



TRABAJO FIN DE GRADO



BUQUE PARA LA INSTALACIÓN DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE

Definición de la planta propulsora y de sus auxiliares

AUTOR:	Alejandro Caridad Bouza
TUTOR:	D. Luís Carral Couce
ESCUELA:	Escuela Politécnica Superior Ferrol
UNIVERSIDAD:	Universidad de A Coruña
Nº DE CUADERNO:	10
FECHA:	Febrero 2015



Escuela Politécnica Superior

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

NÚMERO: 13-P9.

TIPO DE BUQUE: BUQUE PARA LA INSTALACIÓN DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:
GERMANISHER LLOYD, SOLAS, MARPOL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 12 AEROGENERADORES DE 3,6 MW.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 13 NUDOS AL 80% DE MCR CON UN 15% DE MARGEN DE MAR Y AUTONOMÍA DE 35 DÍAS.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: GRÚA PRINCIPAL DE 1.200 T DE CAPACIDAD DE IZADO CON UN RADIO DE 40 M.

PROPULSIÓN: DIÉSEL ELÉCTRICA.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 110 TRIPULANTES.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: LAS HABITUALES EN ESTE TIPO DE BUQUES.

Índice

1. Introducción	1
2. Planta de Potencia	2
2.1. Motores eléctricos	3
2.2. Otros consumidores	5
2.3. Conexiones y elementos entre diésel-generadores y consumidores	5
2.4. Número y características de los diésel-generadores	6
3. Justificación potencia motor propulsor (por diésel-generador)	9
4. Dimensionado de los sistemas auxiliares (por compartimento de CC.MM.)	10
4.1. Sistema de aire de arranque	10
4.2. Sistema de refrigeración	11
4.3. Sistema de combustible	12
4.4 Sistema de lubricación	14
4.5 Sistema de ventilación	16
5. Disposición de cámara de máquinas	18
6. Bibliografía	19
Anexo 1 Especificación Diésel-Generadores y Sistemas Auxiliares.....	20
Anexo 2 Disposición General Cámara de Máquinas	32

1. Introducción

En este cuaderno en la mayoría de los casos consiste en definir el motor principal del buque, es decir, el que se encuentra conectado al propulsor principal pero en este caso al tratarse de una planta diésel-eléctrica no existe un motor exclusivo para la propulsión, sino que, los diésel-generadores suministrarán potencia a todo el buque, por lo que definir la planta propulsora implica definir la cámara de máquinas. Para definir la cámara de máquinas se realizará un estudio a fondo de los propulsores y estimación de los demás equipos.

Será necesario realizar este cuaderno de forma conjunta con el Cuaderno 11. Balance Eléctrico, dado que, es en este donde se calculará la potencia eléctrica necesaria (teniendo en cuenta todas las actividades del buque). Cabe citar que a su vez el Cuaderno 11 precisa de los datos del Cuaderno 10, concretamente de los equipos auxiliares de diésel-generadores para poder obtener resultados adecuados, es decir, para realizar los cálculos de uno de los cuadernos habrá que suponer ciertos valores del otro.

En este caso se ha comenzado por el Cuaderno 10 suponiendo una potencia eléctrica demandada en base a lo calculado en el Cuaderno 1 (Estimación de potencia y selección del diésel-generador). Cuando se realice el Cuaderno 11 se comprobará que la estimación realizada no se desvía demasiado del caso que se trata en este trabajo, de no ser así se deberán realizar de nuevo los cálculos.

El desarrollo de este cuaderno se basa en gran parte en el artículo “Maritime Electrical Installations and Diésel Electric Propulsion” de Alf Kare Adnanes para ABB Marine, donde se dan nociones básicas acerca de este tipo de propulsión y en la guía del motor empleada para el dimensionamiento de los sistemas auxiliares.

A continuación se muestran las características principales del buque a diseñar:

L (m)	144,84
Lpp (m)	138,65
B (m)	40,65
T (m)	5,36
D (m)	9,24
Cb	0,78
Cm	0,99
Cp	0,79
Cwp	0,85
Desplazamiento (t)	29.546,74
Vs (velocidad de servicio) (kns)	13
Nº tripulantes	110

Tabla 1: Características principales.

2. Planta de Potencia

Lo primero que se debe hacer, es describir el funcionamiento de una planta de estas características. En este caso, se tendrán varios diésel-generadores que generarán la energía eléctrica, la cual, se distribuirá hasta los motores eléctricos que accionarán los propulsores.

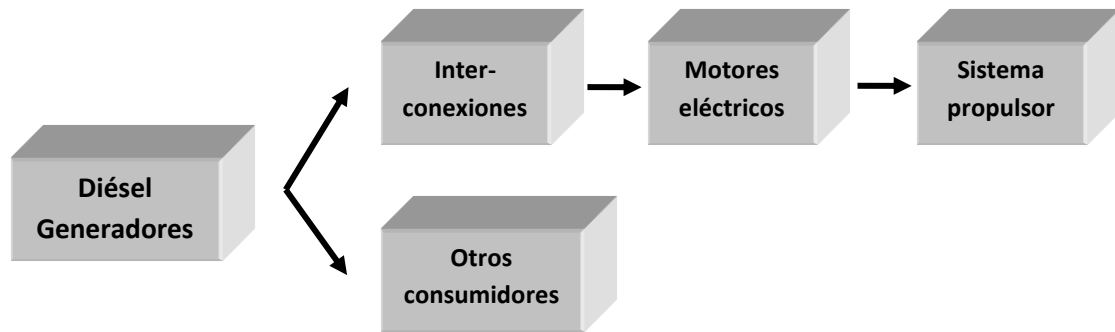


Figura 1: Esquema de distribución.

Las plantas diésel eléctricas se diferencian unas de otras por: El tipo de motores eléctricos seleccionados (pueden ser de corriente continua, o alterna, síncronos o asíncronos...), en las interconexiones entre generadores y motores (en función del motor, serán necesarios transformadores, rectificadores...), el sistema propulsor (Azimutal, Pod, hélice convencional...) y por el tipo de buque, pues este, determina el apartado de otros consumidores. Los generadores diésel, no se tienen en consideración, pues, estos solo dependen de su potencia, ya que, generalmente son todos de corriente alterna.

Una vez explicado el funcionamiento básico del sistema y que los propulsores finales han sido dimensionados en el Cuaderno 6, se deberán tener en cuenta los siguientes puntos a la hora de escoger la disposición básica de la planta:

- Tipología y características de los motores eléctricos.
- Conexiones y equipos entre los diésel-generadores y los motores eléctricos.
- Número y características de los diésel-generadores.
- Consumidores no destinados a la propulsión.

2.1. Motores eléctricos

A partir de los buques estudiados para la realización de la base de datos, se ha decidido emplear motores de corriente alterna asíncronos para el accionamiento de los sistemas propulsores. Para argumentar esta elección, se citan a continuación las características de cada tipo de motor:

- Los motores de corriente continua, suministran una potencia constante a diferentes revoluciones, lo cual, se consigue, mediante un regulador de campo, cuyo funcionamiento es análogo, a un hipotético dispositivo mecánico formado por un engranaje reductor, con una relación de reducción infinitamente ajustable, que permita al motor primario funcionar a una velocidad constante, mientras que, la velocidad del propulsor, varía con la carga.

Son capaces de conseguir grandes pares para las diferentes velocidades de trabajo.

Estos motores, son los más silenciosos dentro de los motores eléctricos, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde se requieran bajos niveles de ruido, o vibraciones.

La pega que presentan estos motores, es que son los más ineficientes de todos los estudiados, además de requerir mayores costes de mantenimiento y adquisición y tener un ciclo de vida más corto que sus competidores. Estas características, harán que se descarte esta opción.

- Los motores de corriente alterna son los más usados en la industria eléctrica y están experimentando grandes avances en su campo de funcionamiento y gamas de precios.

Su diseño robusto y simple asegura en casi siempre unos largos periodos de vida y un coste mínimo de mantenimiento además de una gran fiabilidad.

Pueden ser usados tanto como motores de velocidad constante directamente conectados a la red, o como motores de velocidad variable si se alimentan mediante un convertidor de frecuencia.

Estos motores tienen un rendimiento entorno al 90 % y un coste de adquisición y mantenimiento menor que sus competidores. Se suelen utilizar en gamas de potencia de hasta 7 Mw. Por estas razones y porque los buques estudiados emplean este tipo de motores se ha escogido esta opción como solución final para la planta en estudio.

Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 10: Definición de la planta propulsora y de sus auxiliares

- Los motores de tipo síncrono, poseen un alto rendimiento y bajo mantenimiento. Estos motores, se emplean poco en buques, excepto, en casos de grandes requerimientos de potencia, mayores a 5 Mw. Por estos motivos, para el caso en estudio, los motores asíncronos son los más rentables.

En el siguiente cuadro se resumen las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de motores estudiados.

	MOTORES CC	MOTORES ASÍNCRONOS	MOTORES SÍNCRONOS
VENTAJAS	<p>Suministran potencia constante a diferentes velocidades de trabajo.</p> <p>Capaces de producir grandes pares a diferentes velocidades de trabajo.</p> <p>Muy silencios.</p> <p>Producen pocas vibraciones.</p> <p>Fáciles de regular.</p>	<p>Alto rendimiento (0,90).</p> <p>Bajo coste de mantenimiento y adquisición.</p> <p>Motores robustos y fiables.</p>	<p>Alto rendimiento (Mayor a 0,90).</p> <p>Bajo coste de mantenimiento y adquisición.</p> <p>Bajo empacho a misma potencias que sus competidores</p>
DESVENTAJAS	<p>Alto coste de mantenimiento.</p> <p>Alto coste de adquisición.</p> <p>Menor ciclo de vida.</p> <p>Se averían más fácilmente.</p> <p>Menor rendimiento (0,80).</p> <p>Menores rangos de potencias.</p>	<p>Mayor empacho que los síncronos.</p> <p>Más ruido y vibraciones que CC.</p>	<p>Más caros para la potencia necesaria.</p> <p>Más ruido y vibraciones que CC.</p>

Tabla 2: Ventajas y desventajas.

Teniendo en cuenta estas características, se elegirá un motor de corriente alterna, asíncrono.

2.2. Otros consumidores

A la hora de diseñar la planta propulsora, hay que tener en cuenta también, consumidores que no sean los propulsores principales, pues, al ser una planta diésel eléctrica, los diésel-generadores suministrarán energía eléctrica a todo el buque.

En base al estudio de diferentes buques de características similares, al de este trabajo, se estimó que en la condición más desfavorable, la potencia absorbida por estos consumidores, será de aproximadamente 10 MW. Esta potencia puede parecer elevada, pero, no se pueden olvidar el sistema de patas de elevación, (7.560 kW) o los propulsores para maniobra, que necesitarán una gran cantidad de energía (Para más datos ver Anexo 1 del Cuaderno 11).

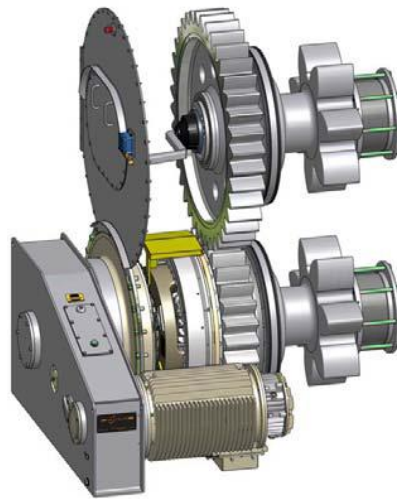


Figura 3: Motores patas de elevación.

2.3. Conexiones y elementos entre diésel-generadores y consumidores

Una vez escogidos los requerimientos de potencia es necesario dimensionar los elementos que conectaran estos a los diésel-generadores. En este cuaderno se describirán los elementos necesarios para esta conexión, en el Cuaderno 11 se realizará un diagrama unifilar en el cual se tratarán mayor profundidad estos equipos.

Los diésel-generadores se conectarán a las barras principales, a las que suministrarán corriente alterna. De estas barras, la corriente, se distribuirá a los diferentes consumidores (grúas, motores eléctricos, luminarias...). La corriente, se generará a 380 V y 50 Hz la cual, antes de llegar a algunos consumidores, ha de pasar por transformadores y convertidores de frecuencia, para que, se adecue a las necesidades de éstos.

2.4. Número y características de los diésel-generadores

Como se explicó en la introducción, la potencia requerida por los servicios del buque, se calculará de forma precisa en el Cuaderno 11, pero, para ello, son necesarios datos del presente cuaderno, por lo que se han de suponer, unos requerimientos de potencia, a partir del estudio de buques similares.

Los consumidores que caracterizan la potencia en este tipo de buques son:

- Potencia propulsora (Calculada en el Cuaderno 6).
- Posicionamiento dinámico.
- Sistema de patas de elevación.

Suponiendo unas pérdidas de potencia desde la máquina al propulsor de un 8 % recomendadas en el libro “Máquinas para Propulsión naval” de Enrique Casanova Rivas y también en el artículo “Diésel Electric Propulsion Plants” de la casa Man se estiman los siguientes consumos en función de la Condición del buque:

1.2 Eficiencias in diesel-electric plants

A diesel-electric propulsion plant consists of standard electrical components. The following efficiencies are typical:

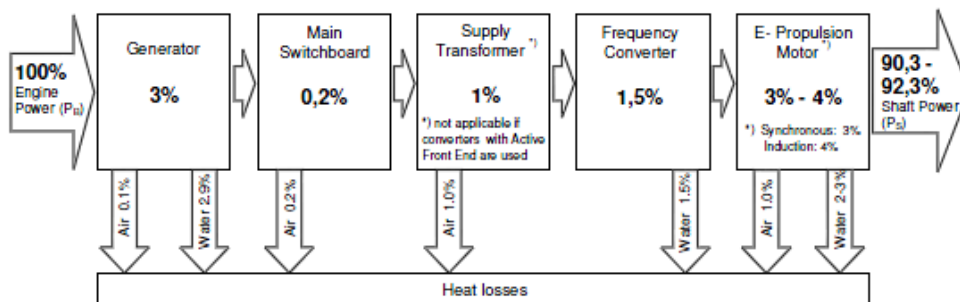


Figura 3: Motores patas de elevación.

	Potencia Eléctrica requerida (kW)
Navegación	17.500
Posicionamiento dinámico	12.800
Elevación	12.800
Combinación	23.500
Puerto	2.500
Emergencia	700

Tabla 3: Requerimientos de potencia.

Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 10: Definición de la planta propulsora y de sus auxiliares

Una vez calculada la potencia requerida por el buque en las diferentes condiciones, se determinará el número de diésel-generadores. Teniendo en cuenta que:

- Generalmente, cuanto mayor es el equipo, menor consumo por kW generado.
- A menor número de equipos, menos necesidades de mantenimiento y equipos auxiliares.
- Disponer de equipos diferentes, requiere de un mayor mantenimiento y conocimiento por parte de la tripulación.
- Contar con más equipos proporciona mayor versatilidad y seguridad frente averías.
- La potencia requerida en la Condición de emergencia será suministrada por un generador independiente (Generador de Emergencia).

Teniendo esto en cuenta y sabiendo que el buque va a tener requerimientos de potencia muy diferentes, se ha tomado la determinación de instalar todos los diésel-generadores iguales.

Acudiendo al catálogo de diésel-generadores de la marca Mak-Cat, se encuentra un equipo que cumple con todos los requerimientos.

Mak 16 VM 32C		
kW	8.000	
KVA	9.600	
Diésel- generador (kW)	Número	Pot. Total (kW)
6.400	4	25.600
Condición	Potencia requerida (kW)	Pot. sobrante/deficiente (kW)
Navegación	17.500	1.700
Posicionamiento dinámico	12.500	300
Elevación	12.000	800
Combinación	23.500	2.100
Puerto	2.500	-
Emergencia	52	-

Tabla 4: Mak 16 VM 32C.

Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 10: Definición de la planta propulsora y de sus auxiliares

Como se aprecia, los márgenes están bastante ajustados, salvo en el caso de la combinación, pero dado que, estos requerimientos de potencia solo se dan cuando funcionan a la vez el posicionamiento dinámico y las patas de elevación (lo cual sucede durante un período muy corto de tiempo) por lo que se consiente este sobrante de potencia. Por estas razones y dado que en los catálogos estudiados no se encuentra un generador que proporcione mejores resultados, se ha tomado la decisión de instalar 4 diésel-generadores Mak 16 VM 32C (elección que coincide con la tomada en el apartado 5 del Cuaderno 1).

Los parámetros de funcionamiento del motor se muestran en el apartado 1 del Anexo 1.

3. Justificación potencia motor propulsor (por diésel - generador)

Con el fin de comprobar que la potencia del motor es la que dice el fabricante, se calculará la potencia de este, a partir de la presión media efectiva, las revoluciones del motor, el volumen de los cilindros y en función del tiempo (dos o cuatro):

$$Volumen\ cilindro\ (cm^3) = L * \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$BHP\ (HP/cil.) = \frac{n\ (rpm) * pme\ (bar) * V_{cilindro}(cm^3)}{a * 450000}$$

$$Potencia\ total = Pot/cil. * n^{\circ}\ cilindros$$

Utilizando estas fórmulas, se consiguen los siguientes resultados:

Mak 16 VM 32C		
Volumen cilindro	33.939,25	cm ³
D	32	cm
L	42,20	cm
pme	21,60	bar
BHP	610,90	hp/cil.
n	750	rpm
a	2 (cuatro tiempos)	-
n° cilindros	16	-
Pot. total	9.774,50	hp
Pot. total calculada	7.288,84	kW
Pot. catálogo	8.000	kW

Tabla 5: Resultados justificación.

Como se aprecia, la potencia calculada, se diferencia en un 8,89 % de la de catálogo. El origen de esta desigualdad, se puede encontrar en la inexactitud del método de cálculo empleado, pues, para determinar de forma exacta la potencia de un motor, habría que tener en cuenta otras variables, como, la existencia de turbo-compresores, forma de difusión del combustible en el cilindro, rendimiento... A pesar de ello, este cálculo permite concluir que los datos proporcionados por el fabricante son fiables.

4. Dimensionado de los sistemas auxiliares (por compartimento de CC.MM.)

Una vez determinado el modelo y número de generadores, se dimensionaran los sistemas auxiliares. Los cálculos se realizarán de tal forma, que los sistemas permitan, en situación de emergencia, el funcionamiento de generadores por encima del régimen indicado en la R.P.A. (80 % MCR). Además de esto al estar la Cámara de Máquinas Compartimentada en dos (Etribor y Babor) los sistemas se diseñarán de forma los generadores de cada compartimento puedan funcionar de forma completamente independiente.

Por lo dicho anteriormente los cálculos que se realizarán a continuación serán para un compartimento.

Los sistemas a dimensionar son:

- Sistema de aire de arranque (dimensionado según en la guía del motor).
- Sistema de refrigeración (dimensionado según en la guía del motor).
- Sistema de combustible (dimensionado según en la guía del motor).
- Sistema de lubricación (dimensionado según en la guía del motor).
- Sistema de ventilación (dimensionado según UNE EN-ISO 8861:1998).

4.1. Sistema de aire de arranque

El sistema de arranque cumplirá los siguientes requisitos: La calidad del aire será de clase 4. El número de botellas será de 2, con una capacidad de 500 litros cada una, se dispondrá de dos grupos electrógenos, sus dimensiones serán de 3.355 mm de largo por 480 de diámetro y la válvula de la botella será DIN 50. El peso de cada botella es de 320 kg.

En lo referido a los compresores, estos serán 2, los cuales permiten, de forma separada, llenar las botellas en menos de una hora, a una presión de 30 bares, por lo que su caudal será de 30 m³/h.

Por último, se instalará un turbo-cargador para servicio de limpieza, con un caudal de 20-25 l/min y un tiempo de inyección de 10 min.

Las tablas, fórmulas y referencias utilizadas para el cálculo de este sistema, así como un diagrama del mismo, pueden encontrarse en el apartado 2 del Anexo 1.

4.2. Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración está formado por dos circuitos, uno de alta y otro de baja temperatura, con los siguientes componentes: Una bomba de circulación de agua fría, con su consiguiente bomba de respeto (FP4/FP6). Dos bombas de circulación de agua caliente (FP3/FP5), una de las bombas es de respeto por si ocurre algún fallo en la principal. Un sensor de temperatura del agua caliente (FR1) y otro para la temperatura del agua fría (FR2). Se llevará un pre-calentador (FH5), conectado a la bomba de pre-calentamiento (FP7), esta bomba lleva otra en paralelo para el caso de que no sea necesario pre-calentar el agua, o por si ocurre un fallo en el pre-calentador, este sistema, se encuentra integrado en el motor. También se dispondrá de un controlador de temperatura del aire introducido (CR1). Para la disipación de calor, se cuenta con dos intercambiadores de calor con el sistema de agua salada, una para enfriamiento del agua del sistema de alta temperatura (FH1) y otro para el de baja (FH2). Por último, en lo referido al sistema de abastecimiento, este constará en el caso del sistema de agua dulce, de dos tanques (FT1/FT2), mientras que, en el de agua salada, de dos bombas, una de respeto (SP1 Y SP2).

Conocidas las temperaturas del agua salada, así como, las del agua dulce y mediante un balance térmico se dimensionan los distintos equipos:

$$T_{ase}^a = 32^{\circ}\text{C}$$

ase: agua salada entra.

$$T_{ass}^a = 47.80^{\circ}\text{C}$$

ass: agua salada sale.

$$T_{adb}^a = 38^{\circ}\text{C}$$

adb: agua dulce baja temperatura.

$$T_{ada}^a = 63^{\circ}\text{C}$$

ada: agua dulce alta temperatura.

$$T_{adsm}^a = 90^{\circ}\text{C}$$

adsm: agua dulce sale del motor.

- **Enfriadores de aire:** El enfriador 1, el cual se encuentra integrado en el motor, posee una capacidad de intercambio de calor de 2.875 kW y un caudal de 130 m³/h. El enfriador 2 tendrá una capacidad de intercambio de 1.300 kW con un caudal de 160 m³/h.
- **Bombas de alta temperatura:** Las bombas para esta función se definirán para un caudal de 260 m³/h y una presión de 4,50 bar.
- **Bombas de baja temperatura:** Las bombas para esta función se definirán para un caudal de 280 m³/h y una presión de 3 bar.
- **Enfriador de aceite:** El intercambiador del aceite de lubricación ha de ser dimensionado para un intercambio de 2.334 kW y un caudal de 200 m³/h.
- **Enfriador del generador:** Ha de poder intercambiar 500 kW para un caudal de 80 m³/h.

Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 10: Definición de la planta propulsora y de sus auxiliares

- **Enfriadores de agua:** El poder de intercambio de los enfriadores (en función de si son de alta o de baja temperatura) es de 7.980 kW (alta) y 4.134 kW (baja).
- **Bombas de agua salada:** Estas bombas serán de 660 m³/h a 2,50 bar.

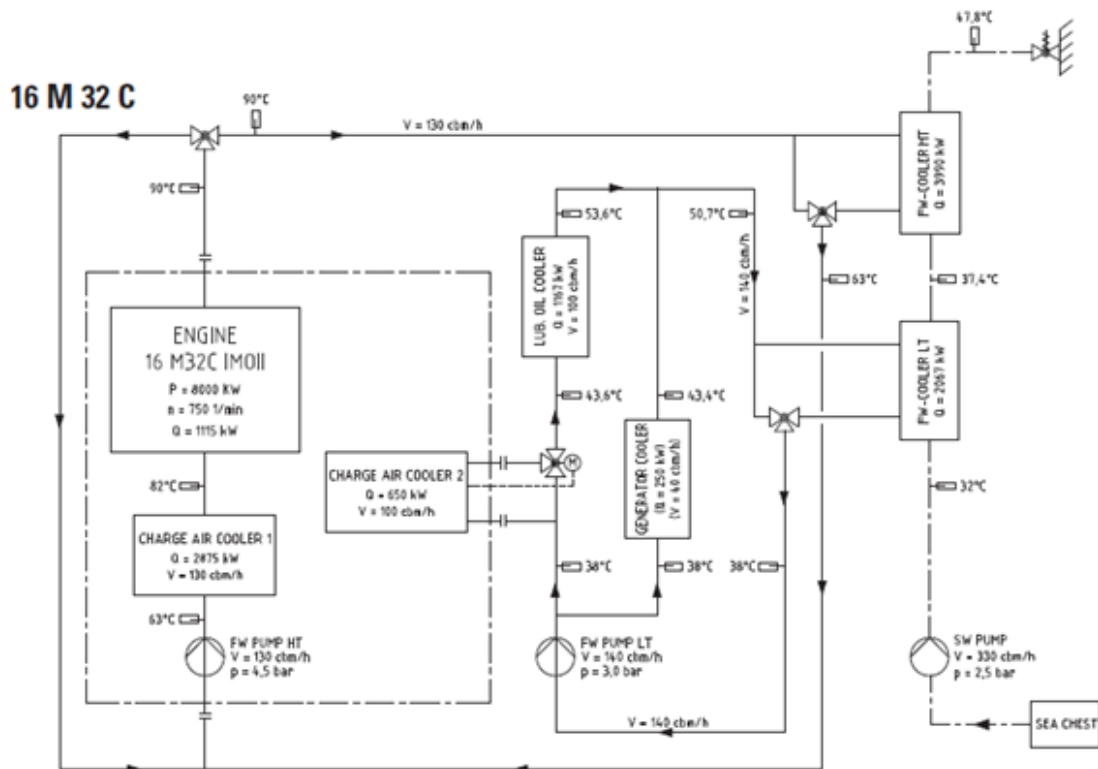


Figura 4: Diagrama del balance térmico.

El balance térmico anterior, se realizó para unas revoluciones de 750 rpm, dado que la frecuencia utilizada es de 50 Hz.

Gráficos del sistema, equipos y referencias, pueden encontrarse en el apartado 3 del Anexo 1.

4.3. Sistema de combustible

Este tipo de motores puede funcionar tanto con fuel pesado (HFO), como con combustibles más refinados, como es el MGO/MDO y, dado que, el sistema que se está instalando es diésel-eléctrico, es este segundo tipo de combustibles el que nos interesa utilizar y por consiguiente, el que tenemos que caracterizar y dimensionar:

El combustible, ha de tener las propiedades de calidad que especifica el fabricante del motor, en función del combustible utilizado.

	MGO		MDO	
	Designation	Max. viscosity [cSt/40 °C]	Designation	Max. viscosity [cSt/40 °C]
ISO 8217:2010	ISO-F-DMA	2.0 - 6.0	ISO-F-DMB ISO-F-DMZ	11 6
ASTM D 975-78	No. 1 D No. 2 D	2.4 4.1	No. 2 D No. 4 D	4.1 24.0
DIN	DIN EN 590	8		

Figura 5: Tabla de calidad del combustible.

El dimensionado del sistema, así como, la enumeración de sus equipos, se realizará a continuación, especificando los datos necesarios para su elección en catálogo:

- **Filtro DF1:** Este filtro, integrado en el motor, tendrá unas dimensiones de 0,025 mm y podrá circular por él un caudal de 5,40 m³/h a una presión de 10 bares.
- **Filtro DF2:** Este filtro, a diferencia del anterior dispondrá de una malla de 0,32 mm y podrán pasar 10,8 m³/h a 20 bares.
- **Pre-calentador DH1:** Solo es necesario si la viscosidad del combustible es superior a 7 cSt/40 de serlo, ha de tener una capacidad de calentamiento de 97 kW (97 = 16.000 kW / 166).
- **Intercambiador MGO/MDO DH3:** Solo es necesario si no se puede enfriar el combustible que sale del motor del tanque de uso diario.
- **Bomba de alimentación DP1/DP2:** El caudal, es el mismo que circula por el filtro DF2 y ha de poder dar una presión de 5 bar. Esta bomba, lleva en paralelo otra de las mismas características (DP2).
- **Separador DS1:** El separador ha de poder trabajar a una caudal de 3.520 l/h (3.520 l/h = 0,22 * 16.000 kW).
- **Tanque de uso diario DT1:** 179 gr/kWh * 8h * 6.400 kW * 2 generadores = 20 t. Esta, es la capacidad total del tanque de servicio, pero, dado que, por normativa han de llevarse 2, como mínimo, la capacidad de estos tanques es de 10 t.
- **Tanque de sedimentación:** Un tanque con capacidad para 84 t (42 t = 179 gr/kWh * 36 h * 6.400 KW * 2 generadores).
- **Tanque almacén:** 179 gr/KWh * 24h * 35 días * 6.400 kW * 2 generadores = 1.926 t. Esta cantidad, es la necesaria por generador, para que el buque pueda operar durante 35 días.

- **Bombas de trasiego:** El caudal de estas bombas ha de ser el mayor de las siguientes tres opciones:
 - Achique completo de un tanque almacén de combustible en 12 horas trabajando todas simultáneamente.

$$Q \left(m^3/h \right) = \frac{\text{Volumen } (m^3)}{n^{\circ} \text{ bombas} * t} = \frac{690}{2 * 12} = 28,75 \text{ m}^3/h$$

- Llenado de un tanque de sedimentación en una guardia de 4 horas.

$$Q \left(m^3/h \right) = \frac{\text{Volumen } (m^3)}{t} = \frac{115,20}{4} = 28,80 \text{ m}^3/h$$

- Garantía de caudal igual a 10 veces el consumo de los motores.

$$Q \left(m^3/h \right) = 10 * \frac{179 \left(gr/kWh \right) * 12.800 \text{ kW}}{1.000.000 \left(gr/t \right) * 0,832 \left(t/m^3 \right)} = 27,54 \text{ m}^3/h$$

Se ve que el segundo es el mayor, con lo que las bombas de trasiego han de ser capaces de suministrar 28,80 m³/h.

Las capacidades de los tanques, han sido redondeadas al alza para conseguir unas dimensiones aceptables para su ejecución. Por último, indicar que un diagrama del sistema de MGO/MDO se muestra en el apartado 4 del Anexo 1.

4.4 Sistema de lubricación

El sistema de lubricación tiene como funciones básicas: Lubricación de las partes metálicas para reducir la fricción, neutralizar los productos corrosivos generados en la combustión, proteger las superficies metálicas contra la corrosión, refrigeración...

En cuanto a la calidad del aceite, ha de poseer una viscosidad de clase SAE 40, capacidad para neutralizar los productos ácidos de la combustión, propiedades uniformes, limpieza y distribución eficaz y un TBN (número base total) entre 12 y 20 en función de la concentración en azufre.

El dimensionado del sistema, así como, la enumeración de sus equipos, se realizará a continuación, especificando los datos necesarios para su elección en catálogo:

Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 10: Definición de la planta propulsora y de sus auxiliares

- **Bombas LP1/LP2:** Poseen un caudal de $16 \text{ m}^3/\text{h}$ y una presión de 5 bares. La bomba LP2, es una bomba de respeto, de acuerdo con las Sociedades de Clasificación.
- **Bomba Independiente:** Esta bomba dispone de un caudal de $160 \text{ m}^3/\text{h}$ y una presión de 10 bares.
- **Bomba accionada por el motor:** Esta bomba dispone de un caudal de $168 \text{ m}^3/\text{h}$ y una presión de 10 bares.
- **Bomba de pre-lubricación LP5:** Con una presión de 5 bares y el mismo caudal que las bombas LP1/LP2, permite aspirar aceite de una parte más baja del cárter y no dispone de un filtro previo, está integrada en el motor.
- **Filtro LF4:** Es un filtro con mallas de entre 2 y 3 mm que va situado en la aspiración de la bomba, LP1, este filtro al igual que la bomba van integrados en el motor.
- **Filtro LF2:** Filtro, integrado en el motor, para protección de la maquinaria. Capacidad de filtrado de partículas superiores a 30 micras, tipo 6.46 DIN 100.
- **Enfriador:** Enfriador para la disminución de la temperatura del aceite a la salida del motor.
- **Sensor de temperatura LR1:** Tiene que llevar ajuste de emergencia manual.
- **Tanque de circulación:** Localizado en el bastidor y con indicadores de nivel, al venir integrado en el motor, no es necesario determinar sus dimensiones.
- **Ventilación del cárter C91:** Es el sistema de ventilación de los gases que se producen en el cárter del motor. Esta ventilación ha de cumplir la $1 \times \text{DN } 125$ y soportar una presión máxima de 150 Pa.
- **Separador MGO/MDO LS1:** Es un separador centrífugo para el filtrado del aceite, y la eliminación de residuos que puedan provocar fallos en la maquinaria. Su rango de operación está entre $85 - 95^\circ\text{C}$ y para un caudal de 1.300 l/h .
- **Tanque principal:** Es el tanque de almacenamiento de aceite por lo que ha de tener una capacidad para 5,40 toneladas ($0,75\text{g/kWh} * 6.400 \text{ kW} * 35 \text{ días} * 24\text{h} * 2 \text{ generadores} = 10,80 \text{ t}$) (Suponemos consumo 0.75g/kWh).

Un diagrama, del sistema, así como, las descripción del temperature controller como del Self-cleaning filter y las recomendaciones del fabricante, pueden verse en el Apartado 5 del Anexo 1.

4.5 Sistema de ventilación

A continuación, se procederá a la determinación de los caudales de aire necesarios para la ventilación de la cámara de máquinas.

En el dimensionado de este sistema, según la norma UNE EN-ISO 8861:1998, no se ha considerado la calefacción de los tanques, debido a las características del combustible elegido.

- **Emisión de calor de los generadores (φ_{dg})** = 220,98 kW. Dado que, no se dispone de los datos necesarios para el cálculo de este valor mediante la utilización de la fórmula propuesta, se siguió la recomendación de la norma y se realizó el cálculo según el apartado 7.1.
- **Emisión de calor de los generadores eléctricos (φ_g):**

$$\varphi_g = P_g * \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) = 960 \text{ Kw}$$

Donde:

$$P_g \text{ (Potencia del generador)} = 16.000 \text{ kW.}$$
$$\eta \text{ (rendimiento del generador en porcentaje)} = 94 \text{ \%}.$$

- **Emisión de calor de las instalaciones eléctricas (φ_{el})**: Como no se conocen todos los datos necesarios, se aplicará lo indicado por la norma y se estimará que la emisión de calor por este motivo es el 20% de la potencia de régimen de cada generador, de lo que resulta una emisión de 2.560 kW.
- **Flujo de aire para la evacuación de la emisión de calor (q_h):**

Una vez conocidos los diferentes valores de la emisión de calor se procede al cálculo del flujo de aire para evacuación.

$$q_h = \frac{\varphi_{dp} + \varphi_{dg} + \varphi_b + \varphi_p + \varphi_g + \varphi_{el} + \varphi_{ep} + \varphi_t + \varphi_o}{\rho * c * \Delta T} - 0,40 * (q_{dp} + q_{dg}) - q_b = 262,22 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dónde:

$$\rho = 1,13 \text{ Kg/m}^3.$$
$$c = 1,01 \text{ kJ/(Kg}^*k).$$
$$\Delta T \text{ (Incremento de temperatura en sala de máquinas)} = 12,50 \text{ K.}$$

Proyecto 13-P9: Buque para la instalación de parques eólicos offshore

Cuaderno 10: Definición de la planta propulsora y de sus auxiliares

La corrección de 0,40, es para el caso de una planta propulsora convencional, pero como, esta planta es diésel-eléctrica este factor no se tendrá en cuenta, porque no se poseen los datos necesarios para su cálculo.

- **Cantidad de flujo de aire para la combustión ($q_c = q_{dg}$):**

$$q_{dg} = \frac{P_{dg} * m_{ad}}{\rho} = 28,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

P_{dg} (Potencia del generador) = 16.000 kW.

m_{ad} (aire necesario para la combustión) = 0,002 kg.

$\rho = 1,13 \text{ Kg/m}^3$.

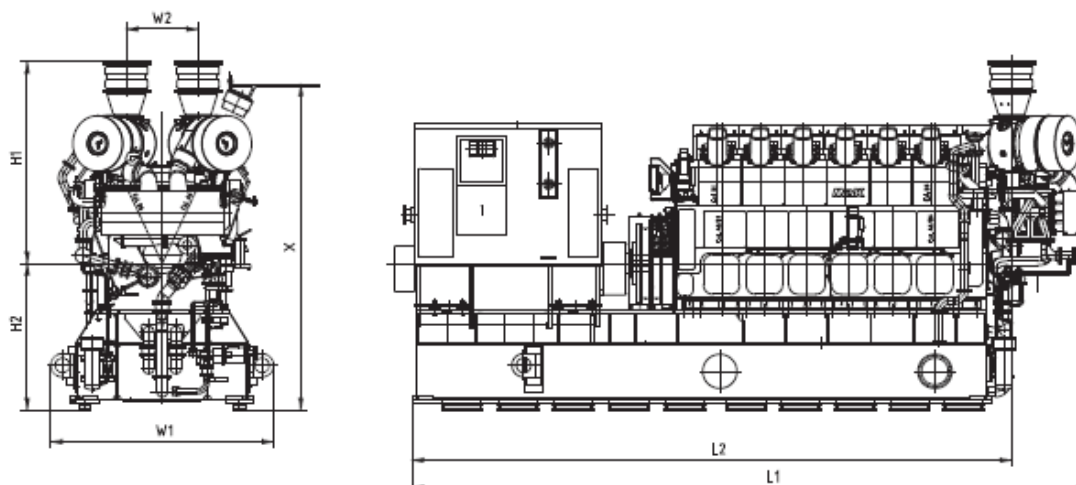
- **Flujo de aire total (Q) = $q_c + q_{dg} = 291 \text{ m}^3/\text{s}$**

El caudal debido al número de renovaciones por hora ($Q_{rev} = v \cdot \text{cámara de máquina} * n^\circ \text{ renovaciones} = 3.420 * 30 / 3.600 = 28,50 \text{ m}^3/\text{s}$) no se ha considerado, pues, es muy inferior, al necesario por la maquinaria. Por lo cual, se prevé (para cada compartimento (Er. y Br.) una ventilación forzada, mediante ventiladores, por lo que se opta por instalar 5 ventiladores axiales de media presión con aletas ajustables y caudal de $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

5. Disposición de cámara de máquinas

En este apartado, se dispondrán los equipos principales y auxiliares en función de sus dimensiones.

Lo primero que se debe situar, son los diésell-generadores, pues son los equipos de mayor tamaño e importancia. Las dimensiones de estos, se pueden ver en la Figura 6:



Engine Type	Dimensions [mm]						Dry weight * [t]
	L1	L2	H1	H2	W1	W2	
12 M 32 C	10,703	9,484	3,193	2,320	1,133	3,526	120
16 M 32 C	10,930	12,149	3,351	2,320	1,133	3,526	140

Figura 6: Dimensiones del diésell- generador.

Los diésell-generadores se situaran de forma simétrica respecto a Crujía para que la estabilidad del buque no se vea afectada.

Dado el elevado número de bombas y otros elementos de los sistemas auxiliares del diésell-generador que se harían necesarios en el caso de sopesar cada uno por separado, se decidió considerar dos conjuntos de 2 separados por un mamapro estanco , añadiendo un equipo de respeto, en los sistemas donde el fabricante solo especifique uno, con lo que se consigue una buena redundancia, disminución en el coste y en el peso de la planta propulsora, así como, una optimización de la misma.

La disposición general de la cámara de máquinas puede verse en el Anexo 2 “Disposición General Cámara de Máquinas”, a igual que un listado de todos los equipos principales y auxiliares puede verse en el Anexo 1 “Especificación Diésell-Generadores y Sistemas Auxiliares” .

6. Bibliografía

1. VM 32 C. Project Guide, Generator Set Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG.Germany. Edición Agosto 2012.
2. Man Diésell & Turbo. Diésell-electric Propulsion Plants “A brief guideline how to design a diésell-electric propulsion plant” [En línea] 22-02-2011[Acceso el 18-07-2014]. Disponible en:
http://www.mandiésellturbo.com/.../Diésell-electric_propulsion
3. Bobby A. Bassham. An evaluation of electric motors for ship propulsion. Monterey, California, 2003. Tesis doctoral. Naval Postgraduate School. [En línea] [Acceso el 16-07-2014]. Disponible en:
<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA417341>
4. UNE EN-ISO. Construcción naval. Ventilación de la sala de máquinas de barcos de motor diésell. Requisitos de diseño y bases de cálculos.ISO 8861:1998.
5. Casanova Rivas, Enrique. Máquinas para La Propulsión Naval.(2014). Servizo de Publicacións, Univeridade da Coruña
6. Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos. Anexo I. Concenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL).
7. Ferran Valls Jimenez. Bombas de trasiego: Dimensionamiento básico de una Cámara de Máquinas de un bulkcarrier de 73000 DWT. Pag: 37. [En línea] 27-10-2012.[Acceso el 14-07-2014]. Disponible en:
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12212/1/PROYECTO%20FINAL%20%20DE%20CARRERA.pdf>
8. Alf Kare Adnanes ABB AS Marine. Maritime Electrical Installations And Diésell Electric Propulsion. [En línea] 22-04-2003[Acceso el 14-07-2014]. Disponible en:
http://www.trpa.org/wp-content/.../ABB-AS_2003.pdf

Anexo 1
Especificación Diésel-
generadores
Y
Sistemas Auxiliares

Apartado 1: Motor:

1- Parámetros de funcionamiento del motor

Type	Engine rating	Generator rating 60/50 Hz		Mean eff. pressure	Mean piston speed
		Speed: 720/750 rpm		720/750 rpm	720/750 rpm
	kW	kWe	kVA	bar	m/s
12 M 32 C	6,000	5,760	7,200	22.5/21.6	11.0/11.5
16 M 32 C	8,000	7,680	9,600	22.5/21.6	11.0/11.5

Figura 1.1: Parámetros del motor.

Apartado 2: Sistema de aire de arranque:

1- Calidad del aire:

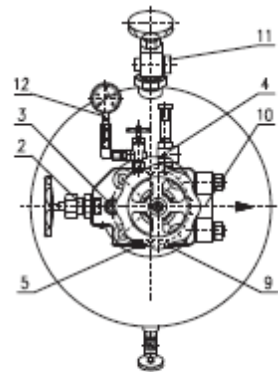
Class	Particle size max. in μm	Particle density max. in mg/m^3	Water pressure dew point in $^{\circ}\text{C}$	Water mg/m^3	Oil Residual oil content in mg/m^3
1	0.1	0.1	-70	3	0.01
2	1	1	-40	120	0.1
3	5	5	-20	880	1
4	15	8	3	6,000	5
5	40	10	7	7,800	25
6			10	9,400	

Figura 1.2.1: Calidad del aire.

2- Características de las botellas y compresores:

Number of gensets	Number of receivers	Receiver capacity available [l]	L mm	D ø mm	Valve head	Weight approx. kg
2	2	500	3,355	480	DN 50	320
3,4	2	1,000	3,670	650	DN 50	620

- 1 Starting valve DN 50
- 2 Filling valve DN 18
- 3 Inlet filling valve
- 4 Safety valve G1/2"
- 5 Free connection G1/2"
- 6 Drainage horizontal
- 7 Drainage vertical
- 9 Connection G1/2" for vent
- 10 Outlet starting-air valve
- 12 Pressure gauge



Option:

- 8 Typhon valve DN 16
- 11 Outlet typhon valve

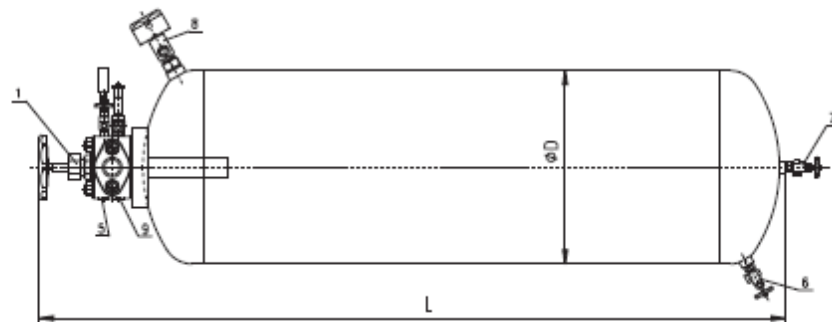


Figura 1.2.2: Características botellas.

Compressor AC1/AC2:

2 compressors with a total output of 50 % each are required.
The filling time from 0 to 30 bar must not exceed 1 hour.

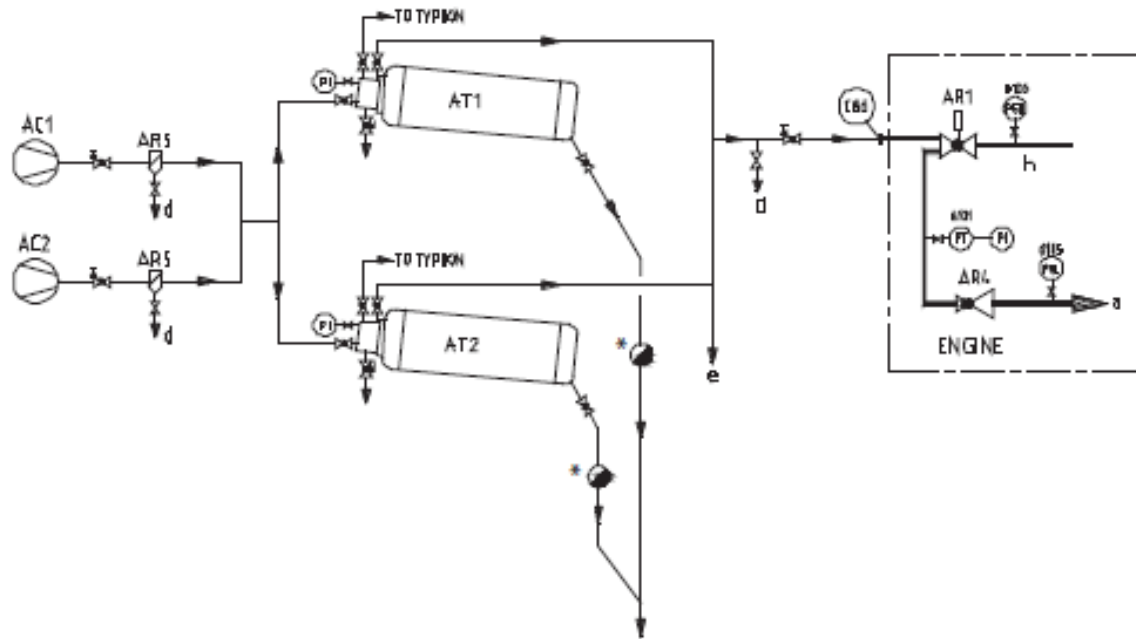
Capacity

$$\dot{V} \text{ [m}^3\text{/h]} = \Sigma V_{\text{Rec.}} \cdot 30$$

$V_{\text{Rec.}}$ - Total receiver volume [m³]

Figura 1.2.3: Compresores.

3- Diagrama del sistema de arranque :



General notes:

For location, dimensions, and design (e.g. flexible connection) of the disconnecting points see engine installation drawing.

Clean and dry starting air is required. A starting air filter has to be installed before engine, if required.

Notes:

- a Control air
- d Water drain (to be mounted at the lowest point)
- e To engine no. 2
- h Please refer to the measuring point list regarding design of the monitoring devices
- * Automatic drain valve required

Connecting points:

C86 Connection, starting air

Accessories and fittings:

- AC1 Compressor
- AC2 Stand-by compressor
- AR1 Starting valve
- AR4 Pressure reducing valve
- AR5 Oil and water separator
- AT1 Starting air receiver (air bottle)
- AT2 Starting air receiver (air bottle)
- PI Pressure indicator
- PSH Pressure switch high
- PSL Pressure switch low, only for main engine
- PT Pressure transmitter

AT1 / AT2 Option:

- Typhon valve
- Relief valve with pipe connection

Figura 1.2.4: Sistema de arranque.

Apartado 3: Sistema refrigeración:

1- Esquema general:

3.4.3 System diagram – Cooling water system

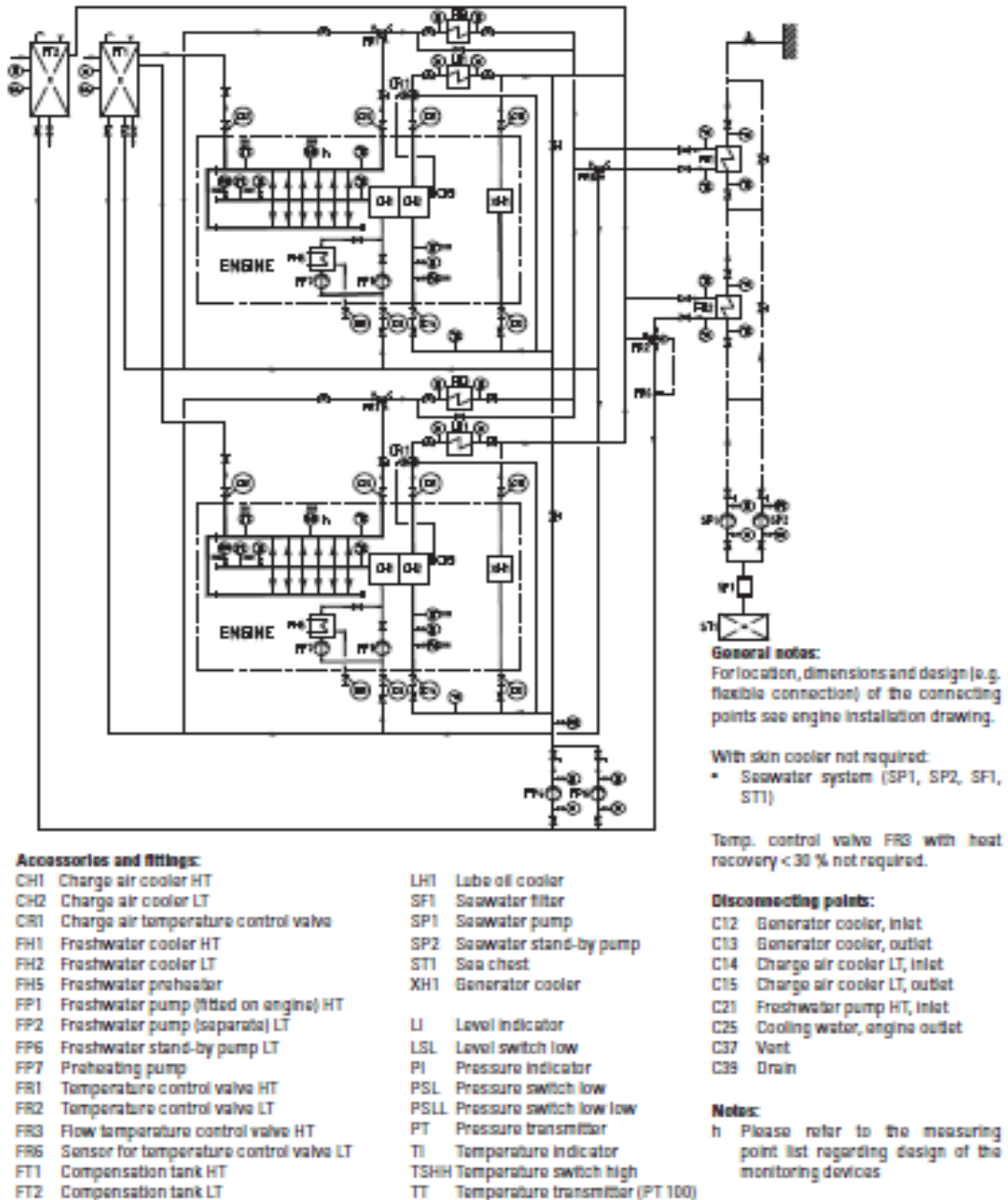


Figura 1.3.1: Esquema general refrigeración.

2- Descripción de equipos:

FR1:

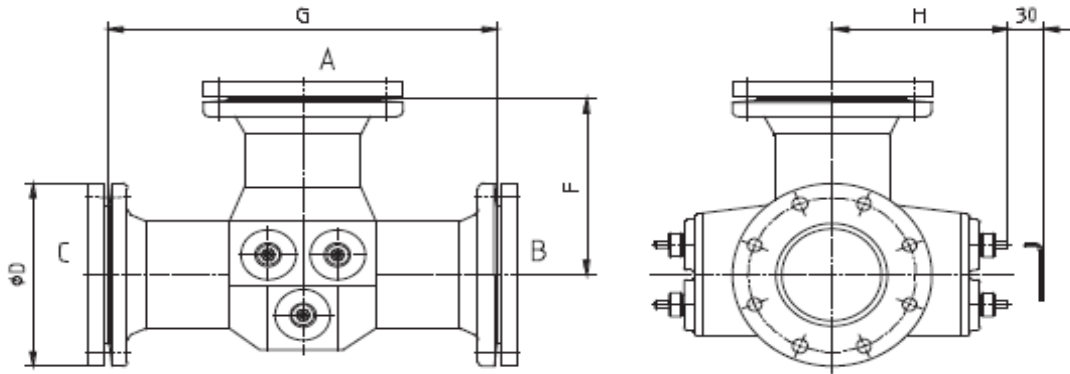


Figura 1.7: FR1.

		Dimensions [mm]					Weight [kg]
		DN	D	F	G	H	
12/16 M 32 C	HT	125	250	241	489	200	67
12 M 32 C	LT	125*	250	241	489	200	67
16 M 32 C	LT	150*	285	254	489	200	80

* Minimum, depending on total cooling water flow

Tabla 1.3.2: FR1.

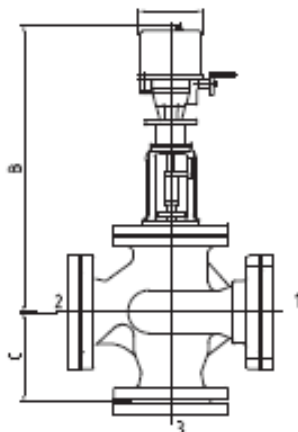


Figura 1.3.3: CR1.

	Dimensions [mm]					Weight [kg]
	DN	A	B	C	D	
12 M 32 C	100	350	646	175	170	70
16 M 32 C	125	400	717	200	170	110
	150	480	742	240	170	149

Tabla 1.5: CR1.

3- Recomendaciones motores eléctricos:

Drain tank with filling pump:

It is recommended to collect the treated water when carrying out maintenance work (to be installed by the yard).

Electric motor driven pumps:

Option for fresh and seawater, vertical design. Rough calculation of power demand for the electric balance.

$$P = \frac{\rho \cdot H \cdot \dot{V}}{367 \cdot \eta} \quad [\text{kW}]$$

- P - Power [kW]
- P_M - Power of electr. motor [kW]
- \dot{V} - Flow rate [m³/h]
- H - Delivery head [m]
- ρ - Density [kg/dm³]
- η - Pump efficiency
0.70 for centrifugal pumps

$P_M = 1.5 \cdot P$	< 1.5	kW
$P_M = 1.25 \cdot P$	1.5 - 4	kW
$P_M = 1.2 \cdot P$	4 - 7.5	kW
$P_M = 1.15 \cdot P$	> 7.5 - 40	kW
$P_M = 1.1 \cdot P$	> 40	kW

Figura 1.3.4: Recomendaciones motores.

Apartado 4: Sistema de combustible:

1- Esquema general:

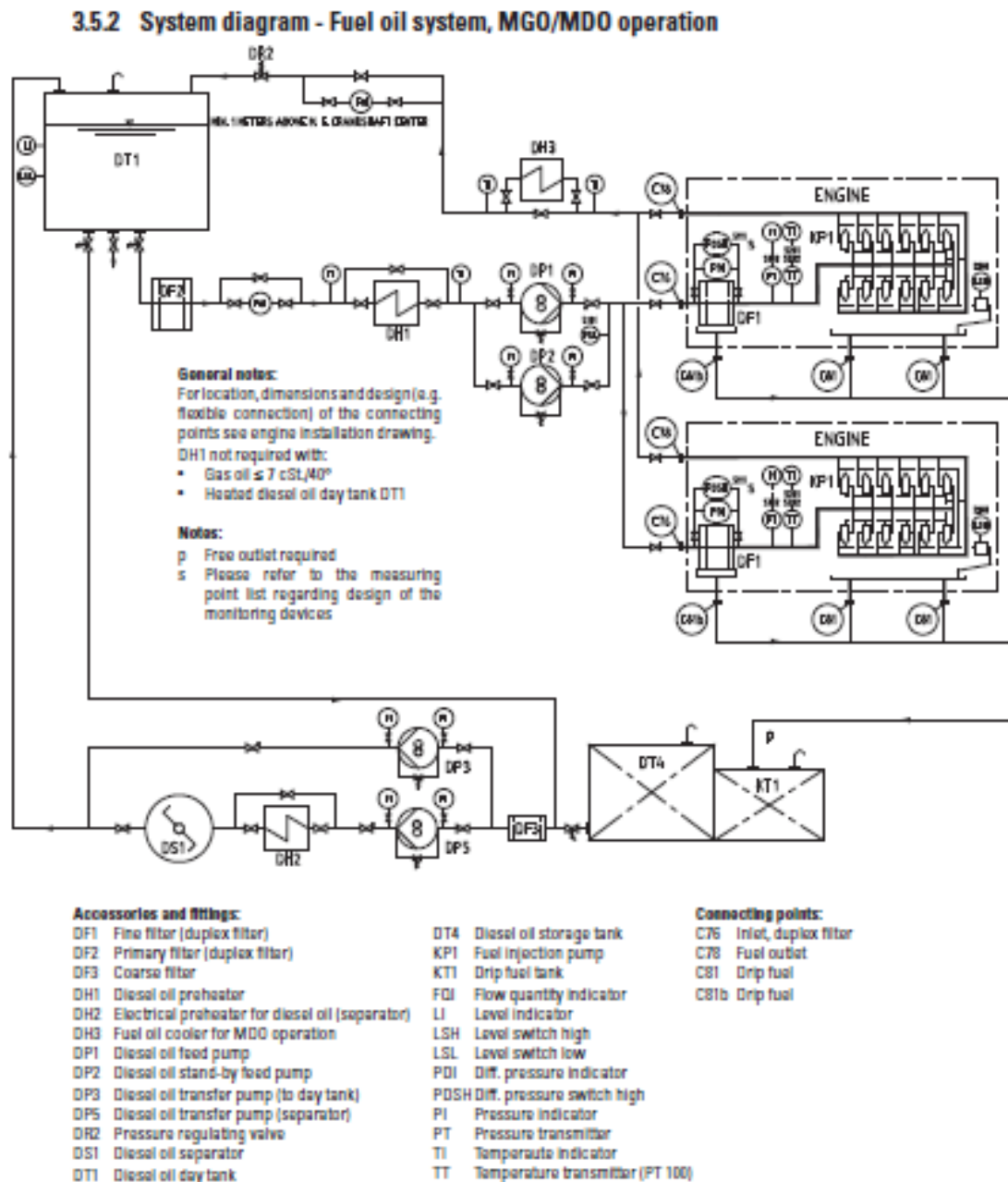
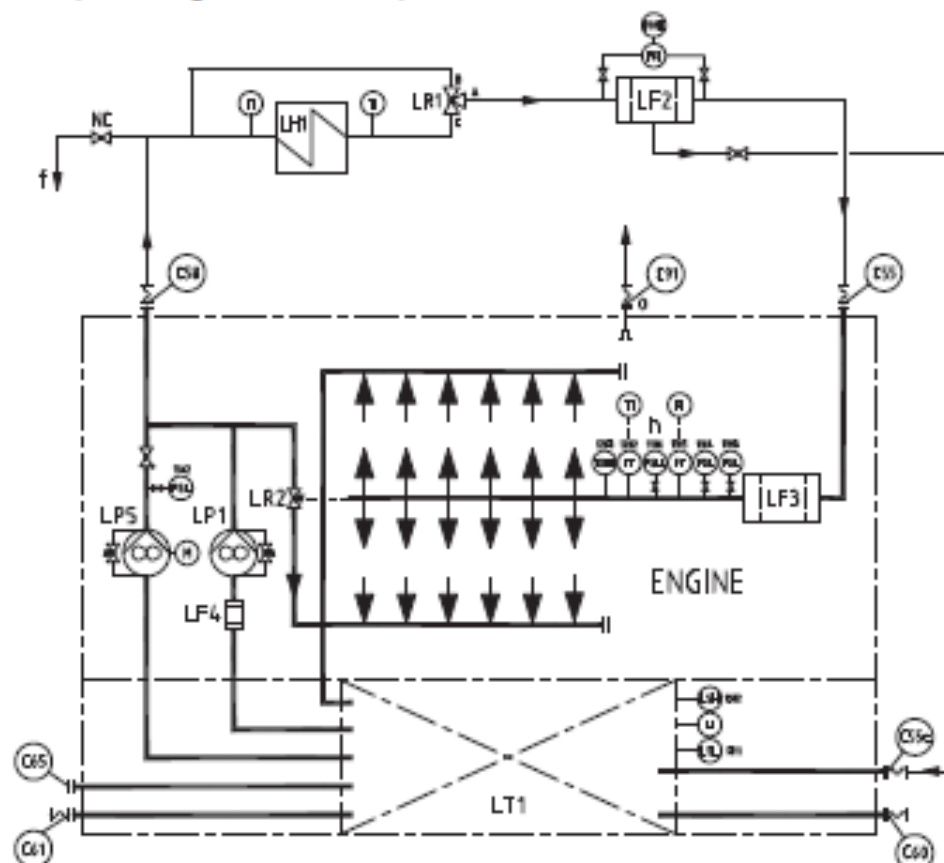


Figura 1.4.1: Esquema general combustible.

Apartado 5: Sistema de lubricación:

1- Esquema general:

3.7.2 System diagram – Lube oil system



General notes:
For location, dimensions and design (e.g. flexible connection) of the connecting points see engine installation drawing.

Notes:

- f Drain
- h Please refer to the measuring point list regarding design of the monitoring devices
- o See "crankspace ventilation" installation instructions 5.6

Connecting points:

- C55 Lube oil inlet, lube oil protective filter
- C55c Connection flushing pipe automatic filter
- C58 Force pump, delivery sidew
- C60 Separator connection, suction side
- C61 Separator connection, delivery side
- C65 Lube oil filling socket
- C91 Crankspace ventilation to stack

Accessories and fittings:

- LF2 Self cleaning lube oil filter
- LF3 Protective strainer
- LF4 Suction strainer
- LH1 Lube oil cooler
- LP1 Lube oil force pump
- LPS Prelubrication pump
- LR1 Lube temperature control valve
- LR2 Oil pressure regulating valve
- LT1 Lube oil sump tank

- LI Level indicator
- LSH Level switch high
- LSL Level switch low
- POI Diff. pressure indicator
- POSH Diff. pressure switch high
- PI Pressure indicator
- PSL Pressure switch low
- PSSL Pressure switch low low
- PT Pressure transmitter
- TI Temperature indicator
- TSHH Temperature switch high
- TT Temperature transmitter (PT 100)

Figura 1.5.1: Esquema general lubricación.

2- Descripción de equipos:

LF2:

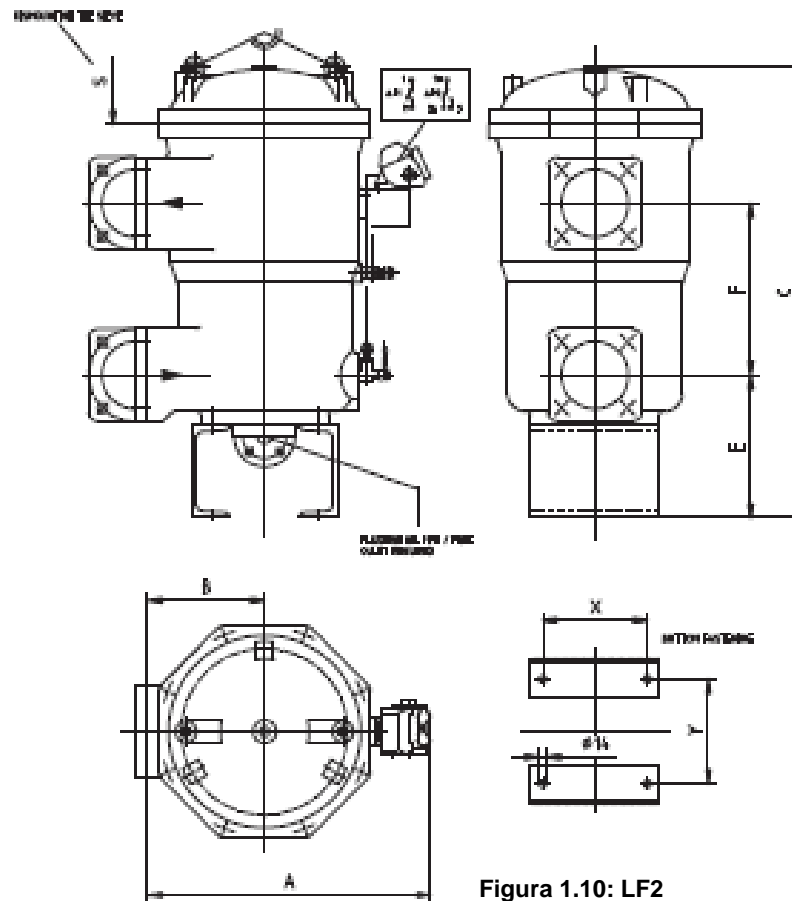


Figura 1.10: LF2

Engine	DN	A	B	C	E	F	S	X	Y	Weight [kg]
12 M 32 C	125	580	260	950	245	350	600	220	220	195
16 M 32 C	150	655	300	950	245	375	600	290	260	250

Figura 1.5.2: LF2.

LR1:

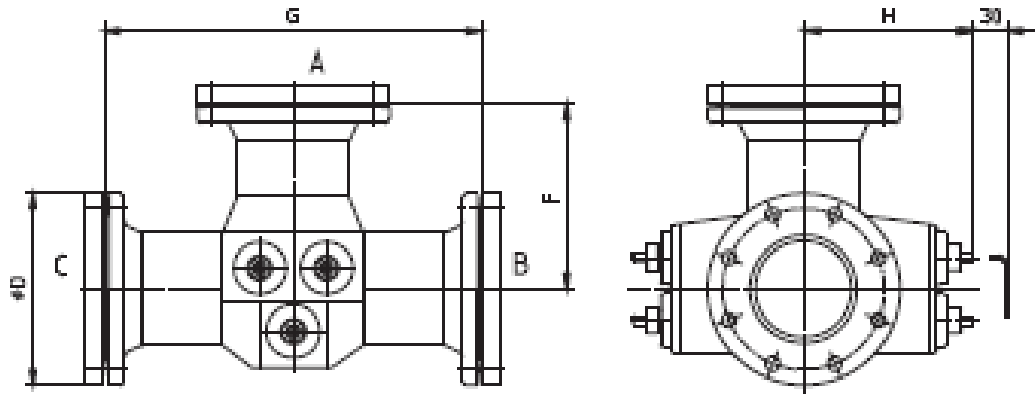


Figura 1.5.3: LR1.

	Dimensions [mm]					Weight [kg]
	DN	D	F	G	H	
12 M 32 C	125	250	241	489	200	67
16 M 32 C	150	285	254	489	200	80

Figura 1.5.4: LR1.

3- Recomendaciones motores eléctricos:

For each engine a separate lube oil system is required.

Lube oil quantities/change intervals: The circulating quantity is approx. 1.1 l/kW output.

The change intervals depend on:

- fuel quality
- quality of lube oil treatment (filter, separator)
- engine load

By continuous checks of lube oil samples (decisive are the limit values as per "MaK Operating Media") an optimum condition can be reached.

External lube oil piping system information

After bending and welding all pipes must be cleaned by using an approved acid cleaning process.

A proper inspection of the inner walls of the pipes is needed by our service engineers before starting the engine to ensure that no weld spatter, slag, rust and oxide remain.

Expansion joints

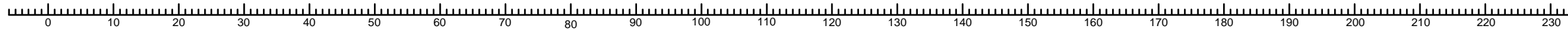
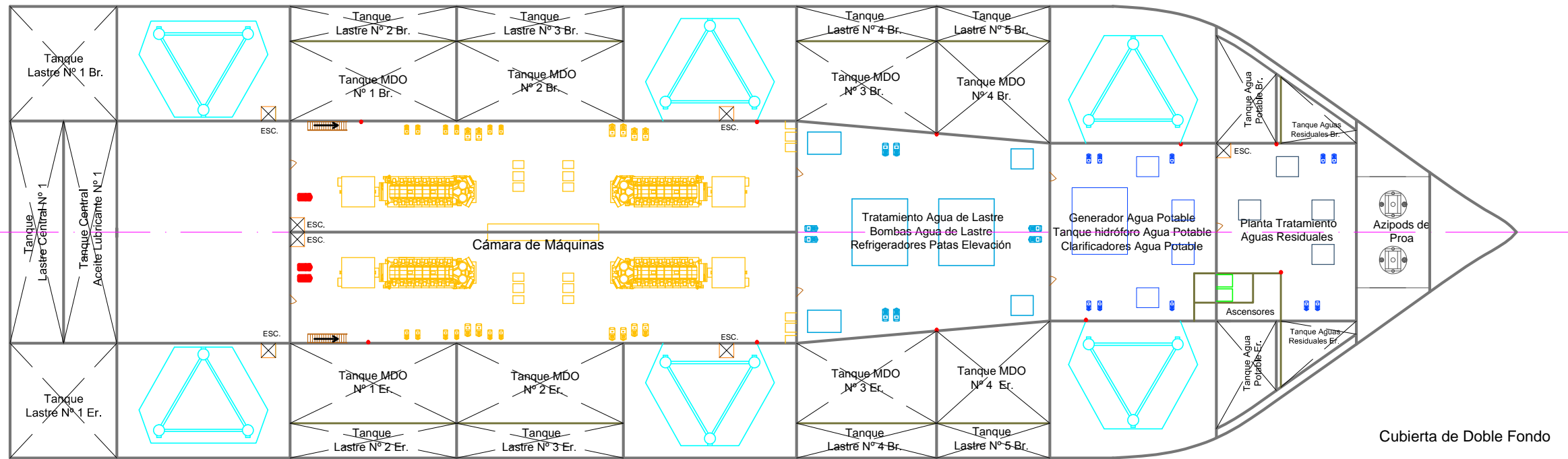
Pipe expansion joints are necessary in systems that convey high-temperature substances in this case hot oil. The bellows are designed to withstand the internal pressures of the pipe, but are flexible enough to accept the axial, lateral and angular deflections.

Figura 1.5.5: Recomendaciones motores.

Anexo 2

Disposición General

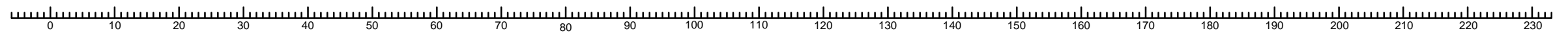
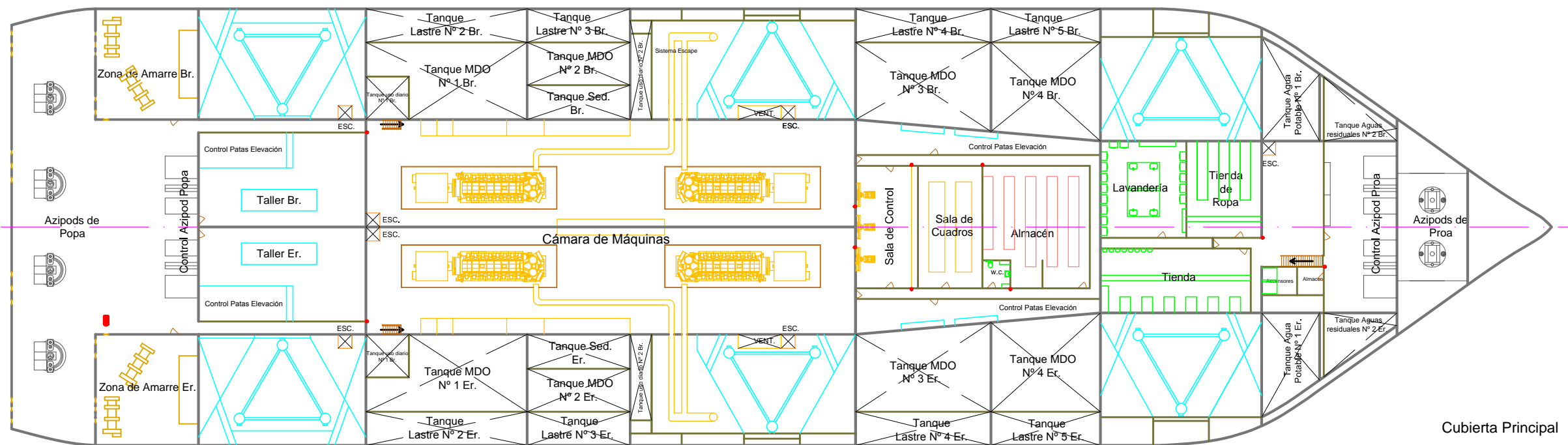
Cámara de Máquinas



Características Principales

- Eslora.....144,84 metros
- Eslora entre perpendiculares.....138,65 metros
- Manga.....40,65 metros
- Puntal.....9,24 metros

	Fecha	Nombre	Sistema		Universidad de A Coruña Trabajo Fin de Grado
Dibujado	11-11-2014	A. Caridad			
Comprado					
ids. normas					
Escala	Disposición General Cámara de Máquinas Cubierta de Doble Fondo			Cuaderno 7	
1:400					



Características Principales

- Eslora.....144,84 metros
- Eslora entre perpendiculares.....138,65 metros
- Manga.....40,65 metros
- Puntal.....9,24 metros

Fecha	Nombre	Sistema	Universidad de A Coruña Trabajo Fin de Grado
Dibujado 11-11-2014	A. Caridad		
Comprado			
ids. normas			
Escala	Disposición General Cámara de Máquinas Cubierta Principal		Cuaderno 7
1:400			Formato: UNE A3