en la producción del agua destilada se deben en parte al régimen turbulento del vapor que hace que no se aproveche todo el poder calórico del vapor. Instalando unas guías en la parte interior de la campana que permitan que el vapor ascienda hasta el condensador de una forma más laminar, resulta de una producción de agua destilada con una calidad mejor y menor salinidad.

5.2- COMPARATIVA CON OTROS GENERADORES DE AGUA DULCE

FWG DE UNA ETAPA

“Alfa Laval AQUA Blue”. Este es un generador de agua de tipo placas, con la diferencia de usar un intercambiador doble y no poseer campana protectora donde ocurre la condición de vacío. En este caso, el eyector produce el vacío en el propio circuito. Otra ventaja es el tamaño y su que usa menos agua que la mayoría de generadores de agua dulce, por tanto, se traduce en un menor tamaño de tuberías y permite la utilización de bombas más pequeñas. Esto reduce el coste de instalación y el consumo de energía.



Ilustración 34. FWG Alfa Laval AQUA Blue. Fuente: Alfa Laval

El set de placas de titanio hace de evaporador, condensador y desnebulizador. También existe la condición de vacío que se genera con el eyector aunque, como se puede apreciar en la ilustración 31, no lleva una carcasa que envuelva las placas.

Es más compacta que la sometida a estudio y puede instalarse en cualquier dirección, ya que, permite el balance que se produce en los barcos sin afectar a su producción ni a su rendimiento. Tiene un modo automático “start and forget” que permite a los maquinistas una menor supervisión del sistema y los intervalos de mantenimiento son largos.

El agua que produce contiene menor contenido de sales, menos de 2 ppm. Al igual que el del barco, contiene un salinómetro a la salida del FWG que monitoriza el agua destilada para obtener como resultado el agua baja en sales.

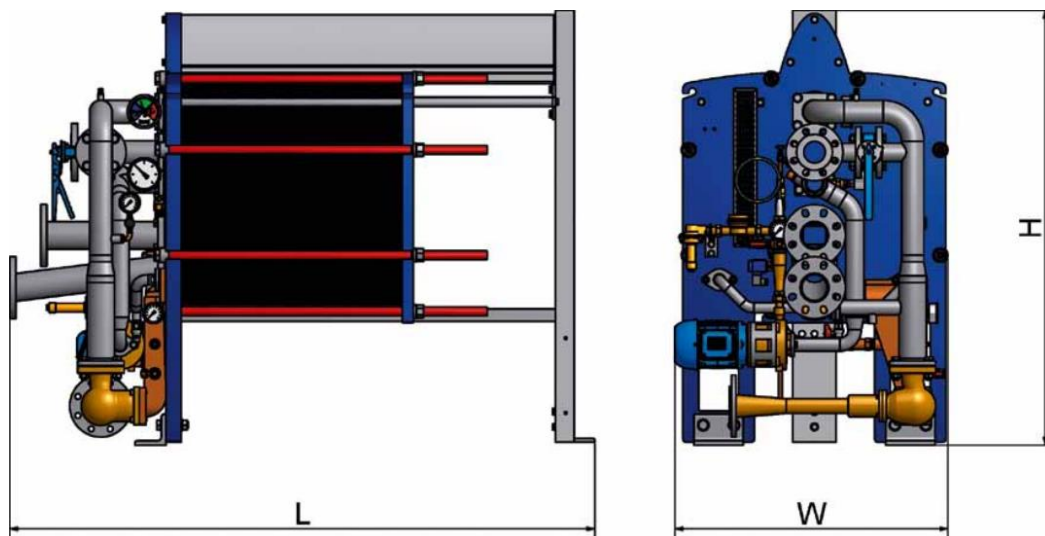


Ilustración 35. Dimensiones del FWG AQUA Blue. Fuente: Alfa Laval

Las dimensiones del FWG son:

- H: 1.40 m
- L: 1.5 m
- W: 0.9 m

FWG TIPO FLASH MULTITETAPA

Los FWG de tipo flash son aquellos en los que la calefacción al agua de mar y el proceso de evaporación de la misma se producen en distintas cámaras. En primer lugar se calienta el agua salada para después llevarla a una cámara de vacío donde se produce la evaporación espontánea.



Ilustración 36. FWG de tipo flash. Fuente: LNG Catalunya Spirit.

Las cámaras están comunicadas por una tubería situada en la parte inferior y el agua puede circular a través de ellas por la diferencia de presiones. En la parte superior de la cámara flash se encuentra el demister, que impide el paso de sales en el agua evaporada al condensador.

Como puede apreciarse en la ilustración 34, el calentador situado en el centro de la fotografía es un intercambiador donde el vapor auxiliar calienta el agua salada, a diferencia del generador de agua dulce *Donghwa Entec*, que usa el agua procedente de la refrigeración de las camisas de los motores. Los eyectores generan el vacío y el vapor que aspira llega al condensador de eyectores junto con el agua de mar.

Este modelo lleva una bomba que extrae el agua salada del evaporador y la devuelve al mar. Su función es evitar la acumulación de sales. El agua al ser calentada por vapor, se tiene el trap, que permite al vapor ceder su máxima energía calórica sin dejar pasar nada de líquido.

Una vez se ha obtenido agua destilada, esta pasa por otro intercambiador de agua salada para bajar su temperatura.

5.3- VENTAJAS E INCONVENIENTES RESPECTO AL FWG DEL BARCO

El generador de agua dulce del barco cumple con los requisitos necesarios y las necesidades de una tripulación, como la del Sevilla Knutsen. Pero no cabe duda que con los avances tecnológicos se adecúan las máquinas a las nuevas necesidades. Los generadores de agua dulce que se han comentado tienen sus ventajas y desventajas en comparación con el existente en el barco.

El AQUA Blue al tener las bombas y tuberías más pequeñas, el consumo eléctrico es menor pero en el barco la energía eléctrica se produce con los generadores, por tanto, no es una ventaja de carácter importante.

Por otro lado, el tamaño de la instalación influye en la cantidad de agua salada que puede mover. El FWG tipo flash tiene un mayor tamaño estructural y unas bombas más grandes, esto le hace generar más toneladas de agua destilada al día.

El tiempo de arranque también es importante. Cada FWG tiene su sistema propio, el modelo Donghwa Entec tiene una serie de pasos a seguir que requieren de un tiempo aproximado de dos horas. Esto es debido a que la cámara tiene que coger temperatura y se debe cerciorar de la ausencia de fugas y procurar que las bombas no se desceben. El modelo AQUA Blue tiene un periodo de arranque similar con la diferencia de no ser necesaria la supervisión de un operario. Los automatismos y los sensores controlan los parámetros para que permanezcan dentro de los baremos. El arranque del modelo tipo flash tiene una duración de entre dos y tres horas.

La calidad del agua destilada que se produce dentro del FWG de evaporador sumergido es algo menor, entre cinco y diez partes por millón. Mientras que en el evaporador flash se obtiene una calidad por debajo de las dos partes por millón de sales. Ambos modelos llevan salinómetros para la monitorización continua del agua destilada que saca la bomba.

La comparación entre estos tipos de generadores de agua dulce es importante ya que siempre se busca la eficiencia energética como objetivo principal. Como se puede apreciar, los dos tipos

de evaporadores tienen la misma función pero emplean métodos distintos para llegar a esa finalidad. Saber cual tiene mayor rendimiento no es sencillo, ya que, intervienen factores importantes.

El evaporador flash mueve y calienta una cantidad de agua mayor pero consume vapor de calefacción. Por otro lado, el evaporador sumergido recupera parte de ese calor en el circuito de condensado.

CONCLUSIONES

- La experiencia y conocimientos que se obtienen en un barco de la marina mercante no pueden compararse con las prácticas realizadas en una empresa de tierra. Se aprende a solucionar los problemas en el momento o a tomar medidas que hagan del problema una experiencia.
- Un factor importante a tener en cuenta es la limpieza y mantenimiento periódicos de los equipos a bordo del buque. Con ello se evitarían muchos de los problemas que puede dar cualquier sistema. Todo ello viene especificado en los manuales de los fabricantes de cada una de las máquinas del barco.
- Con respecto al estudio de viabilidad, el generador de agua dulce existente en el barco cumple con los requisitos requeridos. Una revisión periódica y el cumplimiento de los intervalos de mantenimiento hacen que la maquinaria tenga un buen funcionamiento durante toda su vida útil.
- Se deben tener en cuenta las dimensiones del barco, número de tripulantes y la duración de trayectos que se realizarán para especificar la necesidad del FWG de un tamaño u otro. El agua dulce no se utiliza únicamente para tener agua potable en el barco sino para la limpieza general del barco. Por ello, este modelo que genera treinta toneladas de agua dulce al día es ideal para este barco.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFIA

- M.A.Darwish, «Fundamentals of Multiple Effect Evaporation», Thermal Desalination Processes, Vol. II, 2010, pp. 78 – 153.
- H.T. El-Dessouky y H.M. Ettouney, Fundamentals of Salt Water Desalination, Elsevier Science, 2002.
- «Desalination plant», Documento accesible por internet en la dirección:
http://www.stxhi.co.kr/Eng/Biz/sea_fresh.aspx
- TFG «Cálculo y Diseño de un Generador de Agua Dulce». Autor: Francisco Uazcatégui García
- Marine Auxiliary Machinery Seventh Edition H. D. McGeorge Butterworth-Heinemann 1995
- www.ntonreiro.es
- www.ingmaritima.blogspot.com
- Instruction Manual for Fresh Water Generator. Alfa Laval
- <http://hidrologiasostenible.com>
- <https://www.controlgraf.com/evaporadores/evaporacion-al-vacio.htm>
- <http://oa.upm.es/transmision-calor>
- <http://www.unet.edu.ve>
- Ugo Besson. *Cooling and warming laws: an exact analytical solution*. Eur. J. Phys. 31 (2010)
- <https://marineengineeringonline.com>
- http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/evaporacion.pdf
- <https://www.farad.gr/products/fresh-water-generators>
- <http://www.sasakura.co.jp/e/products/water/103.html>
- Manual de operaciones del Sevilla Knutsen
- Manual de instrucciones

	INSTRUCTION FOR OPERATION & MAINTENANCE	DATA : REV.NO. : 0 PAGE : 16 OF 27
---	---	--

*The Plate Of Evaporator & Gasket Shape.	*The Plate Of Condenser & Gasket Shape.
 Photo.1 First Plate & Gasket	 Photo.1 First Plate & Gasket
 Photo.2 No.2 Plate & Gasket	 Photo.3 No.2 Plate & Gasket
 Photo.4 No.3 Plate & Gasket	 Photo.5 No.3 Plate & Gasket
 Photo.6 The End Plate & Gasket	 Photo.6 The End Plate & Gasket
<p> ☞ The First Plate & No.3 Plate's shape are same but different in gasket. ☞ The End Plate & No.2 Plate's shape are same but different in gasket. ☞ The First Plate of Evaporator & The first Plate of Condenser are same. ☞ The End Plate of Evaporator & The End Plate of Condenser are same. </p>	

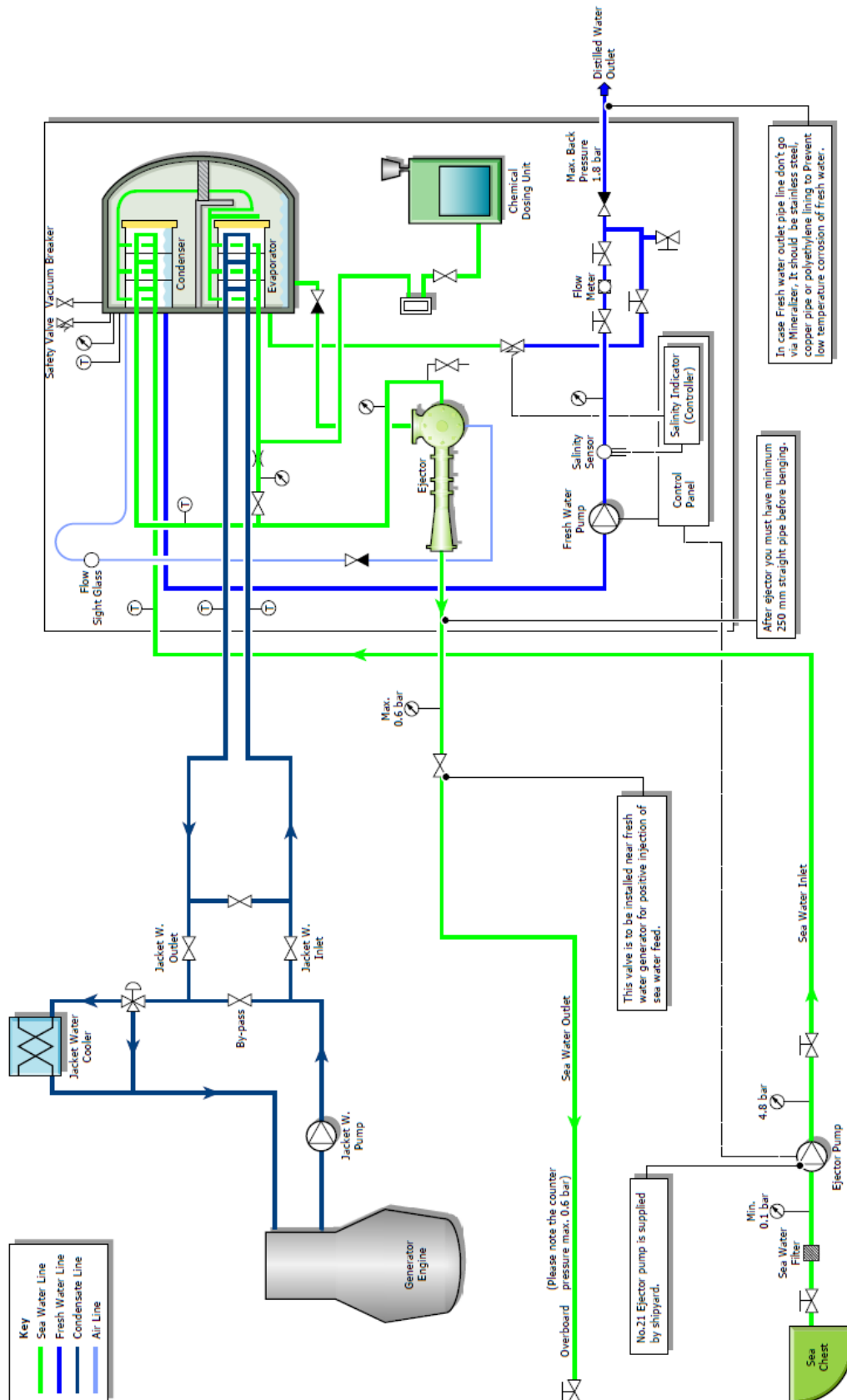


Ilustración 38. Esquema de los sistemas del FWG. Fuente: Knutsen OAS.

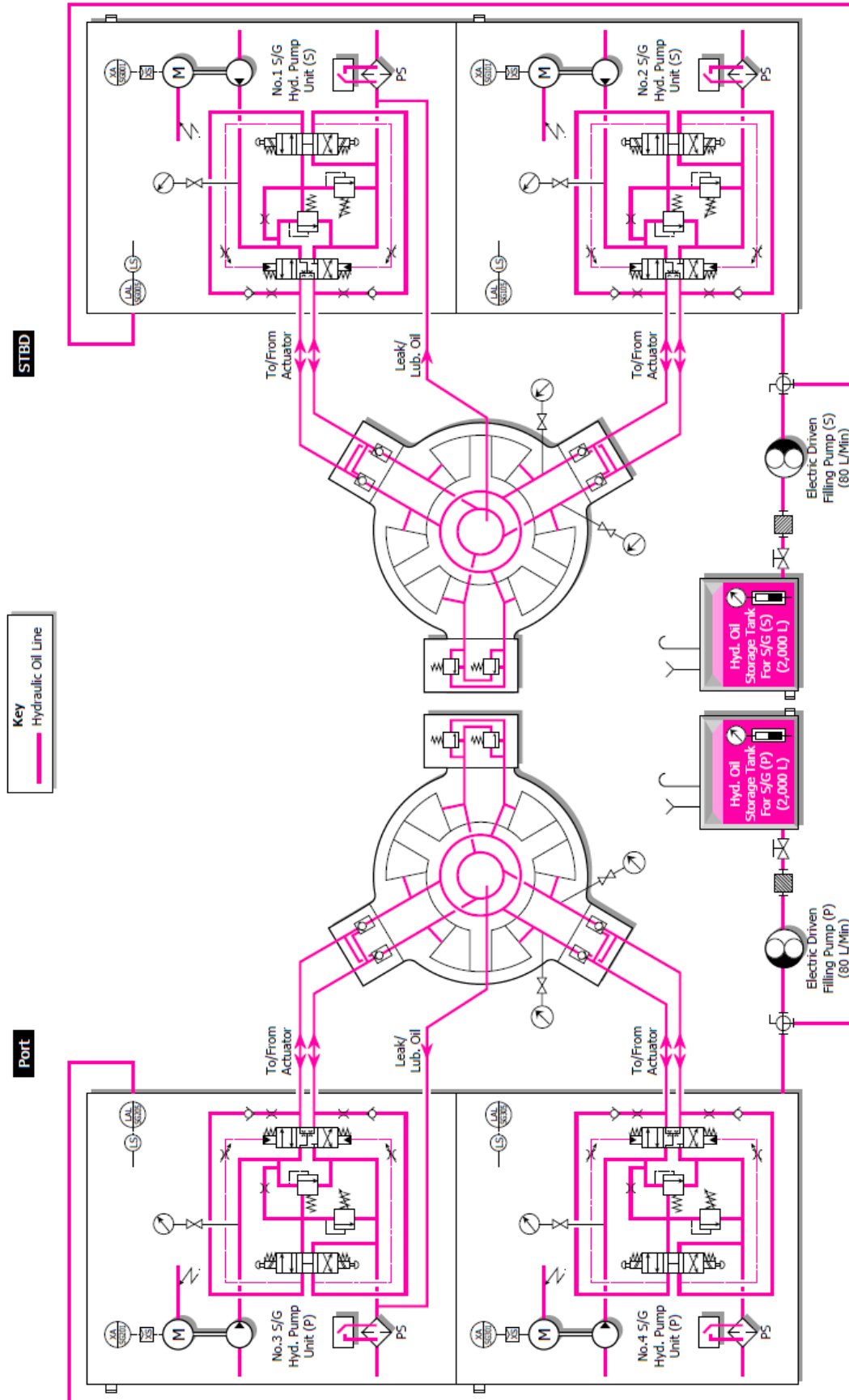


Ilustración 39. Esquema del servo. Fuente: Knutsen OAS.

