



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Optimización de sistemas auxiliares y propulsión en el velero
escuela Arosa*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Álvaro Posada Balanzat

DIRECTORES: Miguel Ángel Álvarez Feijoo
Guillermo Lareo Calviño

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Optimización de sistemas auxiliares y propulsión en el velero
escuela Arosa*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

La navegación a vela es una de las claves en la formación de los alumnos de la Escuela Naval debido al aprendizaje del entorno marítimo, el cual será su futuro ambiente de trabajo. Dentro de los veleros que posee la Escuela Naval, el velero/escuela “Arosa”, como segundo barco más antiguo de la Armada Española, constituye una plataforma flotante excelente para el aprendizaje de los alumnos.

Debido a sus 91 años de antigüedad y al estado en que se encuentra actualmente, se requiere de una reforma en su propulsión y en sus sistemas auxiliares que permita alargar su vida operativa para poder seguir siendo de gran utilidad en la formación de los alumnos. Este trabajo se centra en las posibles propuestas de actuación que necesita el velero. En primer lugar, se hace una descripción de la plataforma, a continuación, se expone el estado actual del mismo donde se observa las carencias que presenta. Por último, se exponen las diferentes líneas de actuación propuestas, tanto en su propulsión como en sus sistemas auxiliares de forma detallada, donde se adjunta un presupuesto aproximado de la reforma.

PALABRAS CLAVE

Instrucción Marinera, Arosa, Propulsión, Mantenimiento, Sistemas Auxiliares

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia estos 5 largos años de apoyo constante. En especial a mi abuelo Manolo, primer comandante del Velero/Escuela “Arosa”, siendo la principal motivación de la realización de este trabajo. A mi padre, como claro ejemplo de lo que quiero llegar a ser en un futuro, por sus consejos y ejemplaridad en todo momento. A mi madre y hermanos por la paciencia y preocupación mostrada durante todos estos años. Sin vosotros hoy no sería lo que soy.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a la promoción 422-152 todo el apoyo mutuo mostrado y por haber hecho de estos 5 años una aventura digna de vivir. En especial, a la vieja guardia del grupo 5 por los numerosos días extras de verano en la dura lucha contra las asignaturas de Física.

A mis tutores del trabajo, Guillermo Lareo Calviño y Miguel Ángel Álvarez Feijoo por el apoyo mostrado y haberme guiado en la dirección correcta durante toda la realización del trabajo. Agradecer también a Belén Barragáns Martínez por su incondicional apoyo al alumnado.

Al Capitán de Corbeta José Manuel González Pastoriza, jefe de mantenimiento de la Escuela Naval, por su implicación en la realización del trabajo.

CONTENIDO

1	Introducción y objetivos	1
1.1	Introducción	1
1.2	Motivación	1
1.3	Objetivos	1
2	Estado del arte	3
2.1	Escuela Naval Militar.....	3
2.2	Instrucción marinera en la Escuela Naval Militar.....	4
2.3	Veleros de la Escuela Naval Militar	5
2.4	Contexto histórico de los veleros	6
2.5	Sistemas de propulsión.....	7
2.5.1	Propulsión a vapor	7
2.5.2	Propulsión por motores de combustión	8
2.5.3	Propulsión por turbinas de gas.....	8
2.6	El motor diésel	9
2.7	Sistemas de gobierno de un buque.....	11
2.7.1	Gobierno manual	12
2.7.2	Gobierno automático	12
2.7.3	Gobierno de emergencia	13
2.8	Ventilación y extracción en la cámara de máquinas	13
2.9	Aislamiento acústico y térmico.....	14
2.10	Normativa sobre emisiones de óxido de nitrógeno	16
3	Plataforma	18
3.1	Velero Escuela “Arosa”	18
3.1.1	Descripción y características generales de la plataforma	19
3.1.2	Motor principal	20
3.1.3	Motor auxiliar y planta eléctrica.....	20
3.1.4	Medios de socorro y salvamento	22
3.1.5	Seguridad interior	22
3.1.6	Comunicaciones.....	23
3.1.7	Equipos de detección y ayuda a la navegación.....	24
3.1.8	Habitabilidad.....	26
3.1.9	Dotación.....	26
3.1.10	Historial de varadas y mantenimientos	27

3.2 Estado actual de la plataforma	28
3.2.1 Pañol de contramaestre	28
3.2.2 Cámara de máquinas.....	28
3.2.3 Habitabilidad.....	30
4 Propuestas de actuación.....	32
4.1 Cámara de máquinas	33
4.1.1 Motor principal	33
4.1.2 Opciones de motores para el sistema de propulsión	35
4.1.3 Admisión del motor	46
4.1.4 Instalación de combustible	46
4.1.5 Aislamiento mamparo cámara de máquinas	46
4.2 Equipos auxiliares	48
4.2.1 Achique, baldeo y contraincendios.....	48
4.2.2 Instalaciones de agua dulce	48
4.2.3 Aguas grises y negras	48
4.2.4 Tanques principales	49
4.2.5 Fondeo, amarre y equipo de gobierno	49
4.2.6 Instalación eléctrica	49
4.2.7 Equipos electrónicos de ayuda a la navegación.....	50
5 Conclusiones y líneas futuras	51
5.1 Conclusiones	51
5.2 Líneas futuras.....	52
6 Bibliografía.....	53
Anexo I: Presupuestos para las propuestas de actuación	55
Servicio de varadero	55
Servicio de ingeniería	55
Maquinaria, equipos y servicios	55
Equipos e instalación eléctrica.....	56
Equipos y elementos de seguridad/salvamento	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Pantalán de veleros	4
Figura 2-2 Velero escuela <i>Aguete</i> [3].....	6
Figura 2-3 Velero escuela <i>Arosa</i> [4]	6
Figura 2-4 Velero escuela <i>Giralda</i> [4]	6
Figura 2-5 Velero <i>Etea</i> [5]	6
Figura 2-6 Clase Yatlant 26.....	6
Figura 2-7 Clase Puma 38	6
Figura 2-8 Barco accionado por rueda de paletas [6].....	7
Figura 2-9 Esquema de la máquina de vapor [6].....	8
Figura 2-10 Esquema de la turbina de gas [6].....	9
Figura 2-11 Esquema del sistema common rail [10].....	10
Figura 2-12 Ciclo teórico de combustión diésel P-v y T-s [10]	10
Figura 2-13 Diferencias entre el ciclo diésel real y teórico [8]	11
Figura 2-14 Clases de aislamiento térmico [16].....	16
Figura 3-1 En varadero tras entrega a la Armada en 1981 [17]	18
Figura 3-2 Esquema de situación del motor principal [19]	20
Figura 3-3 Motor auxiliar [19]	21
Figura 3-4 Elementos de la planta eléctrica [19].....	21
Figura 3-5 Distribución de extintores [18]	22
Figura 3-6 Bombas de 220V y de 24V [19]	23
Figura 3-7 Bombas de achique manual [19]	23
Figura 3-8 Esquema de antenas de comunicaciones y sensores [19]	24
Figura 3-9 Mesa de derrota [19].....	25
Figura 3-10 Bañera [19]	25
Figura 3-11 Distribución de compartimentos de habitabilidad [19]	26
Figura 3-12 Generador situado en el pañol de contramaestre de proa	28
Figura 3-13 Compartimento de la cámara de máquinas.....	29
Figura 3-14 Filtro de admisión interior del motor.....	29
Figura 3-15 Unión del sistema de escape.....	30
Figura 3-16 Filtración en el camarote de babor	31
Figura 3-17 Lavabo de popa.....	31
Figura 4-1 Esquema sobre las propuestas de actuación	32
Figura 4-2. Gráfica de relación entre potencia y r.p.m [22]	33
Figura 4-3 Motor Volvo Penta D4-270 [24]	35
Figura 4-4 Dimensiones del motor Volvo Penta D4-270 en mm [24]	37

Figura 4-5 Consumo del motor D4-270 I según rpm [24]	37
Figura 4-6 Curva de potencia en función de rpm del motor Volvo Penta D4-270 [24].....	38
Figura 4-7 Motor Yanmar 4LV250 [25]	38
Figura 4-8 Dimensiones del motor Yanmar 4LV250 en mm [25]	39
Figura 4-9 Consumo del motor Yanmar 4LV250 en función de rpm [25]	39
Figura 4-10 Curva de potencia en función de rpm del motor Yanmar 4LV250 [25].....	40
Figura 4-11 Motor Yanmar 6CH-WUT [25].....	40
Figura 4-12 Dimensiones del motor Yanmar 6CH-WUT en mm [25]	41
Figura 4-13 Consumo del motor Yanmar 6CH-WUT en función de rpm [25].....	41
Figura 4-14 Curva de potencia en función de rpm del motor Yanmar 6CH-WUT [23].....	42
Figura 4-15 Motor Yanmar 6HA2M-WHT [23].....	42
Figura 4-16 Dimensiones motor Yanmar 6HA2M-WHT [25]	43
Figura 4-17 Consumo del motor Yanmar 6HA2M-WHT en función de rpm [25].....	43
Figura 4-18 Curva de par en función de rpm del motor Yanmar 6HA2M-WHT [25].....	44
Figura 4-19 Puntos de medición de ruido en la puerta de la cámara de máquinas	47
Figura 4-20 Mapa de presión acústica obtenido.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de veleros en la ENM	5
Tabla 2. Tipos de máquinas rotativas ISO 2372 [14]	15
Tabla 3. Niveles de control de emisiones de NOx [18]	17
Tabla 4. Dimensiones del velero "Arosa" [18]	19
Tabla 5. Especificaciones técnicas del motor principal [20]	20
Tabla 6. Características del generador [19]	21
Tabla 7. Historial de varadas [21]	27
Tabla 8. Historial de reparaciones [21]	27
Tabla 9. Motor recomendado por astilleros según características [6]	35
Tabla 10. Datos técnicos Motor Volvo Penta D4-270 [24]	36
Tabla 11. Datos técnicos motor Yanmar 4LV250 [25]	39
Tabla 12. Datos técnicos motor Yanmar 6CH-WUT [25]	41
Tabla 13. Características Motor Yanmar 6HA2M-WHT [25]	43
Tabla 14. Comparación de los motores disponibles en el mercado	45
Tabla 15. Características de la reductora del motor Yanmar 6HA2M-WHT [25]	46
Tabla 16. Recomendación de tanques principales	49
Tabla 17. Resumen de presupuesto total	56

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La Armada Española incluye en su flota tanto unidades de reciente construcción como buques que llevan prestando sus servicios durante ya muchos años, como es el caso del Velero-Escuela “Arosa” con base en la Escuela Naval Militar de Marín.

Incluir los veleros escuela dentro de la flota responsable de la formación de oficiales y suboficiales es una práctica habitual en diferentes fuerzas armadas de otros países, porque estos buques sirven de plataformas flotantes para el desarrollo de numerosas actividades que no pueden ser realizadas por los buques modernos. Dentro de estas actividades, destaca la participación en regatas nacionales e internacionales en representación de su país, la labor diplomática flotante que se realiza al visitar puertos extranjeros como también hace el Juan Sebastián de Elcano en la Armada Española, la labor docente de aprender la navegación a vela en las escuelas de formación, etc.

Concretamente en la Armada Española, la vela es un deporte con una larga tradición e interés por todos los miembros que la forman. Su organización está formada por Comisiones Navales de Regatas situadas en Ferrol, Cádiz, Cartagena, Islas Baleares, Islas Canarias y en la Escuela Naval Militar. Estas Comisiones Navales se dedican a la preparación marinera del personal de la Armada Española, así como a fomentar dicho deporte mediante la organización de regatas, en las cuales se acerca al personal civil a este deporte de gran importancia para los militares españoles. [1]

Para cualquier Armada del mundo el poder hacer uso de veleros escuela es un lujo que no pueden permitirse perder, y es por ello que existe un gran interés en realizar las reparaciones y los planes de mantenimiento para que la vida operativa de estos buques pueda ser lo más extensa posible.

1.2 Motivación

Debido al estado actual del Velero Escuela “Arosa”, se requiere de una actualización, de unos mantenimientos específicos y de diferentes rehabilitaciones que optimicen los sistemas auxiliares y la planta propulsora. Esto dispondrá al velero de unas capacidades óptimas que permitan a los alumnos desarrollar las actividades diarias de instrucción marinera, así como de los pequeños cruceros de instrucción realizados a final de curso alrededor de la península ibérica.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la optimización de los sistemas auxiliares y de la propulsión del Velero/Escuela “Arosa”. Se pretende así, realizar una reforma en su cámara de máquinas que permita adaptarse a las exigencias actuales, así como una actualización en sus sistemas auxiliares que mejoren el rendimiento del velero. Estas medidas se centran en poder alargar su vida operativa para que su gran

labor como plataforma flotante de aprendizaje para los alumnos sea lo más eficiente y duradera posible. La instrucción marinera es una de las claves en la preparación de los futuros oficiales de la Armada a la hora de familiarizarse con el entorno marítimo, el cual será su futuro entorno de trabajo. La Escuela Naval Militar dispone de plataformas flotantes para el desarrollo óptimo de dicha actividad, por lo que el mantenimiento y cuidados de estos veleros deben ser prioridad en sus tareas.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Escuela Naval Militar

La Escuela Naval Militar es el centro de formación de todos los futuros Oficiales de la Armada Española que se localiza en Marín (Pontevedra, Galicia) desde 1943. Anteriormente, y desde el año 1717 en que fue creada, estuvo situada en diferentes lugares de las ciudades de Cádiz y San Fernando.

Sus alumnos más importantes en este nuevo emplazamiento han sido el Rey Juan Carlos I y el Rey Felipe VI, que recibieron una formación individualizada y enfocada a su futura responsabilidad como jefe supremo de todos los Ejércitos.

Desde el mes de julio de 2021 el Comandante Director es el Capitán de Navío D. Pedro Cardona Suanzes.

La carrera militar que se desarrolla en la Escuela Naval tiene una duración de cinco años. Durante los dos primeros años los alumnos tienen el empleo de Aspirante, y en este primer periodo aprenden los fundamentos de la profesión militar y de la de marino de guerra, realizando una inmersión en los valores militares tradicionales, en el de la profusa historia naval española, y en los usos y costumbres de la Armada, buscando alcanzar un conjunto de competencias relacionadas con conocimientos, habilidades, destrezas, valores, aptitudes y actitudes que debe poseer un oficial de la Armada [2].

Los siguientes dos años, y bajo el empleo militar de Guardiamarina, se continúa profundizando en las diferentes funciones que los oficiales realizan en los buques de la Armada, haciendo un importante hincapié en todos aquellos aspectos relacionados con el mando de fuerzas militares, dando prioridad a nuevos valores definidos por los conceptos de liderazgo, de mando y de ejemplaridad ante los subordinados.

Durante el primer año de Guardiamarina, hay que destacar el embarque en el Buque Escuela Juan Sebastián de Elcano durante seis meses, momento en el que forman parte por primera vez de la dotación de un buque de la Armada, y donde se intentan llevar a la práctica todas las enseñanzas recibidas hasta ese momento actuando como oficiales embarcados.

Finalmente durante el quinto curso, y ya con el empleo militar de Alférez de Fragata, los alumnos son integrados durante una duración aproximada de cuatro meses en los buques de la Armada para que puedan añadir a su formación teórica inicial, unas experiencias y una mejora de sus aptitudes militares, con objeto de asegurar una formación integral como oficial de la Armada, lo que les permitirá desempeñar sus nuevos cometidos desde el primer momento en el que se incorporen a su nuevo destino en un buque de la Armada al salir de la Escuela Naval.

Durante estos cinco años, y dentro del plan de estudios de la enseñanza militar, hay una serie de actividades que los alumnos realizan de manera continua, como son una férrea disciplina de régimen

interior, el conocimiento de la teoría y la práctica sobre la instrucción militar individual y de conjunto, una continua mejora en la formación física y moral, y un profundo conocimiento y práctica de los cometidos relacionados con el entorno marítimo y con su preparación como hombres de mar dentro de la asignatura denominada Instrucción Marinera.

Este Trabajo de Fin de Grado se centra en esta última asignatura, denominada tradicionalmente desde hace varios siglos como Instrucción Marinera, donde los alumnos comienzan conociendo los sistemas tradicionales de navegación, como pueden ser el remo y la vela tradicional, y finalizan navegando en los diferentes veleros escuela que posee la Escuela Naval Militar.

2.2 Instrucción marinera en la Escuela Naval Militar

La Instrucción Marinera consiste en el proceso de adquisición de conocimientos y la práctica de los cometidos relacionados con el entorno marítimo y con la preparación personal como hombres de mar.

El saber navegar y el entender cómo es la vida en el mar proporcionan al alumno una serie de conocimientos que complementarán su formación naval, y que será capaz de usar cuando esté a bordo de buques de la Armada. El alumno no solo aprende los fundamentos relacionados con la navegación, sino que también aprende sobre otros campos que necesitará en su día a día en los buques de la Armada, como son la meteorología, la física de las mareas y corrientes, la legislación sobre faros y señales marítimas, e incluso sobre el Reglamento Internacional para Prevenir los Abordajes en la Mar. Todos estos campos complementan el conocimiento marítimo del alumno, haciéndolo de vital importancia para su futuro.



Figura 2-1 Pantalán de veleros

La formación marinera es impartida de manera gradual y progresiva desde los conceptos más básicos durante los dos primeros cursos, hasta finalizar al terminar los cinco años de Escuela con la capacitación de Capitán de Yate, que es la de máximo nivel dentro de la náutica deportiva, y que autoriza a todos los oficiales de la Armada para navegar con embarcaciones de vela sin límite de eslora, y con embarcaciones de motor sin límite de potencia y de hasta veinticuatro metros de eslora.

Durante los dos primeros cursos los alumnos son sometidos a una serie de clases teóricas sobre los principios básicos de navegación que se complementan con las salidas a la mar en las embarcaciones de tipo Nueve metros, Bateles a remo, y Omegas y Raqueros para iniciación a la vela deportiva. Todas estas embarcaciones son de tamaño pequeño, y en ellos el alumno es capaz de poner en práctica los conocimientos teóricos que ha adquirido en clase.

Al finalizar el segundo curso durante el periodo de embarque los alumnos realizan un viaje por toda la costa de la Península Ibérica recalando en diferentes puertos españoles y portugueses para aprender los fundamentos de la navegación costera, que además servirá de preparación para su embarque en el

Buque Escuela Juan Sebastián de Elcano, donde los alumnos tendrán que demostrar ya un cierto nivel de conocimientos para poder saber gobernar con cierta soltura en navegaciones de carácter oceánico.

Durante el embarque en el Juan Sebastián de Elcano, el alumno de tercer curso (Guardiamarina de 1º) monta guardia en la cubierta y en el puente, donde se hace responsable de toda la navegación y del uso correcto de las velas, para lo que es necesario conocer los diferentes términos marineros, los usos y costumbres de la Armada, conocer los principios básicos de la meteorología, y tener profundos conocimientos de la plataforma del buque.

El último peldaño en la preparación marinera de los alumnos se consigue en los Cruceros de regata, en los que los alumnos forman un equipo conjuntado que debe trabajar como un solo individuo, y que participan habitualmente en recorridos balizados o en regatas entre diferentes puertos del litoral español.

Asimismo, en los dos últimos cursos el alumno ya con cierto nivel de experiencia sale a la mar en embarcaciones de tipo Golfinó (pueden observarse en Figura 2-1), de una eslora aproximada de 7 metros, en los que los alumnos se hacen responsables de otros alumnos Aspirantes, lo que contribuye a mejorar su formación al asumir la responsabilidad de enseñar y dirigir por primera vez a personal subordinado.

2.3 Veleros de la Escuela Naval Militar

Dentro de la Escuela Naval Militar existe un pantalán donde se encuentran atracados los diferentes veleros y cruceros de instrucción marinera para los alumnos.

<i>Nombre</i>	<i>Clase</i>	<i>Numeral</i>
<i>Aguete</i>	<i>Escuela Grand</i>	<i>Y-864</i>
<i>Arosa</i>	<i>Queche</i>	<i>Y-864</i>
<i>Giralda</i>	<i>Escuela Grand</i>	<i>Y-864</i>
<i>Etea</i>	<i>Corel 45</i>	<i>Y-802</i>
<i>Ons</i>	<i>Puma 38</i>	<i>Y-834</i>
<i>Onza</i>	<i>Puma 38</i>	<i>Y-834</i>
<i>Penizas</i>	<i>Puma 38</i>	<i>Y-858</i>
<i>Beluso</i>	<i>Yatlant 26</i>	<i>Y-865</i>
<i>Combarro</i>	<i>Yatlant 26</i>	<i>Y-865</i>
<i>Aldán</i>	<i>Beneteau</i>	<i>Y-818</i>

Tabla 1. Clasificación de veleros en la ENM

En estos veleros y cruceros se encuentran embarcaciones de todo tipo, desde veleros escuelas como el Arosa y el Giralda, hasta cruceros pesados como el Aguete, e incluso veleros de regatas como el Combarro.



Figura 2-2 Velero escuela *Aguete* [3]



Figura 2-3 Velero escuela *Arosa* [4]



Figura 2-4 Velero escuela *Giralda* [4]



Figura 2-5 Velero *Etea* [5]



Figura 2-6 Clase *Yatlant 26*



Figura 2-7 Clase *Puma 38*

2.4 Contexto histórico de los veleros

La navegación marítima ha sido un factor de gran relevancia para el desarrollo de las sociedades a lo largo de la historia. Para ello, fue necesario la construcción de embarcaciones que se adaptaran a las circunstancias y necesidades de cada momento. Por este motivo, la evolución de la construcción naval siempre ha estado íntimamente relacionada con la evolución de la sociedad.

En cuanto a los primeros poblados que consiguieron navegar por alta mar a remo y vela son los fenicios y los egipcios, poblados en los cuales se realizaban grandes estudios de los astros con los cuales se guiaban usándose así la estrella Polar durante la noche y el sol durante el día.

Esta navegación prevaleció durante mucho tiempo hasta que un norteamericano John Finch en 1787 creó un barco accionado por vapor mediante una o dos ruedas de paletas, hasta 1804 no se modificó la construcción de los barcos de vapor, pero este año John Stevens creó unos principios fundamentales para

los buques de vapor entre ellos el uso de una hélice en lugar de la rueda de paletas. Entre 1870 y 1880 se produjeron muchos perfeccionamientos en dichos buques creando de esta manera la llamada época dorada de los vapores.

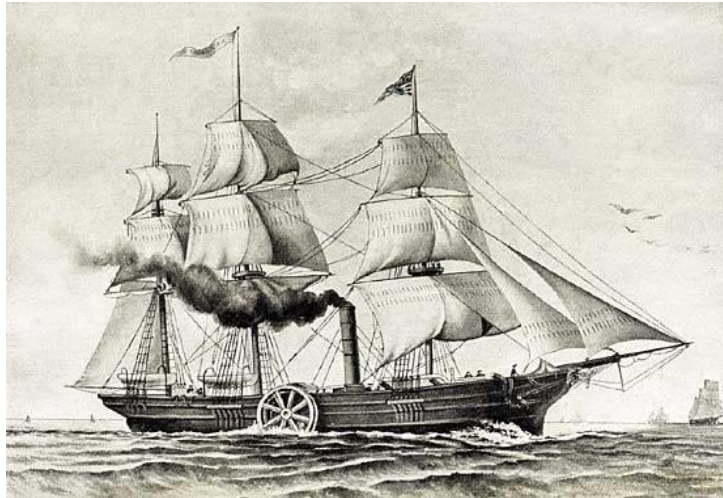


Figura 2-8 Barco accionado por rueda de paletas [6]

El inicio del siglo XX fue un tiempo en el que el hombre sintió la necesidad de mejorar los diseños de los sistemas de propulsión donde se ensayaron y probaron novedosos diseños y medios alternativos de energía, entre los cuales el que más ha prosperado ha sido el motor diésel que en la actualidad es el más usado. No solo se produjeron cambios a nivel de propulsión y generación de energía también en cuanto al diseño y construcción de naves. Durante el siglo XX también se produjo un aumento de eficiencia de la maquinaria con el uso de turbinas a gas y la energía nuclear, dando mayor autonomía, velocidad y maniobrabilidad a los buques actuales [6].

2.5 Sistemas de propulsión

La propulsión naval se define como el sistema que permite el traslado de una embarcación de un punto a otro sobre una superficie de agua a pesar de las fuerzas de rozamiento existentes. Para que un sistema de propulsión sea capaz de realizar su función es necesaria una energía, y para ello se necesita un combustible que transforme la energía calorífica en energía mecánica. El combustible puede ser de origen orgánico, fósil o nuclear. El más usado actualmente es el combustible fósil debido a que posee diferentes maneras de convertir la energía calorífica en mecánica, abundante disponibilidad, alta densidad energética y bajo coste. [6]

Dentro de los sistemas de propulsión, los que tienen o han tenido una mayor relevancia son los siguientes:

2.5.1 Propulsión a vapor

La propulsión a vapor ha sido la pionera en la navegación de grandes distancias. Estos motores sufrieron una gran decadencia en la crisis del petróleo cuando se le consideró como un producto de gran valor económico. En cuanto a los sistemas que componen la cadena de vapor está formada por la turbina de vapor, que está compuesta por un cuerpo giratorio conocido como el rotor, dotado de unos elementos situados en su periferia, los álabes o paletas, sobre los que incide el vapor produciendo su giro. El rotor se encuentra alojado en una envoltura fija donde se sitúan las toberas y coronas de paletas fijas que son necesarias para la expansión y dirección del vapor.

El funcionamiento de la energía calorífica en estos sistemas es muy sencillo. Se introduce agua en una caldera y se calienta mediante la combustión del fuel hasta alcanzar su temperatura de vaporización, a continuación, el vapor asciende por unos tubos y se recoge mediante un colector de vapor donde vuelve a entrar en los haces sobre unos calentadores para sufrir un aporte de calor a presión constante,

aumentando así su entalpía, es decir, su capacidad de producir trabajo. El vapor sobrecalentado viaja hacia las turbinas donde se expande aumentando su volumen y produciendo trabajo traducido en el giro del eje propulsor a través del engranaje reductor. Una vez aumentado de volumen, el vapor se condensa y se transforma en agua. Esta agua se vuelve a llevar a la caldera y comienza de nuevo el ciclo como se puede observar en la Figura 2-9 [6].

Los tipos básicos de turbinas de vapor son dos:

- **De acción:** El vapor aumenta su velocidad a costa de una caída de presión en las toberas, mueve el rotor por la impulsión que ejerce sobre los álabes móviles, al cambiar de dirección en ellos. Su característica diferencial es que en ellas sólo hay caída de presión en las toberas fijas y caída de velocidad en los álabes móviles.
- **De reacción:** Las paletas móviles se disponen de modo que forman entre sí una suerte de tobera, que da lugar a que el vapor, al circular entre ellas, se expande y produce su giro por reacción y de ahí su nombre. Así pues, en este tipo de turbinas hay caída continua de presión, aumento de velocidad en los álabes fijos y caída de velocidad en los álabes móviles.

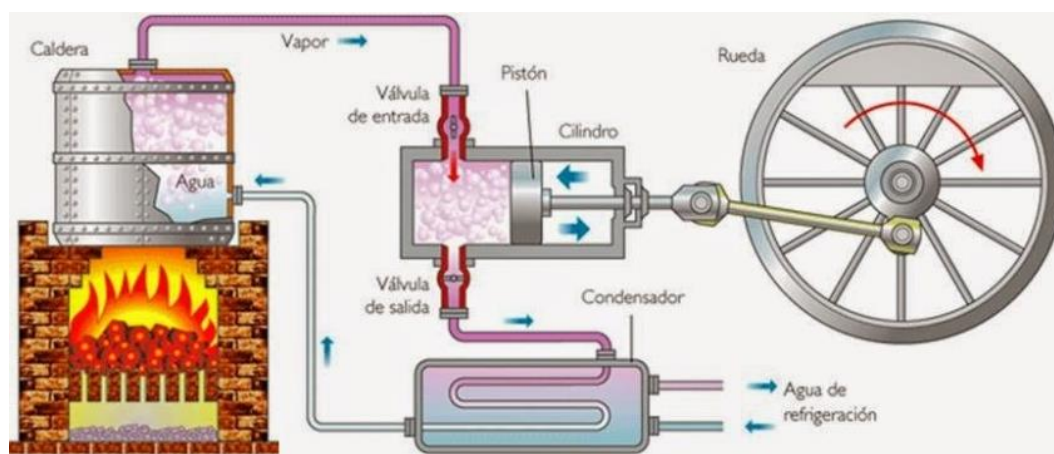


Figura 2-9 Esquema de la máquina de vapor [6]

2.5.2 Propulsión por motores de combustión

El motor de combustión es el más usado en la actualidad en automóviles, maquinaria, generadores, etc. Esto es debido a su funcionamiento económico y gran rendimiento, es por ello que lo convierte en la opción más rentable para el mundo naval.

En cuanto a los buques se refiere, suele situarse acoplado directamente al eje y, en casos donde sea aconsejable, se pueda instalar uno o varios motores acoplados al eje propulsor mediante el correspondiente engranaje. Hoy en día los sistemas de propulsión naval combinan diferentes métodos de propulsión con sistemas eléctricos o turbinas. Debido a su menor consumo y gran fiabilidad, en el mundo naval la mayoría son motores diésel, los cuales se comentarán en el apartado 2.6 *El motor diésel*. [6].

2.5.3 Propulsión por turbinas de gas

De los sistemas de propulsión que utilizan combustibles fósiles actualmente es el más usado por los buques de guerra debido a su relación potencia/peso. En cuanto a la marina mercante se refiere, al buscar un mayor ahorro y no una gran potencia, se decantan más por motores diésel.

La turbina de gas funciona mediante el llamado *ciclo Brayton*, donde un gas perfecto sufre una compresión a entropía constante en un compresor, y seguida de un calentamiento a temperatura elevada y presión constante en una cámara de combustión de esta manera seguidamente se expande isotrópicamente en una turbina hasta la presión de aspiración inicial del compresor. El resultado

desarrollado del trabajo de expansión es mayor que el de absorción en la fase de compresión. Este ciclo es de carácter abierto debido a que el fluido que comienza el ciclo no es el mismo que inició el ciclo anterior.

Este sistema de propulsión no es de combustión interna ya que el combustible no tiene que encontrarse necesariamente en la turbina sino puede venir de otra máquina o caldera. En la Figura 2-10 se puede observar en la máquina dos zonas bien diferenciadas, la zona de generación de gas con los extremos de frío y caliente, y la zona de potencia. Debido a la potencia de salida de la turbina (de orden de 3.500 rpm) ha de conectarle un engranaje reductor que permita acoplar el eje a una potencia razonable para uso. La disposición puede variar mucho: una única turbina moviendo el eje: dos turbinas sobre un reductor con salida única e incluso una sola turbina con dos salidas (buque de dos hélices). Aunque actualmente ya existen muchas instalaciones donde se utilizan un solo tipo de turbinas de gas, lo usual es utilizarla como máquina de potencia en instalaciones mixtas, asociándola a motores diésel o a otras turbinas de gas de menor potencia utilizadas para la velocidad de crucero [6].

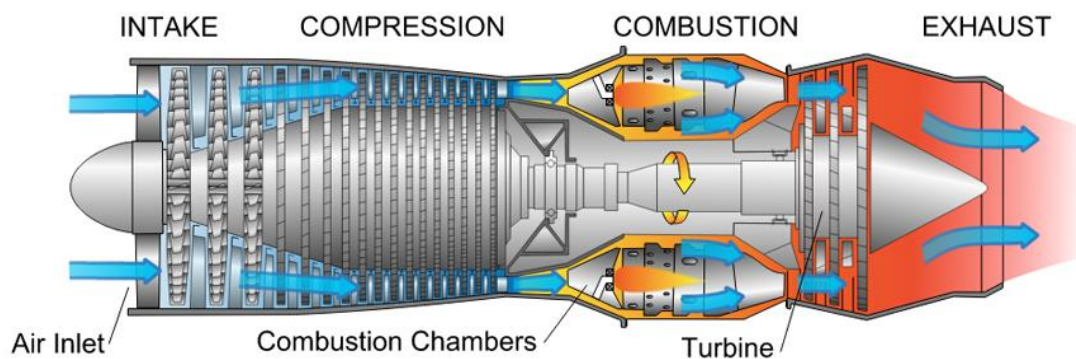


Figura 2-10 Esquema de la turbina de gas [6]

2.6 El motor diésel

Los motores diésel dentro del sector naval tienen un uso muy extendido por las ventajas que ofrecen. Una de las características fundamentales de cualquier equipo a bordo de un buque debe ser su fiabilidad, muy destacable en estos tipos de motores. Además, los equipos deben ser lo más sencillos posibles para facilitar las reparaciones durante la navegación donde no se disponen de un amplio material de herramientas. Por otro lado, el factor económico cobra gran importancia debido al número de horas en funcionamiento, especialmente en el mundo naval. Por último, estos motores ofrecen un alto par y grandes potencias. La combinación de estas características hace que su uso esté muy extendido en el sector naval. [7]

La invención de los precursores del motor diésel, mediante la combustión de aceites vegetales, tuvo lugar entre los años 1893 y 1897 por el ingeniero alemán Rudolf Christian Karl Diésel, del que obtienen nombre y forma. Fue presentado por primera vez en el año 1900 por la casa MAN.

Desde entonces hasta ahora los avances más importantes han sido sobre los métodos de inyección de combustible. En el motor original el combustible era inyectado mediante aire a presión al cilindro, provocando así un régimen lento en torno a 100 o 200 rpm. Esto se mantuvo hasta que la empresa Bosch inventó las bombas de inyección en línea. Estas bombas se comercializaron en los motores de la empresa Mercedes que montaba el modelo 260D en el año 1937, motor de inyección indirecta que desarrollaba 34 kW a 3000rpm. A partir de este momento, el desarrollo de inyectores fue continuo, se obtuvieron varios sistemas complejos y eficientes como la bomba rotativa. No fue hasta el año 1984 cuando se inventó la primera bomba controlada electrónicamente conocida como “common rail” presentado 1995 (Figura 2-11). Sin embargo, el desarrollo de los sistemas de inyección electrónicos continuó en paralelo siendo implantado el inyector bomba en motores Caterpillar a partir del año 1997. [8]

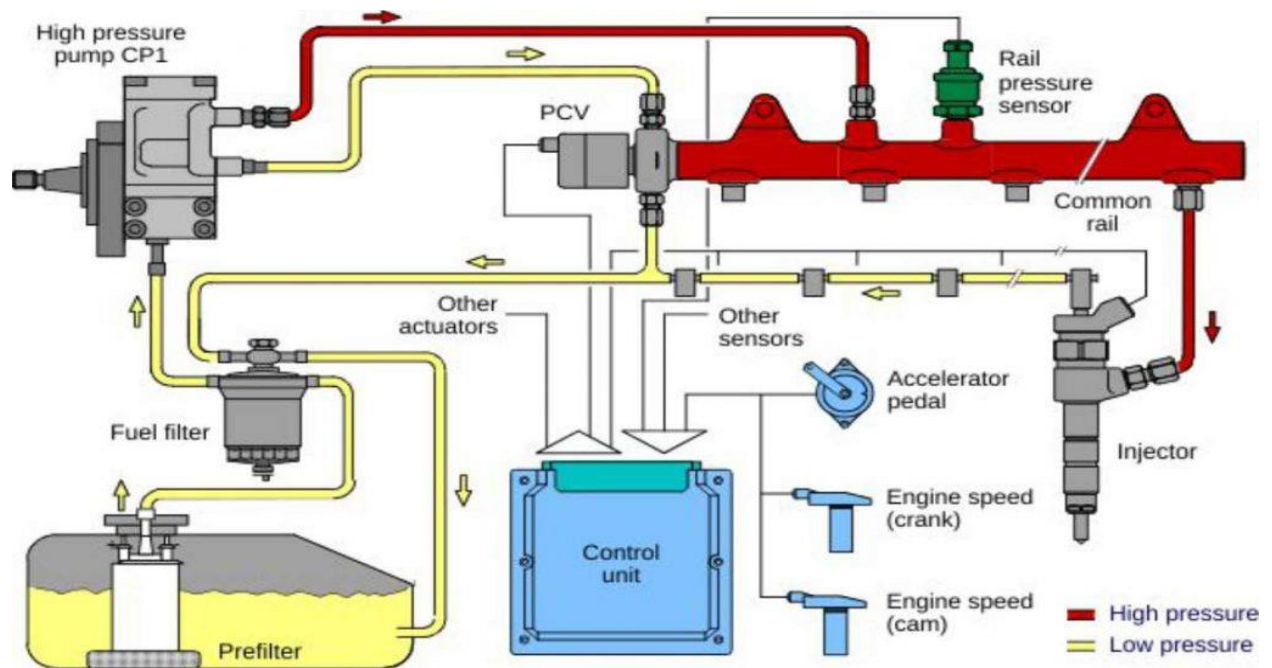


Figura 2-11 Esquema del sistema common rail [10]

El ciclo teórico es el conjunto de procesos termodinámicos que ocurren dentro de un fluido, desde un punto de referencia a él. El planteamiento de este ciclo teórico se utiliza para comprender de manera teórica el funcionamiento del sistema de manera aproximada. El proceso está formado por un intercambio de calor (Q) y trabajo (W) con el exterior. Sea asume que la energía en el volumen de control permanece constante [10].

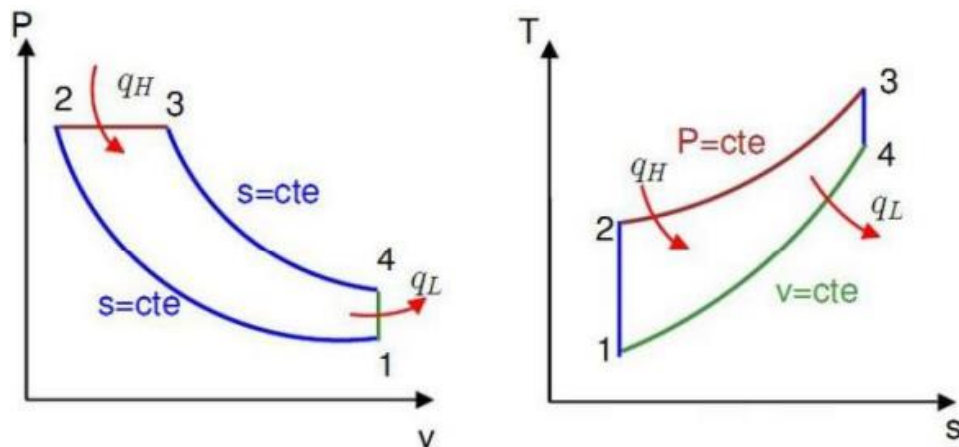


Figura 2-12 Ciclo teórico de combustión diésel P-v y T-s [10]

Estos ciclos son una aproximación basada en el uso de aire ideal en el cilindro y transferencia de calor entre el sistema y el exterior. Como se aprecia en Figura 2-12:

1. La primera fase (1-2), consta de una compresión del fluido en el cilindro adiabática e isotrópica.
2. La segunda fase (2-3), se sustenta en una aportación de calor desde el exterior a presión constante, simbolizando la combustión.
3. La tercera fase (3-4), radica en la expansión de aire adiabáticamente e isotrópicamente.
4. La cuarta fase (4-1), se realiza transferencia de calor hacia el medio de forma isocora, asemejándose al escape de los gases.

Sin embargo, estos procesos son simplificaciones de la realidad. Existen una serie de suposiciones que hace falta tener en cuenta para este ciclo que no se pueden llevar a cabo en la realidad. Esta serie de suposiciones disminuyen la eficiencia del motor, como se puede observar en Figura 2-13:

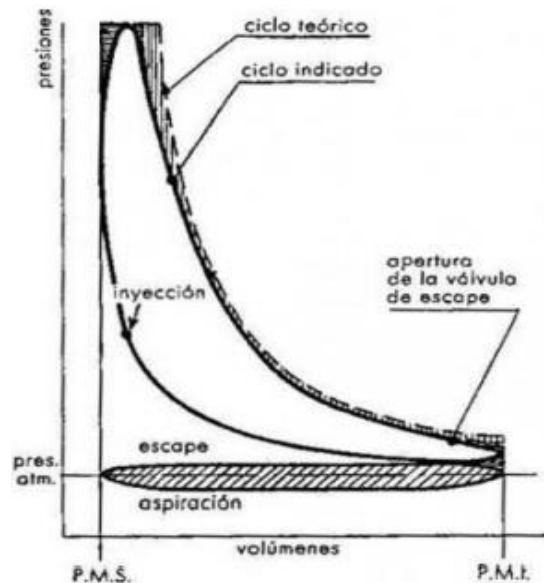


Figura 2-13 Diferencias entre el ciclo diésel real y teórico [8]

- Se supone la inyección del combustible perfectamente homogénea e instantánea, pero esto en la actualidad no es posible de garantizar. Sin embargo, la inyección comienza ligeramente antes del PMS para minimizar los efectos del retardo producido por esta inyección.
- La ignición del combustible no es instantánea y perfecta a presión constante, sino más bien se produce un pico de presión y el resto de combustible se quema por difusión mientras el pistón desciende.
- La ignición del combustible no es instantánea y perfecta a presión constante, sino más bien se produce un pico de presión y el resto de combustible se quema por difusión mientras el pistón desciende.
- Los gases de escape son empujados a presión mayor que la atmosférica para ayudar a su salida del cilindro. Si la apertura de la válvula de escape no deja salir el aire antes de comenzar esta fase entonces el trabajo para expulsar los gases será mayor y con ello la eficiencia menor.
- La admisión también absorbe parte del trabajo puesto que para succionar los gases entrantes el motor ha de crear una presión menor que la atmosférica con su carrera descendente para facilitar el llenado del cilindro [9].

2.7 Sistemas de gobierno de un buque

Se entiende por sistema de gobierno de un buque como la capacidad de mantener o variar de modo ágil y rápido la dirección del movimiento de una embarcación. El medio más antiguo de gobierno es el timón, el cual se puede considerar como una plancha vertical, montado en el plano de crujía del buque. Para causar el movimiento de una banda a otra es necesario aplicar al eje un momento de torsión adecuado.

Los sistemas de gobierno están formados principalmente por un circuito hidráulico cerrado formado por; un circuito de control, servomotor, eje, potenciómetro, engranajes de accionamiento, amplificador y un codificador. el servomotor y demás componentes. Un servomotor es un dispositivo eléctrico autónomo que gira partes iguales de una máquina con alta eficiencia y con gran precisión y velocidad particulares. El eje de salida de este motor se puede mover a un ángulo, posición y velocidad particulares que un motor convencional no tiene.

Para que los buques tengan una maniobrabilidad suficiente deben tener una serie de características específicas, que a continuación se nombran:

- Todos los buques deben tener instalados dos métodos diferentes e independientes entre sí como método de gobierno, para que en caso de fallo se pueda ser capaces de maniobrar el buque.
- El servomotor debe ser una máquina reversible para poner el timón en la posición deseada.
- Todos los materiales deben poseer una resistencia adecuada al tipo de servomotor. También es obligatorio que estén protegidos contra posibles averías producidas por la carga o la mar, a la vez que se eviten daños al personal que se encuentre en el barco.
- La posición donde se encuentre el timonel debe estar localizada en un sitio donde se disponga de una visión clara de toda la proa.
- La rotación del servomotor debe ser tal que coincida con el mismo sentido de giro que la rueda del timón y, en caso de que ésta permanezca parada, el servomotor también deberá pararse manteniendo el mismo ángulo de giro.
- En el servomotor debe haber una serie de amortiguadores que eviten posibles averías y también que establezcan un ángulo de giro máximo.
- El servomotor debe encontrarse instalado en un local a popa del barco y estar en coincidencia con la limera por donde pasa la mecha del timón. Este local suele estar comunicado con el puente.

Llevar a cabo la operación del gobierno del buque de forma correcta requiere que se esté actuando de forma permanente sobre la pala del timón para realizar las correcciones del rumbo necesarias, y así poder efectuar cualquier tipo de operación tales como: seguir una derrota, evitar obstáculos, arribar, etc. [11].

Existen tres sistemas diferentes de gobierno de un buque:

2.7.1 Gobierno manual

Este tipo de sistema suele estar formado por: patrón, sistema de gobierno, timonel, buque y retroalimentaciones. El patrón es el encargado de dar el rumbo a seguir. El timonel es el encargado de mover la rueda del timón para efectuar la orden dada por el patrón. El sistema de gobierno es todo el aparataje necesario para mover la pala del timón, y, por último, las retroalimentaciones son los utensilios que nos permiten saber si se está yendo al rumbo indicado. Se pueden encontrar diferentes tipos de retroalimentaciones tales como el indicador de la posición del timón. También se encuentran la giroscópica y el indicador de posición del ángulo del timón [11].

2.7.2 Gobierno automático

Este tipo de sistema surgió a partir de la llegada de la electrónica a los buques mercantes y con su gran aportación del piloto automático.

El piloto automático se encarga de detectar los errores del rumbo y de corregirlos de manera continua, evitando así la presencia constante de un timonel. En el momento de su introducción, la retroalimentación del sistema se realizaba mediante un compás magnético que convertía los campos magnéticos en tensiones eléctricas compatibles con el piloto automático, pero actualmente solo se utiliza como un sistema de respeto con la llegada del giroscopio y de la central de navegación inercial.

El giroscopio proporciona rumbos verdaderos detectados, mientras que el compás magnético proporciona rumbos que deben ser corregidos para obtener el rumbo verdadero. Hay que destacar que la diferencia de precio del giroscopio es muy superior a la del compás magnético. La diferencia entre el giroscopio y la central inercial de navegación existe en que la segunda aporta mucha más información que la primera, como: balance, cabezada, guiñada, etc. El piloto automático actúa sobre el servo timón mediante circuitos eléctricos con el fin de hacer girar la pala del timón para que el buque rote. Esta rotación será detectada por el compás magnético o el giroscopio, que transformarán la magnitud girada

en tensiones eléctricas y la devolverán al piloto automático para calcular el error entre el rumbo actual y el deseado, y corregirlo.

En resumen, el piloto automático es una unidad de control que proporciona el ángulo de timón necesario para corregir el rumbo del buque. El servo timón es el encargado de girar la pala del timón siguiendo las órdenes del piloto automático. Las realimentaciones: el compás magnético proporciona el rumbo con el meridiano magnético, que tiene que ser corregido al verdadero, y el giroscopio que proporciona el rumbo con el meridiano verdadero [11].

2.7.3 Gobierno de emergencia

Todo buque obligatoriedad de tener una instalación de gobierno en caso de emergencia. La finalidad de este sistema es la de tener el control manual del servo timón del buque una vez que falle el sistema de telemando desde el puente de gobierno.

Los posibles fallos del sistema de telemando se dividen en tres:

- **Fallos hidráulicos:** suele tratarse de roturas o deformaciones en los circuitos del aceite.
- **Fallos electrónicos:** se producen con gran frecuencia en los circuitos electrónicos del piloto automático o en la rueda del timón.
- **Fallos eléctricos:** los principales fallos que suelen darse vienen dados por el cortocircuito de un tramo de cableado.

En caso de posibles averías en el circuito de transmisión de señales es obligatorio que existe una duplicidad de tendidos de cables o tuberías y que se encuentren separados. Incluso de esta forma, se pueden producir averías graves que rompan el enlace entre el patrón y la pala del timón. Por este motivo es obligatorio un sistema local de accionamiento del servo timón.

Existen varios tipos dependiendo del servo timón:

- **Control manual de la válvula de distribución de cuatro vías:** se actuaría de forma manual sobre los solenoides que activan esta válvula desde el propio local del servo timón.
- **Control mediante volante del telemotor de aceite del servo timón:** para ello debe existir una rueda y un sistema helicoidal que permita actuar directamente sobre el émbolo del telemotor y sobre la bomba de gasto variable.
- **Control manual mediante bombas manuales:** en caso de que la avería afecte al telemotor, se subsanaría ésta mediante un juego de válvulas que permitiesen reconducir el aceite hacia el actuador idóneo para realizar la maniobra.
- **Control manual directo:** se trata de un sistema que permite cerrar los pasos de aceite y actuar directamente sobre la pala mediante palancas o una rueda con cremallera helicoidal. Para esto habría que reducir la velocidad del buque para llevar al mínimo la fuerza de reacción producida por la mar sobre la pala [11].

2.8 Ventilación y extracción en la cámara de máquinas

La función del sistema de ventilación será la de suministrar el aire para la combustión de los motores y evacuar el calor del interior de la cámara para obtener unas condiciones de trabajo óptimas y asegurar el correcto funcionamiento de los equipos. Normalmente, el aire se suministra por medio de ventiladores centrífugos donde una parte se inyecta directamente en la cámara de máquinas y el resto es dirigido a los otros puntos de consumo. El sistema de ventilación y extracción está compuesto por:

- Un servicio de impulsión forzada mediante electro ventiladores (admisión)
- Un servicio de extracción natural a través del guarda calor

Todos los criterios para la ventilación de las salas de máquinas en barcos vienen dados por la norma ISO 8861:1999. La capacidad de la planta de ventilación debe ser de tales características que proporcione unas condiciones óptimas de trabajo en el interior de la cámara de máquinas, es decir, un suministro de

aire necesario para la combustión de los motores y una evacuación eficiente del interior de la cámara que evite bolsas de aire caliente acumulado. La cantidad de aire necesaria para la ventilación del compartimento viene dada por [12]:

$$Q_v = \frac{\emptyset}{\rho * \Delta t * c}$$

Ecuación 1. Caudal de aire necesario [12]

Donde:

- Q_v : Caudal necesario.
- $\emptyset$: El calor total a evacuar.
- ρ : densidad del aire introducido.
- Δt : Diferencia de temperaturas en la cámara de máquinas.
- c : Calor específico del aire de ventilación.

2.9 Aislamiento acústico y térmico

El sonido es una sensación auditiva provocada por la vibración del tímpano a través de una onda sonora. Cuando esta onda se plasma por el aire provoca vibraciones muy rápidas de presión atmosférica. Cuando un sonido no es deseado se denomina ruido. La intensidad de los sonidos existentes varía en una escala comprendida entre 0 (inexistente) y los 130 decibelios. La actividad normal del ser humano provoca un nivel de ruido equivalente a unos 55 decibelios aproximadamente. Si se superan los 65 dB, el ruido comienza a ser percibido como molesto; si se superan los 85 dB puede ser perjudicial para la salud. La OMS recomienda un máximo de exposición a un ruido de 75 dB durante 8 horas al día. Una posible lesión auditiva es poco probable por debajo de 60 dB [13].

La normativa para clasificar, entre otros, la severidad de la vibración depende del ámbito de aplicación: Nacional (UNE 20-180-86), Internacional (ISO) y las recomendaciones y guías de los fabricantes sobre los niveles permitidos en la maquinaria.

En cuanto a los instrumentos de medición utilizados y los sensores de medida tales como analizadores de vibración y acelerómetros, se encuentran igualmente regulados en cuanto a medidas de seguridad, calibración, temperaturas, y demás parámetros mediante normas muy habituales como son IEC, MIL y CISPR. También se encuentran normas nacionales que hacen referencia a los instrumentos tales como:

- UNE 21-328-75 (1) “Características relativas a los transductores electromecánicos destinados a la medida de choques y vibraciones”.
- UNE 21-328-75 (2) “Clases de captadores de vibraciones y elementos sensibles empleados en estos captadores”.
- UNE 95-010-86 “Vibraciones y choques. Terminología”.

También existe normativas internacionales y guías de severidad basadas en amplitud y frecuencia. Son:

- ISO 3945 “Vibración mecánica de grandes máquinas rotativas con un rango de velocidad de 10 a 200 RPM.”
- ISO 2372-1974 “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operaciones entre 100 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación.” Caracterizada por aplicarse a motores rotativos entre 600 y 1200 RPM, y por la distinción de varios tipos de motores rotativos [14]:

<i>Clase</i>	<i>Equipos</i>	<i>Potencia</i>	<i>Otros</i>
<i>Clase I</i>	<i>Pequeños</i>	<i>15KW</i>	<i>-</i>
<i>Clase II</i>	<i>Medios</i>	<i>15 a 75 KW</i>	<i>-</i>
		<i>300 KW</i>	<i>Cimentación especial</i>
<i>Clase II</i>	<i>Grandes</i>	<i>Sobre 75 KW</i>	<i>Cimentación rígida</i>
		<i>Sobre 300 KW</i>	<i>Cimentación especial</i>
<i>Clase IV</i>	<i>Turbo máquinas</i>	<i>-</i>	<i>RPM >Velocidad crítica</i>

Tabla 2. Tipos de máquinas rotativas ISO 2372 [14]

Por regla general, toda máquina genera una contaminación acústica. Esta contaminación se define como la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente (Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido). Es por ello que se sugiere un aislamiento acústico que reduzca esta contaminación donde se dispongan diferentes barreras entre el emisor y el receptor, a base de materiales aislantes acústicos. Cada recinto es particular y requiere de un tipo de material y cantidad en función del tipo de aislamiento a conseguir y sobre todo del aislamiento acústico inicial que posee [15].

Los principales aislantes acústicos son:

- **Espuma acústica:** material aislante con forma de pirámide altamente efectivo para la absorción del sonido. Su uso principal es el acondicionamiento acústico de locales, salas de ensayo y espacios donde se requieren unas condiciones del sonido óptimas.
- **Bloques de lana mineral, lana de roca y fibra de vidrio:** su diseño es ideal para los montantes de las paredes. Se instalan mediante paneles que se ajustan en los postes para ocupar espacio aéreo que pueda transmitir sonido. Su principal uso es evitar la transmisión de sonido entre habitaciones y espacios.
- **Paneles acústicos:** este tipo de aislante se coloca de forma decorativa en el interior del compartimento a insonorizar. Son atractivos para cumplir una doble misión en un lugar de trabajo ya que insonoriza y mantiene la estética del entorno al mismo tiempo.
- **Tejidos acústicos:** este tipo de tejidos son más gruesos y pesados que los tradicionales y se usan en cortinas de teatro, cines y academias de música. Separan ambientes a la vez que insonorizan y absorben el sonido.
- **Vinilos de alta densidad:** material denso de goma cuyas funciones son insonorización de vehículos, maquinaria industrial, electrodomésticos ruidosos o adosados a paredes para proporcionar un aislamiento extra.
- **Aislantes estructurales:** incluye aquellos elementos usados en el diseño de la estructura de un edificio, como ventanas insonorizadas, paredes, puertas acústicas, amortiguadores y todo tipo de elementos que desacoplan la estructura y reducen las vibraciones.

Dependiendo del tipo de compuesto del material aislante se pueden clasificar también como:

- **Poliuretano:** compuesto por azúcar y petróleo, se comercializa como espuma económica que proporciona un aislante ligero. Se aplica en forma de planchas aislantes de alta densidad.
- **Geotextil:** Producto reciclable de base textil con una gran durabilidad, capacidad de absorción acústica y aislante térmico. Puede colocarse de forma adhesiva, clavado o atornillado porque se trata de un material polivalente usado en muros y techos.
- **Fibra de vidrio:** Absorben los sonidos y ruido de ambiente por sus excelentes condiciones, resistente al fuego y no producen humo ni gases tóxicos.

- **Planchas asfálticas:** insonorización a baja frecuencia al tratarse de un material flexible, capaz de amortiguar y absorber grandes estruendos. Dispones de una sencilla instalación de forma independiente a otros materiales aislantes. [16]

El aislante térmico es un material con capacidades de conducción muy pobres, cuyo papel principal es permitir un rendimiento térmico óptimo del motor, así como prolongar al máximo su vida útil. Los motores pueden clasificarse de acuerdo al sistema de aislamiento que poseen, tomando en consideración la temperatura máxima a resistir (observado en Figura 2-14). Aunque el tipo de aislamiento y su clase no suelen ser parámetros claves a la hora de escoger un motor, se debe empezar a tomar en cuenta si se quiere que la vida útil del motor sea lo más prolongada posible. [17]

. Los distintos tipos de aislamiento se clasifican en:

- Clase A con temperatura máxima admitida de 105°C
- Clase B con temperatura máxima admitida de 130°C
- Clase F con temperatura máxima admitida de 155°C
- Clase H con temperatura máxima admitida de 180°C

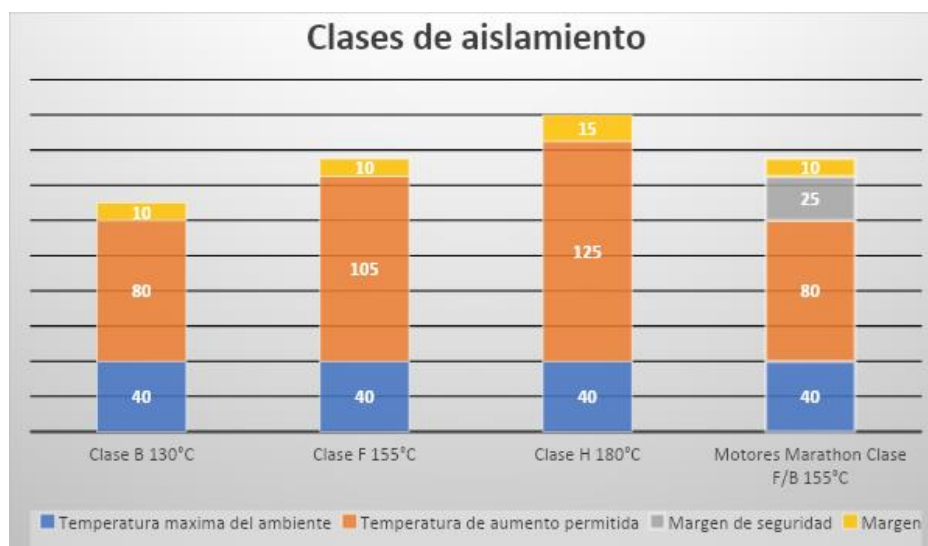


Figura 2-14 Clases de aislamiento térmico [16]

Aunque el tipo de aislamiento y su clase no suelen ser parámetros claves a la hora de escoger un motor, se debe empezar a tomar en cuenta si se quiere que la vida útil del motor sea lo más prolongada posible.

2.10 Normativa sobre emisiones de óxido de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno, principalmente el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂), son sustancias gaseosas bien conocidas que generan un gran problema toxicológico, afectando especialmente a la capacidad pulmonar. Por otra parte, compuestos como el NO₂ reaccionan con el vapor de agua presente en la atmósfera dando como resultado la formación de ácido nítrico (HNO₃), precursor de la lluvia ácida. El NO por su parte, al ser expulsado como gas de escape reacciona con el ozono de la atmósfera para dar como resultado NO₂, que al mismo tiempo genera efectos negativos sobre el clima.

El acuerdo realiza una división en tres niveles, conocidos como “Tier”, en función del año de construcción del buque y dentro de cada nivel se establece un límite de emisiones según las revoluciones del motor. Dicha división se muestra a continuación [18]:

Tier 1		Para buques contruidos hasta el 1 de enero de 2011	
17 g/kWh		Si n es inferior a 130 rpm	
$45 \cdot n - 0,2$ g/kWh		Si n se encuentra entre 130 y 2000 rpm	
9,8 g/kWh		Si n es mayor o igual de 2000 rpm	
Tier 2		Para buques contruidos a partir del 1 de enero de 2011	
14,4 g/kWh		Si n es inferior a 130 rpm	
$44 \cdot n - 0,23$ g/kWh		Si n se encuentra entre 130 y 2000 rpm	
7,7 g/kWh		Si n es mayor o igual de 2000 rpm	
Tier 3		Para buques contruidos a partir del 1 de enero de 2016	
3,4 g/kWh		Si n es inferior a 130 rpm	
$9 \cdot n - 0,2$ g/kWh		Si n se encuentra entre 130 y 2000 rpm	
2,0 g/kWh		Si n es mayor o igual de 2000 rpm	

Tabla 3. Niveles de control de emisiones de NOx [18]

3 PLATAFORMA

3.1 Velero Escuela “Arosa”

El Velero Escuela “Arosa” fue construido en el año 1930 en unos astilleros escoceses situados en la isla de Bute, y por encargo de un joven y rico “bróker” inglés. Fue botado en 1931, siendo su primer nombre “ROSKA”.

En 1979, fue sorprendido en el puerto de Las Palmas con 6.000 kilogramos de hachís, la mayor cantidad de droga aprehendida hasta la fecha. El “Arosa” fue entregado a la Armada Española en enero del año 1981, a través de una adjudicación del Ministerio de Hacienda. Entonces se llamaba “Algoma” (observado en Figura 3-1) y su inmediato anterior propietario era de Estados Unidos de América.

Se dio de alta en la Lista Oficial de Buques de la Armada el 1 de abril de 1981 por Orden Ministerial nº 152/81 publicada en el Diario Oficial nº 114 de 21 de mayo, firmada por delegación, por el entonces Excmo. Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada D. Luis Arévalo Pelluz. Su identificación de costado fue A-21, pasando posteriormente a ser A-72.

Asimismo, por Orden de 29 de junio de 1981, el Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada dispone que el Velero Escuela “Arosa” pase a depender del Capitán General de la Zona Marítima del Cantábrico, estableciendo desde entonces su base de estacionamiento en la Escuela Naval Militar de Marín.



Figura 3-1 En varadero tras entrega a la Armada en 1981 [17]

Durante el mes de julio del año 1981 se procede al traslado del “Arosa” desde el Arsenal Militar de las Palmas de Gran Canarias hasta la Escuela Naval Militar de Marín. El primer comandante fue el entonces Capitán de Corbeta D. Manuel Posada Calleja, mi abuelo.

Desde que está al servicio de la Armada Española ha efectuado numerosos viajes de instrucción con alumnos de la Escuela Naval Militar, visitando tanto puertos españoles como de otros países europeos.

El Velero Escuela “Arosa” es un barco de época. En la actualidad es el segundo barco más antiguo en servicio activo en la Armada Española, solo superado por el buque Escuela “JUAN SEBASTIÁN ELCANO”.

3.1.1 Descripción y características generales de la plataforma

El Velero Escuela “Arosa”, numero de vela: 2358, es un yate inglés aparejado de “Queche”. Se caracteriza por contar con dos palos, de mayor y de mesana, estando este último ubicado a popa de la mayor y a proa de la mecha del timón. Es muy parecido al aparejo de “yol” o “yola” pero en este caso el palo de mesana es más pequeño y se arbola a popa de la mecha del timón, por lo que la botavara suele sobresalir más por la popa.

Está aparejado con velas tipo bermudina o Marconi¹ y éstas en número máximo de cinco hacen que pueda llegar hasta superficie velica máxima total de 362 metros cuadrados. Puede izar las siguientes velas dependiendo principalmente de las condiciones meteorológicas y del estado de la mar: una mayor, una mesana, una trinqueta, 6 foques, yanquis o génovas de distintos tamaños, un spinnaker, una carbonera, un tormentín y una mayor sueca.

Con vientos propicios y el aparejo adecuado suele alcanzar sin dificultad los 8-10 nudos, habiéndose llegado a registrar en una ocasión 15 nudos. En ceñida alcanza velocidades comprendidas entre los 6 y 9 nudos

El casco es de madera de construcción tradicional. Los palos originales de madera, fueron sustituidos por los actuales de aluminio. Los datos principales referentes a sus dimensiones se detallan en el siguiente cuadro:

<i>Desplazamiento</i>		<i>50 toneladas</i>
<i>Eslora de flotación</i>		<i>18 metros</i>
<i>Eslora máxima</i>		<i>22.96 metros</i>
<i>Manga</i>		<i>4.94 metros</i>
<i>Puntal</i>		<i>3.78 metros</i>
<i>Calado máximo a popa</i>		<i>3.42 metros</i>
<i>Guinda</i>	<i>Mayor</i>	<i>23.50 metros</i>
	<i>Mesana</i>	<i>16 metros</i>

Tabla 4. Dimensiones del velero "Arosa" [18]

¹ Las velas bermudinas o Marconi son velas de forma aproximadamente triangular que se izan en un palo estay por el lado del gratil, pueden ir con botavara o sin ella.

3.1.2 Motor principal

El motor principal de propulsión es un *John Deere* modelo 6068TFM50, de 225 cv (168 KW). Cuenta con un solo eje y una hélice de paso fijo con 650 mm de diámetro. Permite desarrollar un máximo de 2400 rpm que se corresponde con una velocidad máxima aproximada de 7 nudos con 12 litros/hora de consumo. La velocidad de crucero (económica) es a 1500 rpm y 4 nudos de velocidad con 8 litros/hora de consumo. Este motor principal está acoplado al eje de la hélice mediante el inversor ZF Marine Propulsion System 22, con mando a distancia instalado en la bañera, junto a la caña.

Los datos principales del motor principal son los siguientes:

Potencia	225 cv
Revoluciones	2600 rpm
Cilindrada	6.8 Litros
Número de cilindros	6 en línea
Aspiración	Turboalimentada
Sistema de inyección	Common-rail
Peso	730 kg
Consumo a rpm óptimas	46.8 Litros/hora

Tabla 5. Especificaciones técnicas del motor principal [20]

A continuación, se expone un esquema de la localización del motor principal en el interior del velero. Por motivos de distribución de pesos, el motor se encuentra a crujía.

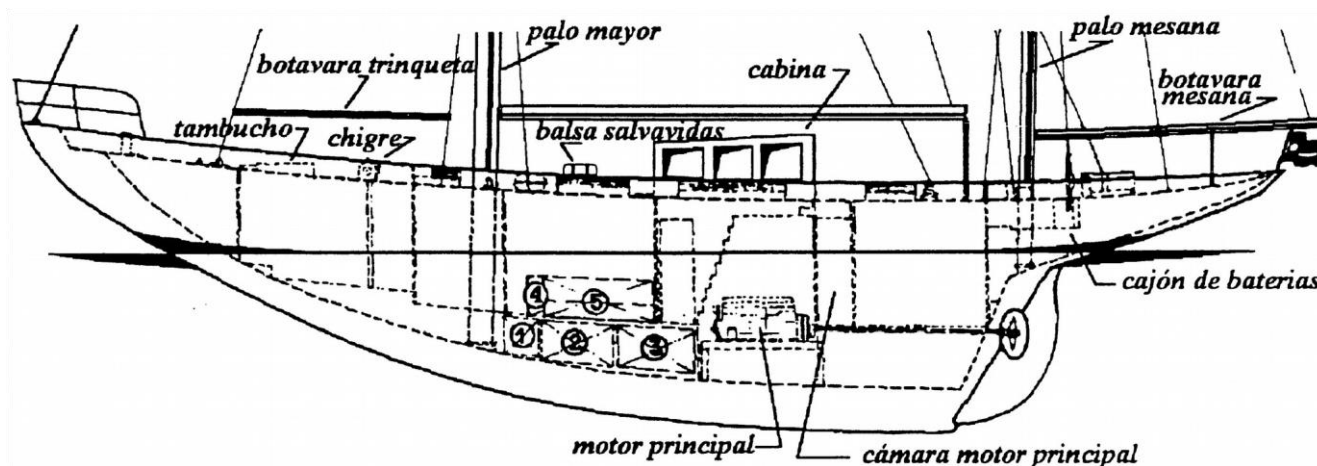


Figura 3-2 Esquema de situación del motor principal [19]

3.1.3 Motor auxiliar y planta eléctrica

El motor auxiliar es un Vetus-Mitshubishi M4. 17, 1500 RPM, Modelo GLS14SIK de 14 KVA. Así mismo consta de 12 baterías de 12 voltios y de 100/80 amperios y de un inversor de CC a CA de onda sinodal modificada A301M-600W (12 y 24 voltios).

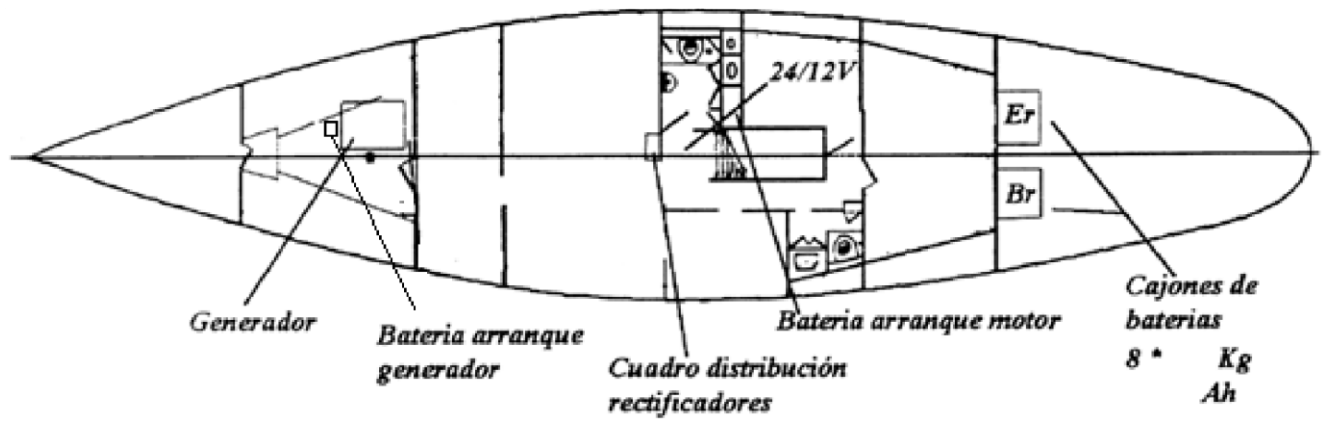


Figura 3-3 Motor auxiliar [19]

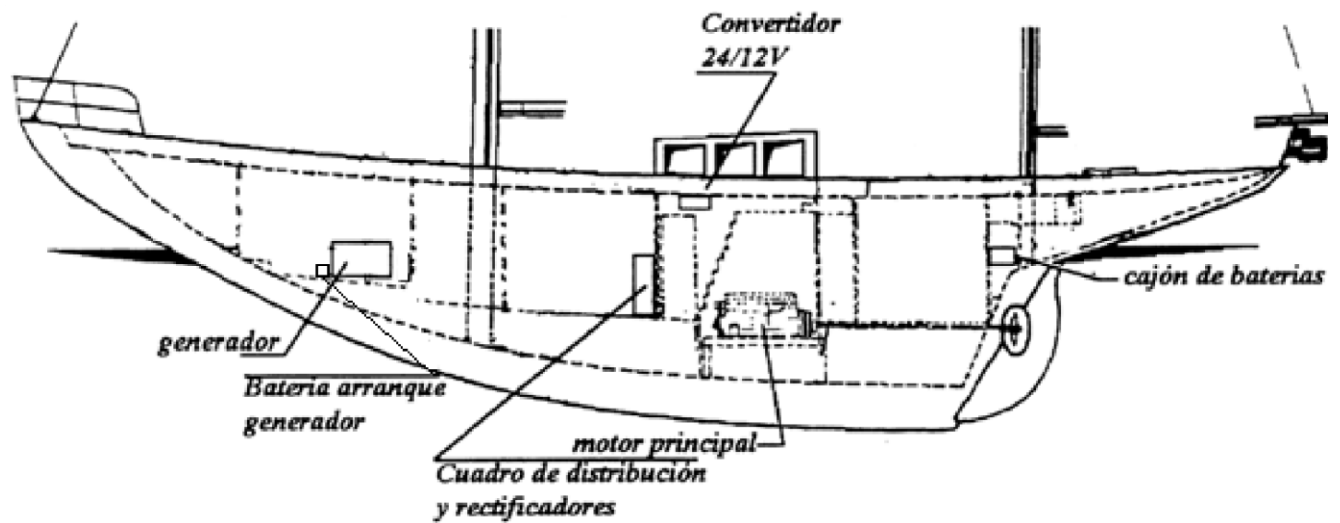


Figura 3-4 Elementos de la planta eléctrica [19]

Marca	Vetus Mitsubishi
Potencia	30 KW
Número de cilindros	4
Tipo	4 Tiempos Diésel
Inyección	Directa
Aspiración	Natural
Desplazamiento	1500 cm ³

Tabla 6. Características del generador [19]

3.1.4 Medios de socorro y salvamento

El barco cuenta con los medios de socorro y salvamento establecidos en el RD 1185/2006 de 16 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regulan las radiocomunicaciones marítimas, y en la ORDEN FOM 1144/2003. ORDEN FOM/1144/2003, de 28 de abril, por la que se regulan los equipos de seguridad y salvamento de a bordo:

- El MMSI del Velero Escuela “Arosa” (A-72) es 224092590
- Una balsa salvavidas ZODIAC con capacidad para 10 personas.
- Una balsa salvavidas DUARRY con capacidad para 8 personas.
- 15 chalecos inflables, 10 de ellos con su correspondiente radiobaliza MOB².
- Una Radiobaliza RLS/EPIRB, tipo Rescue 406 EPIRB 9C08D0D094334D1
- Un transpondedor radar Tron SART 9Ghz núm. Serie 7LD49275
- Pirotecnia: 6 bengalas de mano rojas, 2 Señales fumígenas y 6 cohetes iluminantes con paracaídas.³
- Dos aros salvavidas con guindola y luz.

3.1.5 Seguridad interior

A bordo hay con 2 extintores de polvo seco y 2 extintores de CO₂.⁴ Así mismo, se cuenta con tres bombas fijas de achique (220v, 24v y manual).

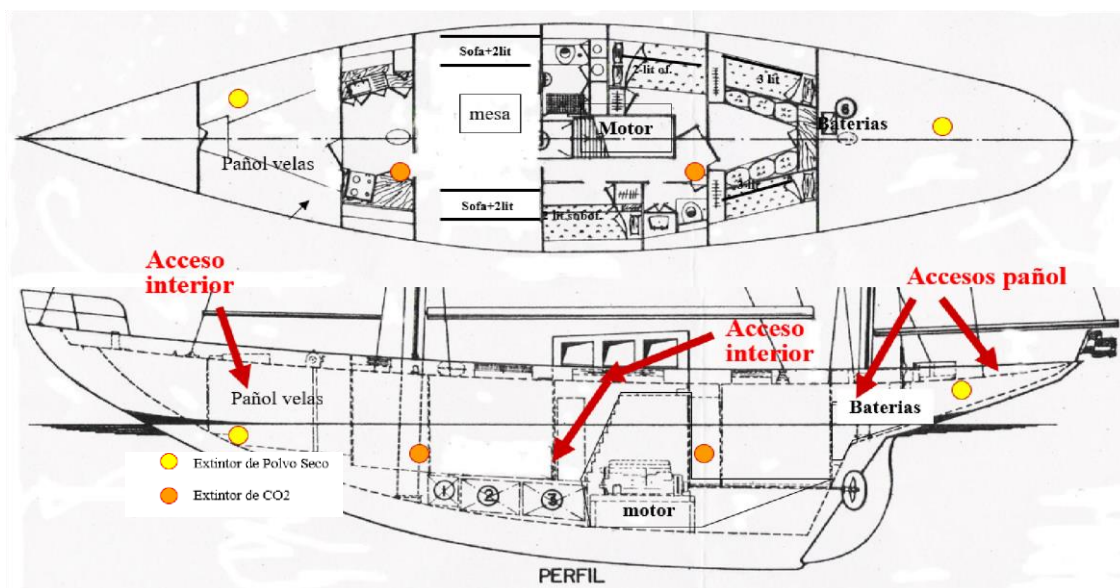


Figura 3-5 Distribución de extintores [18]

² Las radiobalizas MOB de los chalecos salvavidas están en depósito en el CECOM de la ENM, ya que no pueden estar sin custodia. Cuando se necesitan (normalmente en navegaciones de más de un día) el CECOM las engarza en los correspondientes chalecos

³ La revisión, sustitución y mantenimiento del cargo de pirotecnia es responsabilidad del Pañol del Condestable de la ENM

⁴ La revisión, sustitución y mantenimiento del cargo de SI es responsabilidad del CASI de la ENM

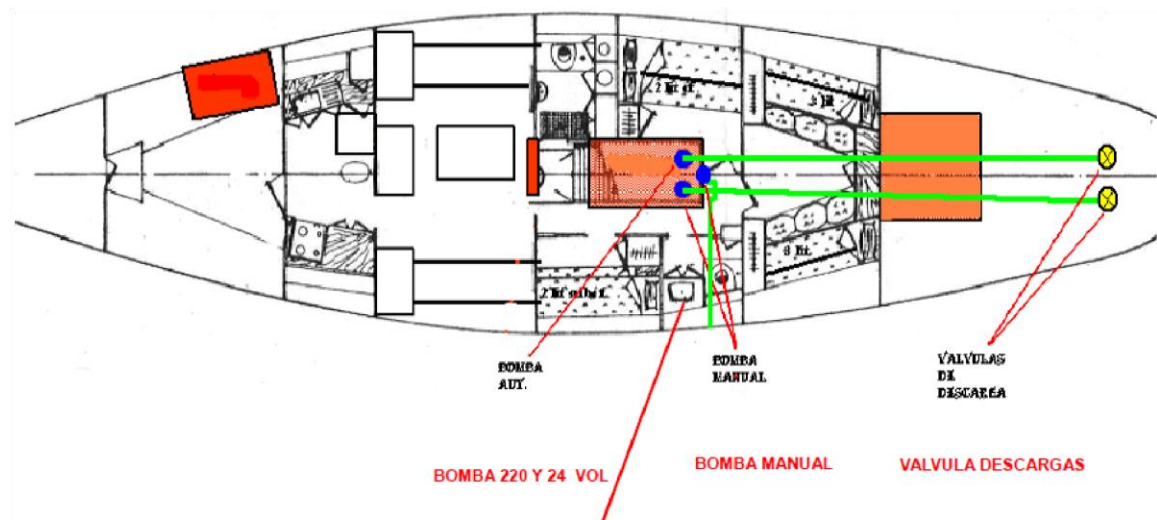


Figura 3-6 Bombas de 220V y de 24V [19]

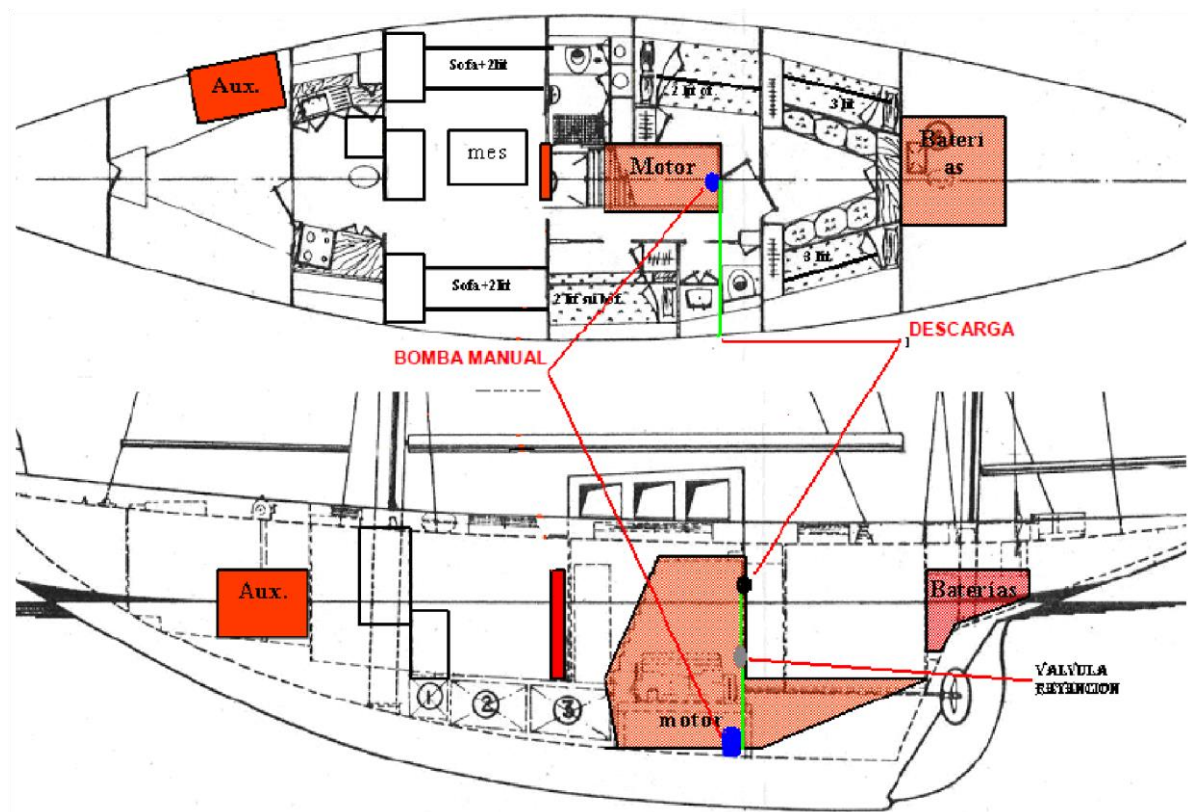


Figura 3-7 Bombas de achique manual [19]

3.1.6 Comunicaciones

Este velero cuenta con los siguientes equipos de comunicaciones, situados en el mamparo a proa de la mesa de derrota.

- Skanti VHF 1000 DSC Profesional
- Sailor RT5022 VNF DSC

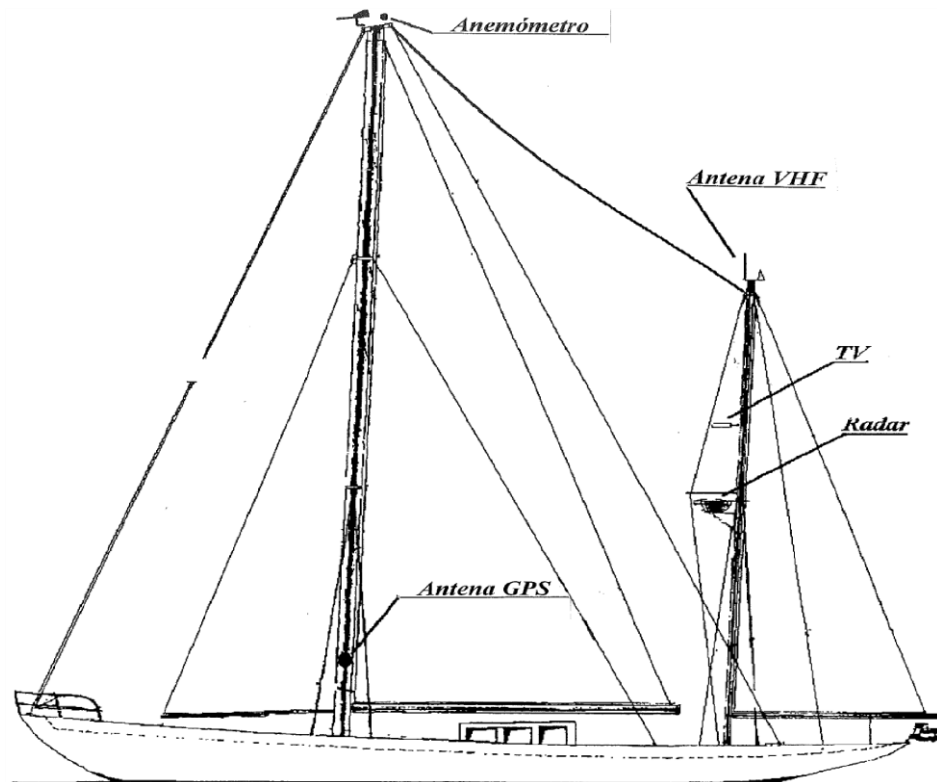


Figura 3-8 Esquema de antenas de comunicaciones y sensores [19]

3.1.7 Equipos de detección y ayuda a la navegación

El barco cuenta con los siguientes equipos de detección y de ayuda a la navegación:

- Radar marino Koden Serie MDC-900
- AIS Trasponder Class B
- Ploter SIMRAD CX33 ChartPloter, con dos pantallas de presentación
- GPS Navegador Koden KGP-95
- Corredera y sondador Raymarine i 50
- Anemómetro Raymarine i 60



Figura 3-9 Mesa de derrota [19]

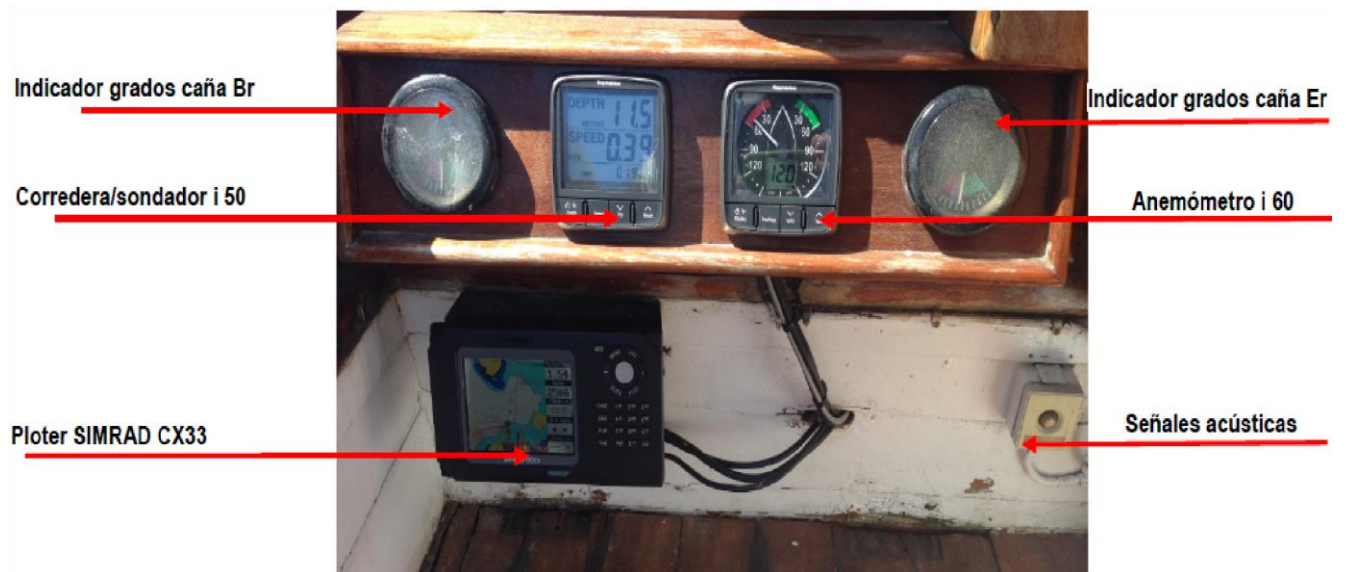


Figura 3-10 Bañera [19]

3.1.8 Habitabilidad

La habitabilidad del barco es austera y reducida, dispone de los siguientes camarotes, sollados y compartimentos destinados para la dotación:

- 1 Camarote de oficiales con dos literas.
- 1 Camarote de suboficiales con dos literas.
- 1 Sollado para alumnos con seis literas.⁵
- 1 Cámara/comedor, con dos literas.
- 1 Lavabo a proa para oficiales y suboficiales.
- 1 Lavabo a popa para alumnos.

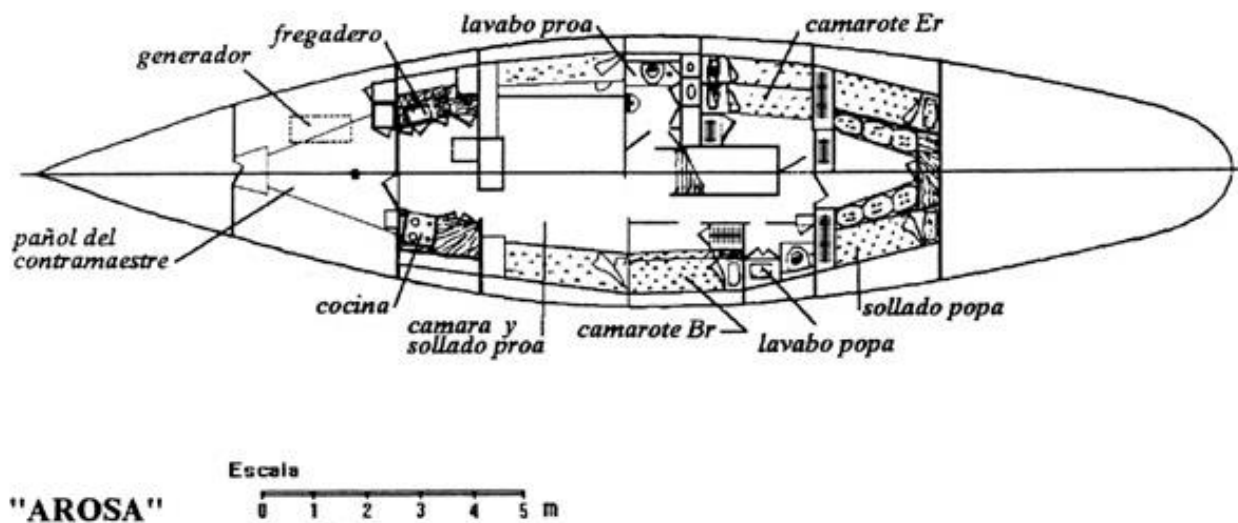


Figura 3-11 Distribución de compartimentos de habitabilidad [19]

3.1.9 Dotación

La dotación permanente está formada por el siguiente personal:

- 1 CC Comandante.
- 1 Suboficial contramaestre.
- 1 Suboficial mecánico.
- 1 CBO/MRO, asignado al barco para efectuar únicamente trabajos en puerto.

En la mar, esta dotación se complementa con el siguiente personal:

- 1 TN 2º Comandante (Para navegaciones prolongadas)
- De 8 a 12 alumnos⁶.

⁵Los alumnos normalmente arrancararán en cama caliente

⁶ Mínimo recomendable para navegar a vela con seguridad: 8 alumnos; mínimo recomendable para navegar compitiendo en regata: 12 alumnos

3.1.10 Historial de varadas y mantenimientos

Fecha	Astillero	Coste	Observación
04/12/2017	Servinauta	4.900€	Varada y derivadas de Varadas
28/07/2016	Servinauta	5.199€	Varada y derivadas de Varadas
25/03/2015	Servinauta	9.683€	Varada y derivadas. Limpieza de casco y pintado de obra viva y muerta
15/01/2014	Servinauta	5.075€	Varada y derivadas. Pintado de obra viva
11/07/2012	Servinauta	2.864€	Varada y derivadas de Varadas
24/03/2011	Nodosa	8.477€	Pintado de obra viva y línea de flotación
23/07/2010	Atollvic	17.265€	Varada y derivadas de Varadas

Tabla 7. Historial de varadas [21]

La tendencia hasta el año 2017 era que entrara en varada cada año al finalizar su crucero de aspirantes. Como se puede observar, el velero lleva casi 5 años sin entrar en varada, lo que hace de una varada una tarea urgente. En las varadas se revisa todos los componentes de la obra viva del velero. Los problemas más importantes del velero son estructurales y vías de agua que hacen que su habitabilidad sea compleja y que la estancia en la mar durante varios días seguidos no sea posible.

Fecha	Coste	Descripción
14/04/2018	7.980 €	Reparación del generador motor auxiliar
01/09/2016	16.608 €	Reparación del calafateado de cubierta
01/05/2015	592 €	Reparación de la burda de estribor
01/05/2015	1.392 €	Revisión de la cubierta por goteras
15/01/2014	5.758 €	Reparación de tapa de regala, guía pasa cabos y plancha metálica
24/09/2013	2.183 €	Limpieza y timbrado de las cuatro inyectoras
15/11/2012	700 €	Reparación del alternador del motor
15/11/2012	2.437 €	Reparación del enfriador de agua
03/10/2012	1.623 €	Reparación de la planta potabilizadora
21/09/2012	893 €	Limpieza de tres tanques de gas-oíl
11/07/2012	6.590 €	Reparación de vía de agua limera del timón
11/07/2012	13.502 €	Reparación de firmes de cubierta back-stay y del palo mayor
20/03/2012	4.819 €	Reparación apuntalamiento de cubierta
20/03/2012	3.647 €	Refuerzo de firmes burdas del palo mesana
27/02/2012	3.259 €	Reparación de planta potabilizadora
23/02/2012	644 €	Recorrido del chigre
10/01/2012	2.006 €	Reparación stay palo mayor

Tabla 8. Historial de reparaciones [21]

El historial de nos muestra las pequeñas reparaciones que se le han hecho al velero durante los últimos años. Se puede observar que el velero no ha sido sometido a una reparación en profundidad en los últimos años. La propuesta general del trabajo, que será comentada más adelante, propone una reparación a gran escala debido al estado actual de su propulsión y sistemas auxiliares.

3.2 Estado actual de la plataforma

3.2.1 Pañol de contra maestre

El pañol de velas del contra maestre se encuentra situado en la proa (Figura 3-11), en él se estiban todas las velas sobrantes durante la navegación. Al ser un compartimento de tan reducido tamaño y la necesidad de guardar un número elevado de velas y demás repuestos hace que se acaben depositando sobre la estructura del generador. Como se puede observar en la Figura 3-12, actualmente la estructura que soporta el generador se encuentra completamente al aire, sin ningún tipo de aislante ni protección.

Al ser un compartimento en el que se alcanzan altas temperaturas y existen combustibles, la probabilidad de tener un incendio es demasiado alta. Además, en la distribución de extintores (Figura 3-5) solo aparece la existencia de un extintor de polvo que se considera bastante insuficiente en caso de producirse un incendio en dicho compartimento. Por otro lado, la cadena del ancla justo permanece estibada debajo del compartimento. En las maniobras de fondeo la cadena se desplaza a una distancia bastante pequeña. Al recuperar la cadena, ésta viene mojada con agua de mar que acaba derramándose en el generador y baterías.

Las condiciones actuales de este pañol suponen un grave riesgo de tener una incidencia a bordo navegando o en puerto. También se observa métodos de extinción de incendios insuficientes.



Figura 3-12 Generador situado en el pañol de contra maestre de proa

3.2.2 Cámara de máquinas

La cámara de máquinas se encuentra situada a crujía, debajo de las escaleras que dan al interior del buque (como se puede observar en Figura 3-2). Debido a la antigüedad de la plataforma el compartimento se encuentra en un estado bastante anticuado.

En su interior, se puede observar que sus paredes están compuestas por una pequeña capa de goma a modo de aislante colocada sobre una fina pared de madera (Figura 3-13). La fina capa de goma que está colocada alrededor es apenas útil debido a su antigüedad y material pobre del que está fabricado. Es por ello que, en cuanto a ruidos y temperatura en el interior del compartimento, el barco tiene una capacidad de aislante bastante pobre. Esto hace que el ruido que se produce en el interior de la sala de máquinas se propague con facilidad en la zona de habitabilidad.



Figura 3-13 Compartimento de la cámara de máquinas

En cuanto a la aspiración del motor, se puede observar en Figura 3-14 que es de carácter interior. Al alcanzar altas temperaturas en el interior de la cámara de máquinas, el aire aspirado para la combustión entra con cierta temperatura. Esto hace que el aire aspirado posea un menor porcentaje de oxígeno, lo que se traduce en una pérdida de rendimiento en la combustión.



Figura 3-14 Filtro de admisión interior del motor

Por otro lado, el sistema de evacuación de gases de escape producidos por la combustión está formado por tres tramos diferenciados; un primer tramo formado por un tubo de goma que está conectado al motor y sale por la parte superior del compartimento, a continuación, se une a un tramo en forma de

codo hecho de acero inoxidable y por último sale al exterior en otro tramo hecho de goma. El problema viene dado por la unión en el codo de acero inoxidable ya que se encuentra alojada en el armario del camarote de oficiales (Figura 3-15). En caso de producirse una fuga en dicha unión, el camarote quedaría completamente inundado por dióxido de carbono, lo que podría ocasionar un accidente fatal en caso de estar alojado por personal en el supuesto caso.



Figura 3-15 Unión del sistema de escape

3.2.3 Habitabilidad

Los principales problemas que posee el velero actual son de carácter estructural y de habitabilidad. Debido a la antigüedad de sus paredes de madera problemas como filtraciones de agua a través de la cubierta principal, pequeñas inundaciones, así como la inoperatividad de uno de sus dos cuartos de baño limitan de manera significativa el número de días de permanencia fuera de puerto.

A continuación se exponen diferentes problemas encontrados actualmente:

- En el camarote de babor (ver en Figura 3-11) existe una filtración de agua que recae directamente en la cama superior de la litera del camarote. Al mínimo oleaje existente el agua se filtra cayendo directamente de la persona que se encuentre descansando en ese momento.



Figura 3-16 Filtración en el camarote de babor

- En el lavabo de popa (ver en Figura 3-11) se puede observar el grado de oxidación existente. Además, el estado de la madera y un fallo de presión hace que una reforma sea necesaria si el periodo de navegación es de varios días



Figura 3-17 Lavabo de popa

- En cuanto a la acústica del interior del barco, debido a la falta de aislante en el interior de la cámara de máquinas, el ruido se propaga por toda la zona de habitabilidad. Este problema se traduce en un impedimento para el descanso de la tripulación del velero

4 PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

A continuación, se exponen las diferentes propuestas de actuación estudiadas para el velero. Están divididas en dos partes diferenciadas. Por un lado, se tiene las propuestas relacionadas con la cámara de máquinas, donde se incluyen el motor principal, la admisión del motor y la instalación de combustible. Por otro lado, se exponen las propuestas relacionadas con los equipos auxiliares del velero, donde aparecen fondeo y amarre, equipo de gobierno, achique baldeo y contraincendios, tanques principales, instalación de agua dulce, equipos electrónicos de ayuda a la navegación, aguas grises y negras y la instalación eléctrica. Por último, se exponen los presupuestos obtenidos para las mejoras.

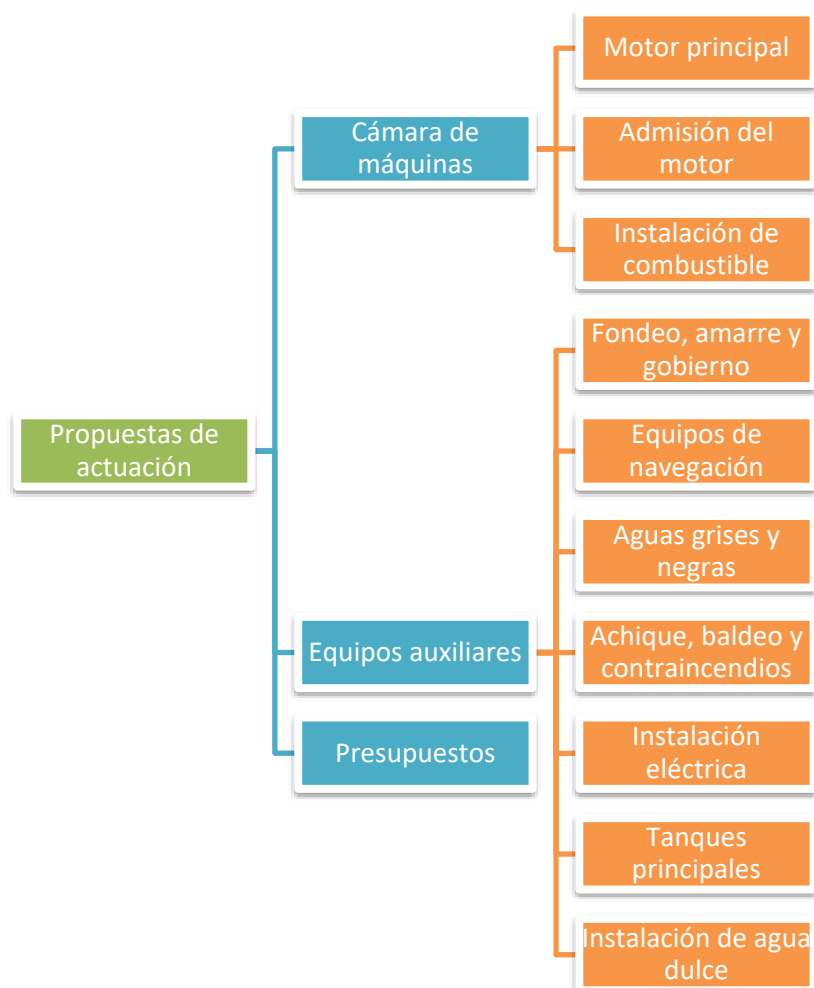


Figura 4-1 Esquema sobre las propuestas de actuación

4.1 Cámara de máquinas

Dentro de la sala de máquinas sería recomendable sustituir las siguientes instalaciones, circuitos y maquinaria actual debido a su estado actual, A continuación, se exponen las posibles sustituciones:

- Motor de propulsión con su correspondiente reductora.
- Generador de 30 KW.
- Filtros de combustible de la instalación.
- Filtros de agua para alimentación del motor principal.
- Bomba manual con colector de la sentina.
- Bomba de trasiego del combustible.
- Tanque de aceite de 50 litros.
- Grupo de presión de agua.
- Retenes estanqueidad de la bocina.
- Aislamiento acústico y térmico.

Todas las nuevas tuberías de combustible deben ser de acero inoxidable para evitar pérdidas y oxidaciones. La totalidad de los conductos irían identificados, tanto en su contenido como en su sentido de circulación, mediante rotulación de color reglamentaria. El acabado del suelo de la cámara estaría compuesto por piezas desmontables que permitan su acceso a la sentina de manera sencilla, pudiendo ser por ejemplo tramex o chapa diamante.

4.1.1 Motor principal

Los fabricantes del sector expresan en sus especificaciones la potencia referida de un motor para un determinado número de revoluciones por minuto que debe alcanzar el motor para entregar esa potencia. Esta condición cobra gran relevancia a la hora de la elección del motor debido a las vibraciones, ruidos, consumo y desgaste. La máxima potencia entregada por un motor puede denominarse como potencia bruta, si se trata de la potencia que entrega el motor sin tener en cuenta las pérdidas en la transmisión, o bien puede tratarse de la potencia en el eje, si se tienen en cuenta estas pérdidas y que nos daría la potencia disponible en el eje/hélice.

Si el fabricante adjunta a la información del motor una gráfica como Figura 4-2 se estará en condiciones de observar la entrega de potencia del motor en todo su rango de rpm, lo que nos facilitará la labor de conocer cuál será la potencia obtenida a nuestro régimen de rpm ideal como velocidad de crucero, que será considerablemente menor que la velocidad máxima.

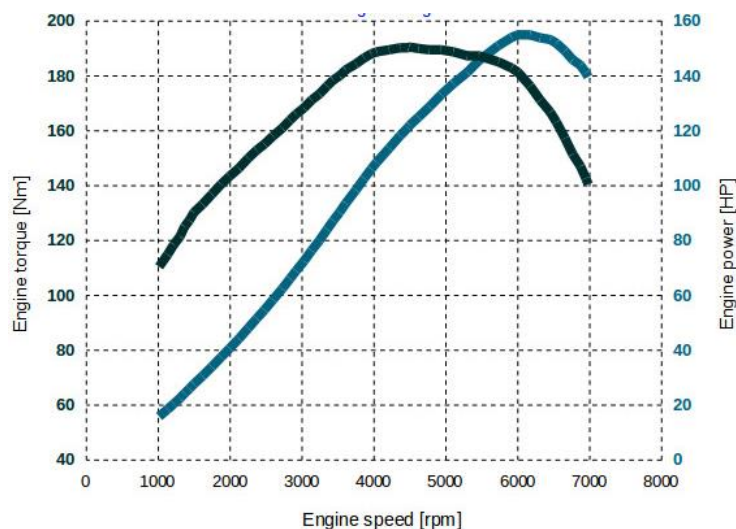


Figura 4-2. Gráfica de relación entre potencia y r.p.m [22]

Un velero es un barco de desplazamiento, la forma de su carena tiene que desplazar al agua por donde navega para conseguir avanzar. Todos los barcos de desplazamiento tienen limitada su velocidad máxima a causa de las olas que generan durante su avance, puesto que un casco recibe una gran resistencia y no puede superar fácilmente una ola que está elevando su proa mientras su popa se encuentra en el valle de la ola precedente. La misma dinámica de propagación de estas olas permite hacer un cálculo de la velocidad máxima que puede alcanzar un velero. Dicha fórmula viene dada por:

$$V_{max} = 2.43 \times \sqrt{E_{flot}}$$

Ecuación 2. Cálculo de velocidad máxima [23]

Donde:

- V_{max} se refiere a la velocidad máxima en nudos
- E_{flot} se refiere a la eslora de flotación en metros

Para el “Arosa” se toman los datos de Tabla 4, donde su eslora de flotación es de 18 metros. Por tanto, nos sale:

$$V_{max} = \mathbf{10,3 \text{ nudos.}}$$

A esta velocidad inicialmente se redondeará a la baja para conocer la velocidad máxima real. A continuación, se debe aplicar un porcentaje de disminución recomendado del 15% debido a que, por comodidad de crucero, no es deseable llevar el motor continuamente a su velocidad máxima. Por tanto para este velero se tendrá aproximadamente una V_{max} de **8,5 nudos**. De esta manera se guarda una reserva de potencia que nos permita afrontar un aumento de velocidad esporádico en el caso que sea necesario, o por causa de una mar con olas o un fuerte viento de proa que frene nuestro avance.

El fabricante del motor normalmente nos proporciona en el manual de servicio información relativa al número de rpm máximas que puede alcanzar el motor en periodos temporales o esporádicos, y al mismo tiempo nos indica cual es el régimen de rpm adecuado para la velocidad crucero de nuestro motor, que suele rondar el 75% del límite máximo. Con ello nos indica que llevar el motor por debajo de ese régimen de rpm causa un deterioro a largo plazo de los componentes internos, y por tanto no es aconsejable sobredimensionar el motor más allá de lo que nuestra eslora de flotación nos permite. En cuanto a la dimensión de la hélice ocurre de la misma manera; no es recomendable modificar las dimensiones de la hélice que nos impidan alcanzar el número óptimo y el máximo de r.p.m.

Con todo ello se llega a la conclusión de que es igual de inconveniente equiparnos con un motor de poca potencia que no nos permita solventar situaciones adversas contra la mar y vientos duros, del mismo modo que es inconveniente equiparnos de un motor de excesivamente potente que no nos permita ir al régimen recomendado. [23]

La regla teórica de los astilleros se aproxima a 4 CV por tonelada de desplazamiento para veleros comercializados normalmente en nuestras latitudes. A continuación, en Tabla 9 se expone una muestra de ejemplos de veleros a los que se le asocia la potencia recomendada por los astilleros, donde se observa que la regla se acerca más a 5 CV por tonelada que 4 CV:

<i>Modelo</i>	<i>Desplazamiento</i>	<i>Eslora de Flotación</i>	<i>Motor recomendado</i>
<i>Bavaria 30</i>	<i>4.400 Kg</i>	<i>8.25 metros</i>	<i>18 CV</i>
<i>Jeanneau Sun Odyssey 29.2</i>	<i>2.750 Kg</i>	<i>7.7 metros</i>	<i>9 CV</i>
<i>Dufour 365</i>	<i>6.130 Kg</i>	<i>9.28 metros</i>	<i>28 CV</i>
<i>Bavaria 37 Cruiser</i>	<i>6.900 Kg</i>	<i>9.82 metros</i>	<i>29 CV</i>
<i>Hanse 430</i>	<i>10.800 Kg</i>	<i>12 metros</i>	<i>55 CV</i>
<i>Jeanneau Sun Odyssey 54 DS</i>	<i>18.000 Kg</i>	<i>14.79 metros</i>	<i>85 CV</i>
<i>North Wind 56</i>	<i>21.000 Kg</i>	<i>14.47 metros</i>	<i>140 CV</i>

Tabla 9. Motor recomendado por astilleros según características [6]

Como conclusión de los criterios se observa que una motorización de 3 CV por tonelada se considera mínimamente aceptable, una de 4 CV se considera como ideal, y una de 5 CV por tonelada como una muy buena reserva de potencia para aquellos navegantes que tengan prevista la necesidad de afrontar innumerables situaciones comprometidas. Debido a los cruceros de instrucción que realiza el Velero/Escuela “Arosa” anualmente por las costas de la Península Ibérica, donde tiene que afrontar vientos de hasta 40 nudos y gran oleaje en zonas críticas como el Estrecho de Gibraltar, se recomienda para dicho velero cuyo desplazamiento es de 50 Toneladas (Tabla 4) **una motorización de al menos 250 CV.**

Se recomienda que la admisión se realice mediante dos tomas situadas en la cubierta del velero provistas del correspondiente laberinto que debe ir aislado acústicamente y protegido por dos conchas de acero inoxidable.

4.1.2 Opciones de motores para el sistema de propulsión

Tras un estudio de los motores que cumplen con los requisitos mínimos que necesita el buque en cuanto a potencia y a emisiones, se valoran las siguientes opciones.

4.1.2.1 Volvo Penta D4-270



Figura 4-3 Motor Volvo Penta D4-270 [24]

El Volvo Penta D4 es un motor diésel de 4 cilindros en línea y 3,67 litros con inyección de combustible common-rail, doble árbol de levas en cabeza y turbo. Sus características principales son las siguientes:

- Alto rendimiento: Respuesta inmediata y alto rendimiento vienen unidos por su poco nivel de ruido y vibraciones reducida por un eje balanceado y la suspensión optimizada del motor.
- Compacto y robusto: El motor está diseñado y construido para ser robusto y compacto mediante la tecnología de corte precisa. Esto aporta una gran fiabilidad y durabilidad a largo plazo.
- Par motor: El alto par a bajas rpm proporciona una rápida aceleración del motor y una enorme potencia de maniobra. Incluso a alta carga y altas rpm, el par motor sigue siendo fuerte para proporcionar una velocidad de crucero eficiente en todas las condiciones.
- Bajo consumo: El sistema de inyección de combustible de common-rail ayuda a que el motor sea altamente eficiente en el consumo de combustible. La unidad de control supervisa varios parámetros que reducen el consumo total de combustible.
- Control electrónico de la embarcación: integra completamente el sistema de propulsión permitiendo el conjunto único de características opcionales, como el Joystick Docking, y la Glass Cockpit.
- Alta durabilidad: Un sistema de propulsión de Volvo Penta es fácil de mantener. La amplia gama de aceite, lubricante y refrigerante de alta calidad garantiza un rendimiento máximo y más tiempo en el mar. Entre las características estándar se incluyen el filtro de aceite de flujo total y de derivación reemplazable por separado, los sensores de nivel y temperatura del aceite y el separador de aceite del cárter para mantener el motor en buen estado [24].

A continuación, se exponen los datos técnicos, así como sus dimensiones:

<i>Potencia</i>	<i>270 cv</i>
<i>Revoluciones</i>	<i>3500 rpm</i>
<i>Cilindrada</i>	<i>3.67 Litros</i>
<i>Número de cilindros</i>	<i>4 en línea</i>
<i>Aspiración</i>	<i>Turbo con after cooler</i>
<i>Sistema de inyección</i>	<i>Common-rail</i>
<i>Peso</i>	<i>660 kg</i>
<i>Consumo a rpm óptimas</i>	<i>28 Litros/hora</i>

Tabla 10. Datos técnicos Motor Volvo Penta D4-270 [24]

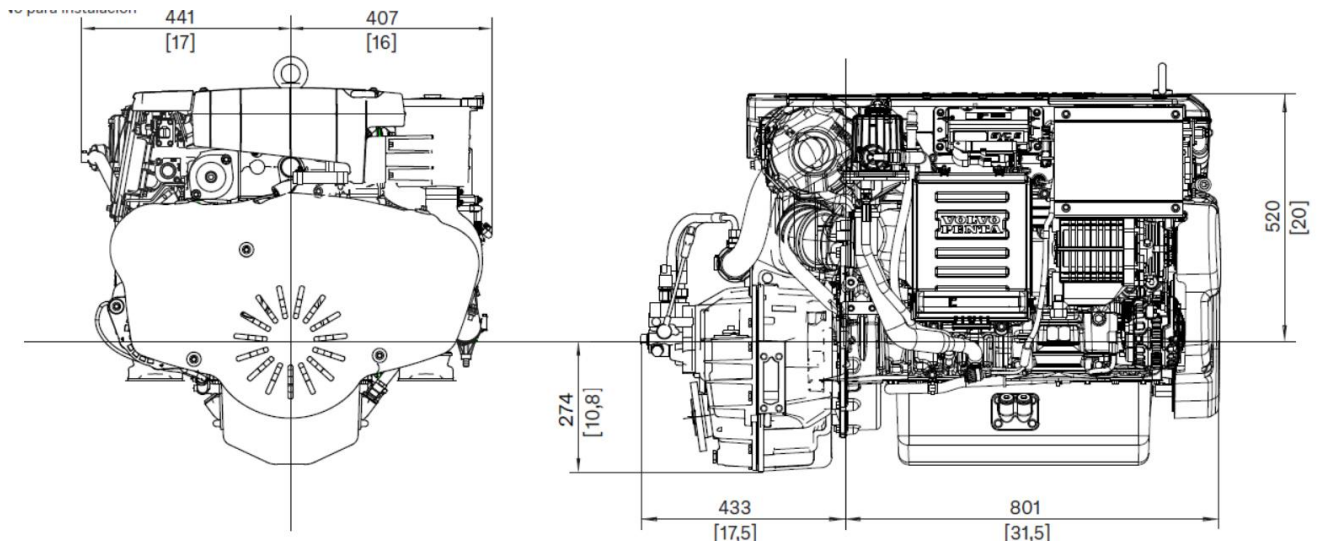


Figura 4-4 Dimensiones del motor Volvo Penta D4-270 en mm [24]

En la siguiente gráfica se puede observar el consumo en función de las revoluciones:

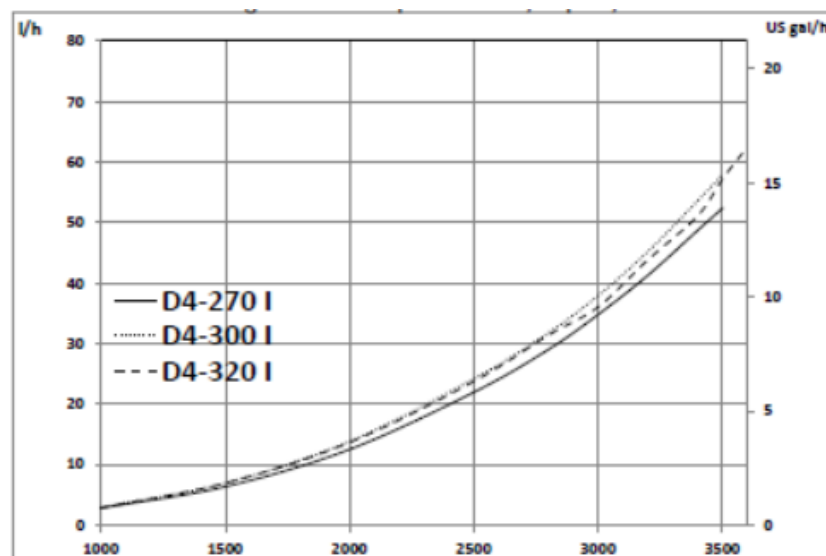


Figura 4-5 Consumo del motor D4-270 I según rpm [24]

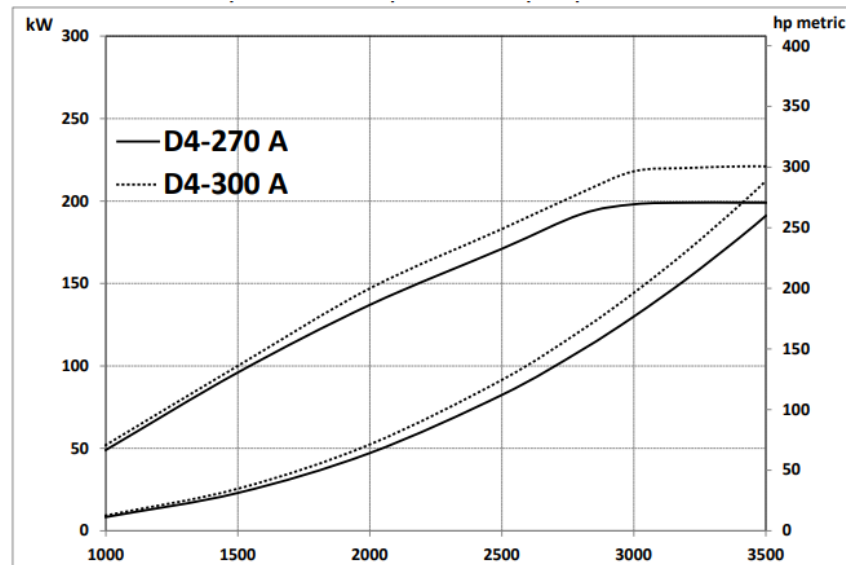


Figura 4-6 Curva de potencia en función de rpm del motor Volvo Penta D4-270 [24]

4.1.2.2 Yanmar 4LV250



Figura 4-7 Motor Yanmar 4LV250 [25]

La serie 4LV común consta de motores diésel de inyección de cuatro tiempos, equipados con un sistema de inyección directa common-rail y sistemas de refrigeración líquida. Este tipo de motor posee 4 cilindros y turbocompresor con un termo cambiador. El motor está equipado con un inversor reductor marino o propulsión de popa. Está diseñado para su uso en embarcaciones de recreo. El motor debe instalarse correctamente con tuberías refrigerantes, conductos de gases de escape y cableado eléctrico. El motor está diseñado para funcionar a máxima aceleración menos del 5% del tiempo total de funcionamiento y velocidad de crucero. En la siguiente figura se expone su consumo [24]:

A continuación, se exponen los datos técnicos y las medidas:

<i>Potencia</i>	250 cv
<i>Revoluciones</i>	3500 rpm
<i>Cilindrada</i>	2.755 Litros
<i>Número de cilindros</i>	4 en línea
<i>Aspiración</i>	Turboalimentado con enfriador de aire
<i>Sistema de inyección</i>	Common-rail
<i>Peso</i>	634 kg
<i>Consumo a rpm óptimas</i>	33 Litros/Hora

Tabla 11. Datos técnicos motor Yanmar 4LV250 [25]

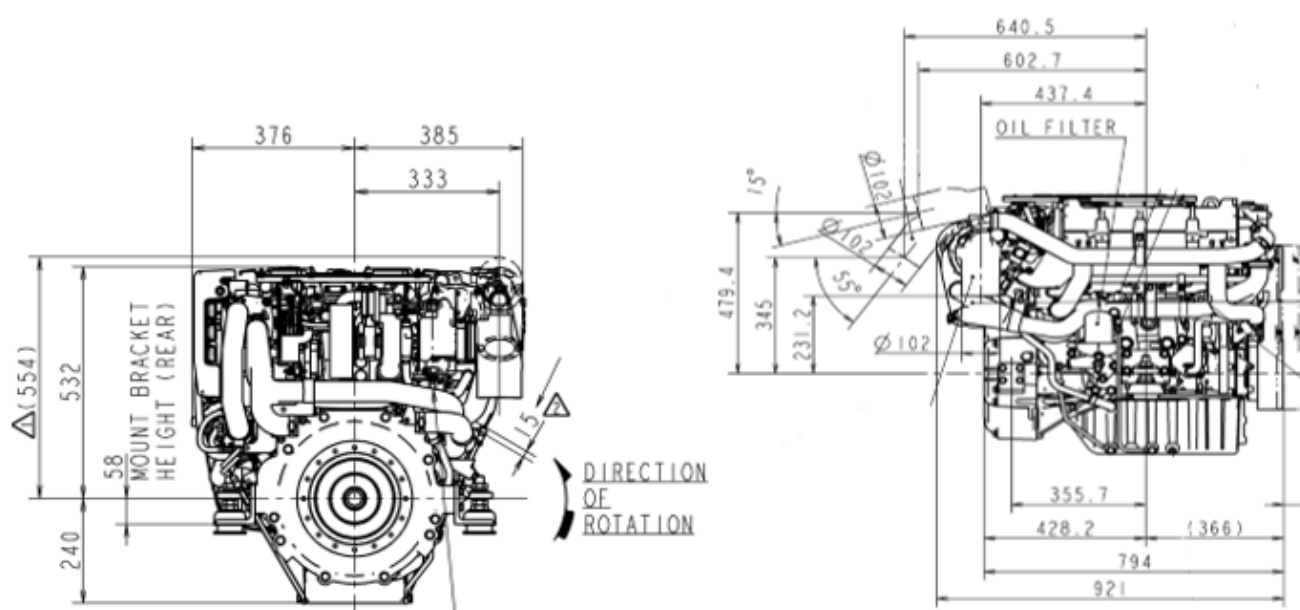


Figura 4-8 Dimensiones del motor Yanmar 4LV250 en mm [25]

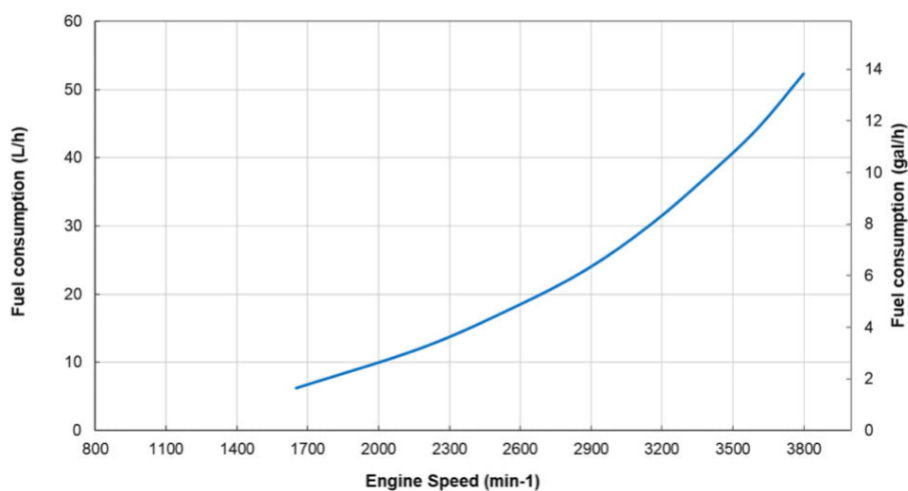


Figura 4-9 Consumo del motor Yanmar 4LV250 en función de rpm [25]

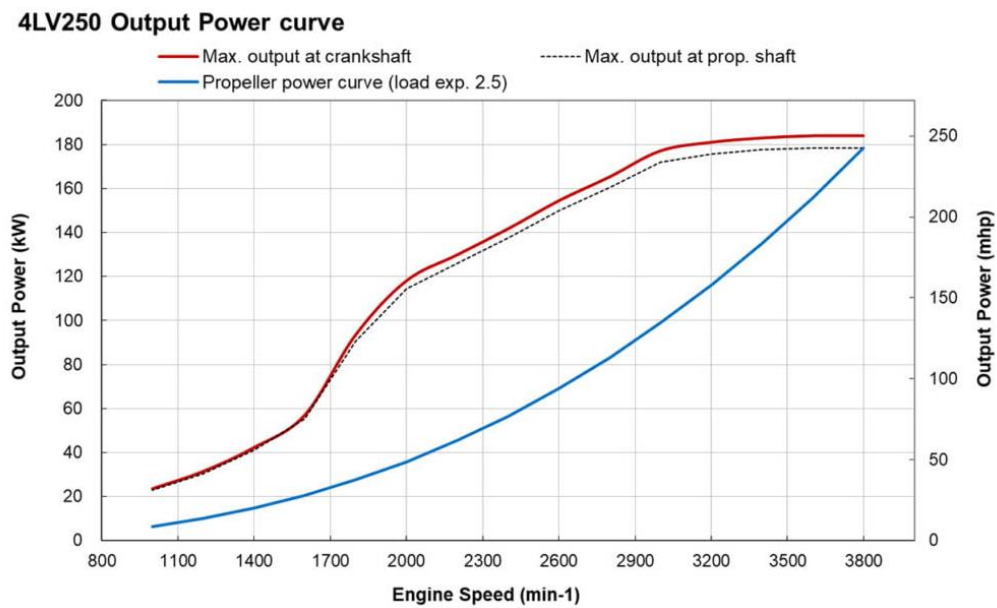


Figura 4-10 Curva de potencia en función de rpm del motor Yanmar 4LV250 [25]

4.1.2.3 Motor Yanmar 6CH-WUT



Figura 4-11 Motor Yanmar 6CH-WUT [25]

A diferencia de los dos otros posibles motores previamente mencionados, este tiene 6 cilindros en línea. Posee de mayor potencia y su sistema de arranque es de carácter eléctrico. En cuanto a emisiones, está regulado por la normativa IMO Tier II. Este tipo de motores son característicos por su fiabilidad y consumo relativamente bajo [24].

A continuación, se exponen los datos técnicos y las medidas:

<i>Potencia</i>	276 cv
<i>Revoluciones</i>	2600 rpm
<i>Cilindrada</i>	6.5 Litros
<i>Número de cilindros</i>	6 en línea
<i>Aspiración</i>	Turboalimentado con enfriador de aire
<i>Sistema de inyección</i>	Common-rail
<i>Peso</i>	940 kg
<i>Consumo a rpm óptimas</i>	35 Litros/Hora

Tabla 12. Datos técnicos motor Yanmar 6CH-WUT [25]

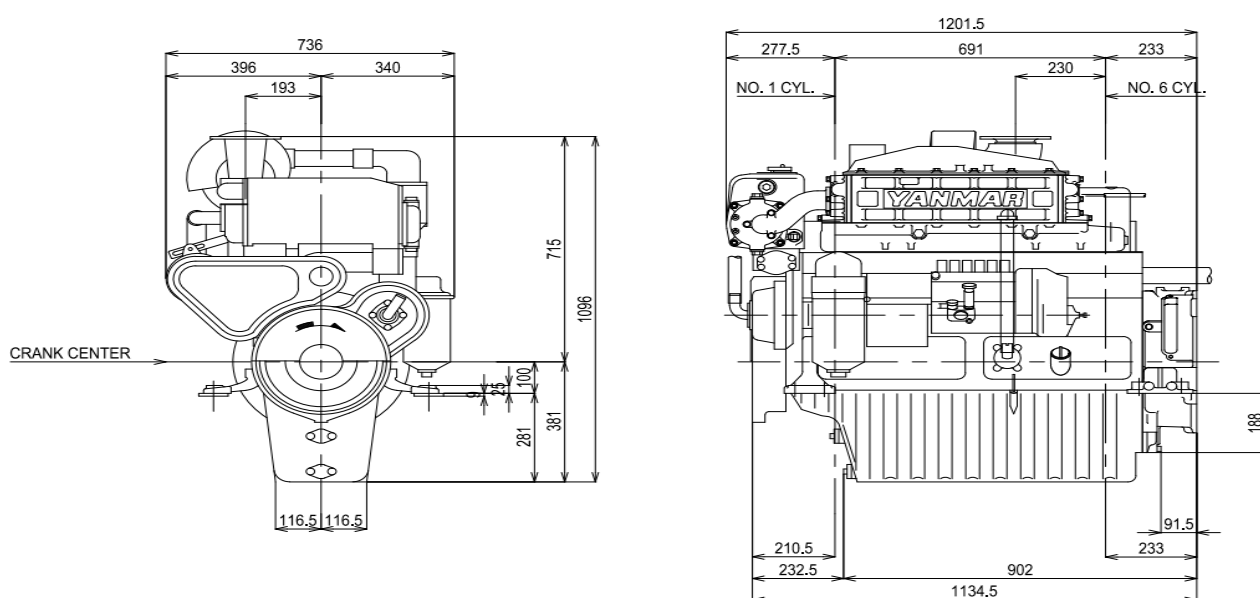


Figura 4-12 Dimensiones del motor Yanmar 6CH-WUT en mm [25]

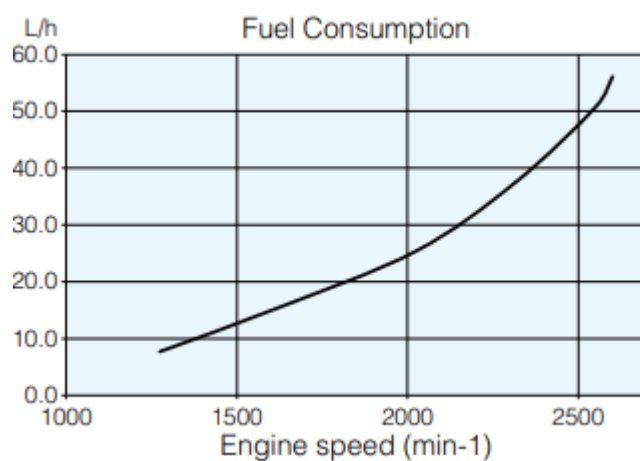


Figura 4-13 Consumo del motor Yanmar 6CH-WUT en función de rpm [25]

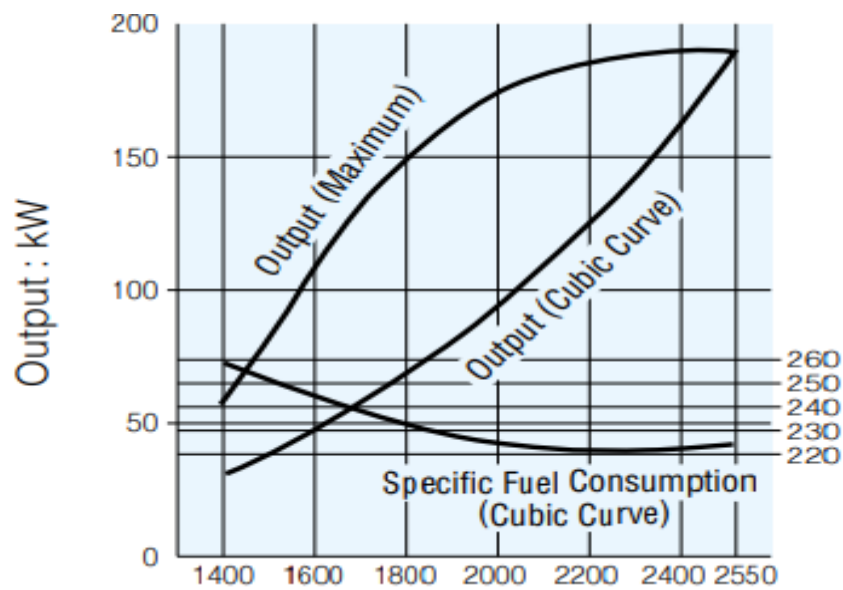


Figura 4-14 Curva de potencia en función de rpm del motor Yanmar 6CH-WUT [23]

4.1.2.4 Motor Yanmar 6HA2M-WHT

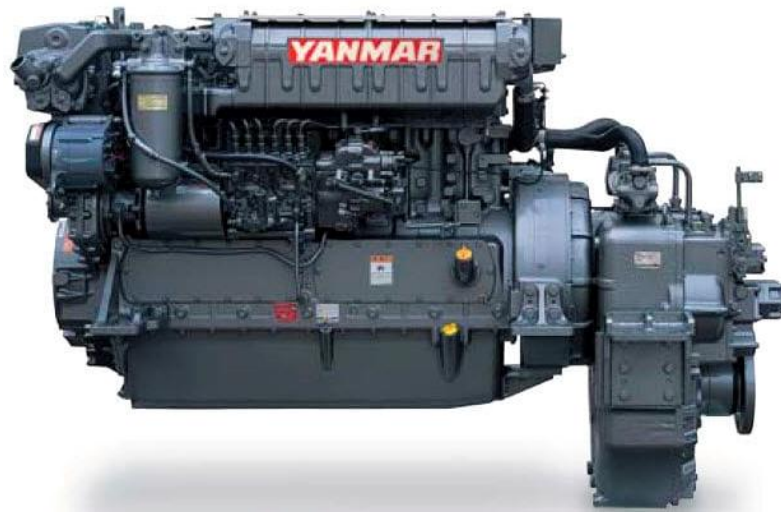


Figura 4-15 Motor Yanmar 6HA2M-WHT [23]

A diferencia que el modelo anterior (4.1.2.3) este motor posee un desplazamiento superior lo que implica un aumento en el consumo, esto conlleva que este modelo trabaje a un menor número de rpm.

A continuación, se exponen los datos técnicos y las medidas [24]:

<i>Potencia</i>	273 cv
<i>Revoluciones</i>	1880 rpm
<i>Cilindrada</i>	13.1 Litros
<i>Número de cilindros</i>	6 en línea
<i>Aspiración</i>	Turboalimentado
<i>Sistema de inyección</i>	Inyección directa
<i>Peso</i>	1155 kg
<i>Consumo a rpm óptimas</i>	35 Litros/Hora

Tabla 13. Características Motor Yanmar 6HA2M-WHT [25]

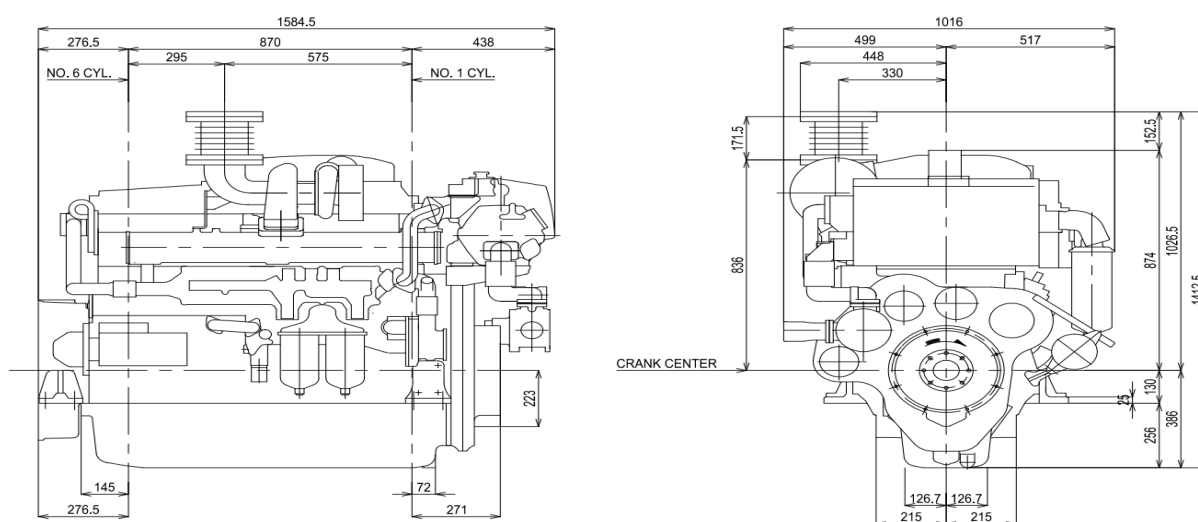


Figura 4-16 Dimensiones motor Yanmar 6HA2M-WHT [25]

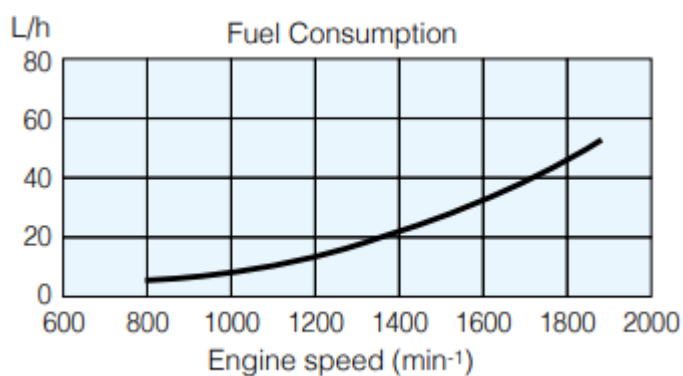


Figura 4-17 Consumo del motor Yanmar 6HA2M-WHT en función de rpm [25]

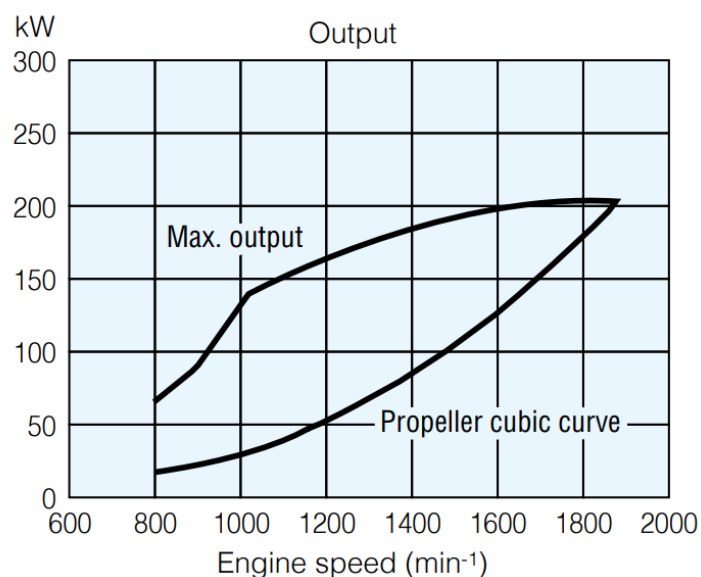


Figura 4-18 Curva de par en función de rpm del motor Yanmar 6HA2M-WHT [25]

4.1.2.5 Comparación entre opciones posibles de motor

Para la elección del motor se ha elaborado una tabla donde se comparan los motores disponibles en el mercado con el motor actual que posee el velero. En la Tabla 14 se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- **Consumo:** Por motivos económicos, el consumo cobra una gran importancia a la hora de realizar viajes de larga duración. Cuanto menor consumo posea un motor mayor autonomía tendrá el velero, esto se traduce en un número mayor de días sin entrar en puerto, así como un ahorro económico. La estimación del consumo de cada motor se ha realizado individualmente. Es decir, a partir de los rpm máximos de cada motor se ha cogido sus rpm óptimos que vienen dadas al 80%, cuando el motor entrega su máxima potencia. A partir de dichos rpm se ha entrado en las tablas de consumo y se ha obtenido el valor aproximado. La razón de haber aplicado este criterio es debido a que al ser diferentes motores a unos mismos rpm entregan potencias diferentes.
- **Emisiones:** Con los estándares de emisiones previamente citados (2.10), la tendencia por parte de todos los fabricantes es una reducción al máximo de las emisiones perjudiciales para la atmósfera.
- **Dimensiones:** Teniendo en cuenta que las dimensiones de la cámara de máquinas son 1790 x 1252 mm, cualquier opción que esté dentro de los límites podría valer. Se debe tener en cuenta que tener un mayor espacio libre dentro de la cámara de máquinas proporciona una facilidad a la hora de realizar cualquier mantenimiento ya que permite acceder a cualquier componente de manera sencilla.
- **Peso:** El peso se tiene en cuenta en embarcaciones de desplazamiento considerablemente pequeño. En este caso solo afectará ligeramente a la velocidad máxima que pueda llegar a alcanzar la plataforma.
- **Regulación:** Por un lado, existe la regulación electrónica que se controla mediante el uso de unos sensores que mandan señales a una denominada centralita. Esta centralita es la encargada de mandar las órdenes a los inyectores de combustible. Por otro lado, existe la regulación mecánica. Este tipo de regulación manda las señales mediante elementos

mecánicos y carece de instalación electrónica de ningún tipo. Debido a la atmósfera corrosiva en la que se encuentra la plataforma, prima la regulación mecánica antes que la electrónica.

- **Coste:** El coste de adquisición debe tenerse en cuenta a la hora de elegir el motor. El factor económico cobra bastante importancia en esta elección.

La selección de colores viene dada por el siguiente criterio:

- En color verde se resalta la opción óptima.
- En color rojo se resalta la opción menos favorable.
- En color amarillo la opción intermedia.

	Consumo	Emisiones	Dimensiones	Peso	Regulación	Coste
<i>Volvo Penta D4-270</i>	28 litros/hora	Tier 3	1234 x 848 mm	660 kg	Electrónica	43.042 €
<i>Yanmar 4LV250</i>	33 litros/hora	Tier 3	1151 x 755 mm	634 kg	Electrónica	49.936 €
Yanmar 6CH-WUT	35 litros/hora	Tier 2	1202 x 736 mm	940 kg	Electrónica	55.321 €
Yanmar 6HA2M-WHT	35 litros/hora	Tier 3	1585 x 1016 mm	1155 kg	Mecánica	53.256 €
Motor actual	46.8 litros/hora	Tier 2	1141 x 701 mm	730 kg	Mecánica	

Tabla 14. Comparación de los motores disponibles en el mercado

Una vez se observa la tabla comparativa, **se ha decidido escoger el motor Yanmar 6HA2M-WHT** por los siguientes motivos:

- La atmósfera del ambiente marino es de carácter muy corrosiva. En cuanto a la regulación electrónica, se debe resaltar que su consumo es menor, pero al estar en contacto con el ambiente marino el número de averías es bastante común. Por tanto, lo que se ahorra en combustible se pierde en las reparaciones electrónicas. Además, al haber más averías la disponibilidad del barco se reduce, por lo que conviene encarecidamente que la regulación sea mecánica.
- En cuanto a dimensiones se observa que la amplitud de la cámara de máquinas es superior a las medidas del motor, por lo que no debe haber problemas de espacio a la hora de su instalación.
- El desplazamiento total que posee el barco es de 50 toneladas aproximadamente, la diferencia de peso con el motor actual es de unos 400 kilogramos. Esta diferencia de peso no supone un cambio significativo en las capacidades del barco.
- Observamos que su estándar de emisión se corresponde con el de Tier 3, disminuyendo las emisiones actuales.
- En cuanto al precio, comparado con el más barato la diferencia es relativamente pequeña y a la larga la regulación mecánica haría que salga rentable.

4.1.2.6 Reductora asociada al motor

Los reductores son empleados para el accionamiento de toda clase de máquina de uso industrial y cotidiano que necesiten disminuir la velocidad de un motor de una forma segura y eficiente. En este sentido, los reductores adaptan la velocidad de un motor para entregar el par que necesita una máquina para su correcto funcionamiento.

Para el motor seleccionado, el fabricante recomienda la siguiente reductora:

Modelo	YX-120L
Tipo	Embrague hidráulico multidisco
Ratio de reducción	4.00 y 4.59
Peso	411 kg

Tabla 15. Características de la reductora del motor Yanmar 6HA2M-WHT [25]

4.1.3 Admisión del motor

La admisión de aire a la cámara de máquinas, se recomienda que sea extracción forzada. De la manera actual la admisión se realiza en el interior del compartimento. El aire que aspira el motor entra a alta temperatura debido al calor desprendido en el interior, por tanto, el porcentaje de oxígeno es menor produciéndose así una combustión menos eficiente. Con la extracción forzada se consigue que el aire aspirado entre a temperatura ambiente y su porcentaje de oxígeno sea mayor consiguiéndose así una combustión más eficiente.

4.1.4 Instalación de combustible

Las tomas de llenado de combustible, se recomienda que se sitúe sobre cubierta en ambas bandas y debe disponer de un cono de acero inoxidable para evitar derrames sobre cubierta. Las tuberías del sistema de combustible deberían ser de acero inoxidable.

Las aireaciones de tanques con terminal de acero inoxidable se recomiendan que vayan ubicadas en el lateral de caseta junto a las de agua y que dispongan de filtros, así como de un dispositivo Lifeguard para evitar el derrame. El trasiego desde los tanques laterales se normalmente se hace por gravedad o bien mediante una bomba tipo F4B-19 de Johnson de 42 l/min con interruptor de vacío y a través de circuito en el que se montaría un filtro Racor con campana de acero inoxidable sobre cazoleta transparente.

En el circuito de alimentación debería disponer, independientemente del sistema de filtrado del motor, una batería de dos filtros en paralelo con válvula para eliminar las impurezas o el agua. Es recomendable una bomba manual de trasvase de emergencia de dos pulgadas, conectada al mismo sistema.

4.1.5 Aislamiento mamparo cámara de máquinas

Para evaluar la cantidad de ruido en la zona de habitabilidad, se ha realizado una medición de ruido en la puerta que da acceso al interior de la cámara de máquinas (Figura 4-19). Para ello, se ha utilizado un equipo de la empresa Microflown Technologies. En concreto el equipo Scan and Paint, usado para la medición de la presión acústica.

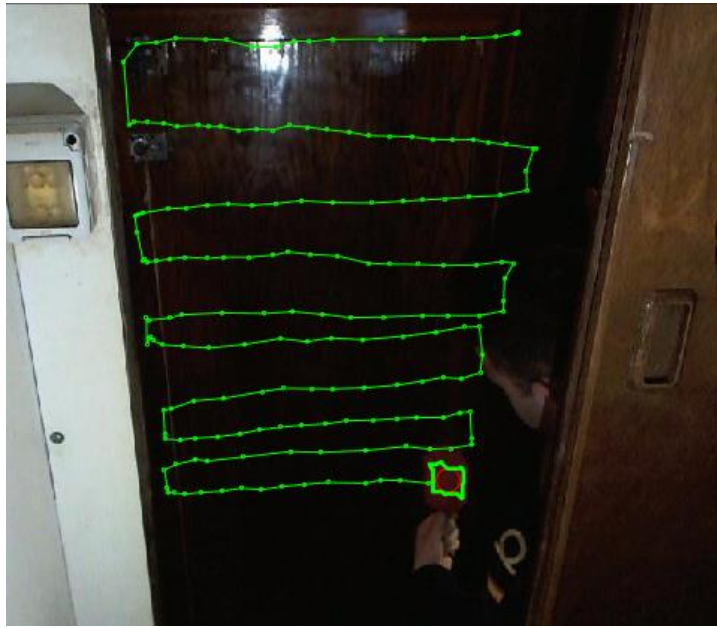


Figura 4-19 Puntos de medición de ruido en la puerta de la cámara de máquinas

Una vez realizado las mediciones, se puede observar en la Figura 4-20 que se alcanzan picos de más de 80 dB estando el motor a ralentí, siendo superior al dar avance con el motor. Teniendo en cuenta estos niveles, se recomienda aislar el mamparo que separa la cámara de máquinas de la zona de habitabilidad. Para lo cual, habría que hacer un estudio más en profundidad.



Figura 4-20 Mapa de presión acústica obtenido

4.2 Equipos auxiliares

4.2.1 Achique, baldeo y contraincendios

El distribuidor está conectado a los siguientes sistemas:

- Bomba principal accionada por el motor con embrague electromagnético, se recomienda el tipo Jhonson de 107 l/min a 0.3 bar, 2000 rpm. Esta bomba se alimentará del colector de achique y, alternativamente del colector de agua de mar. Tendrá salida en la línea de descarga general o bien a la salida de manguera de cubierta. El accionamiento de la bomba al igual que el de las válvulas, será manual.
- Una bomba tipo Par 34600 de 40 l/min, 0.3 bar con interruptores automáticos en las sentinas.
- Una bomba manuales tipo Gusher Whale de 90 l/min a 60 golpes. Esta bomba irá dispuesta en el lateral de la entrada, banda de estribor.

Las tuberías de sentinas deben ser de acero inoxidable, recomendado el acero 316 L por su resistencia a la corrosión. Todas las tomas en sentinas estarían provistas de un filtro perforado de acero inoxidable. El motor principal se recomienda que tenga una válvula en los colectores de tomas de mar para poder achicar directamente la sentina de máquinas.

Para baldeo se situarían dos salidas de agua dulce en cubierta con toma rápida de manguera en inoxidable y servidas por una unidad de presión del circuito de agua dulce. La cámara de máquinas, así como los espacios principales de acomodación dispondría de detector automático de humos, conectado a una alarma acústica y visual situada en la mesa de cartas, así como extintores de incendios homologados de 2.5 kg de capacidad en cocina, pasillo de proa junto al mástil y en un receso. En la cocina se situaría además una manta contra incendios de la firma Plastimo. La cámara de máquinas dispondría de un sistema de extinción de CO2 semiautomático, accionable desde el salón. La alimentación de combustible a los motores se interrumpe mediante el accionamiento remoto de una electroválvula.

4.2.2 Instalaciones de agua dulce

Los tanques de agua dulce serían de poliéster reforzado de fibra de vidrio (PRFV) fijados a la estructura del buque. Tienen una capacidad de 1000 litros cada uno e irían situados en ambos costados en la cámara de máquinas. Contarían con un registro vertical amplio. A la salida del tanque al circuito se dispondría un filtro tipo Johnson.

El llenado se realizará mediante dos tomas alternativas, en acero inoxidable, situadas en ambas bandas en cubierta. Cada tanque dispondría de un indicador de nivel, así como de uno óptico en máquinas. Las aireaciones de los tanques de agua dulce, se situarían en la cara exterior de la caseta.

La alimentación se efectuaría mediante un tanque hidróforo de presión de 2 litros de capacidad, alimentado por dos bombas autocebantes tipo Aquajet de Johnson. El servicio de agua caliente se prestaría mediante un calentador mixto de acero inoxidable de 75 litros situado en la cámara de máquinas, con funcionamiento a 220 VAC, 2 KW o bien mediante intercambiador con el agua de refrigeración del motor. La totalidad de las conducciones, de agua fría y caliente se harían mediante tubería de poli butileno.

4.2.3 Aguas grises y negras

Los inodoros se recomiendan que sean eléctricos de la firma Jabsco y que descarguen al tanque séptico de máquinas mediante bomba maceradora Johnson TA3P10-19 o bien directamente al exterior. La descarga del tanque de aguas negras al exterior se haría mediante una bomba Gulper 220 High Flow de Whale. La tubería del circuito sería sintética anti-olor de Vetus y sus conexiones se dispondrían con abrazaderas dobles de acero inoxidable.

En cubierta se situará una boca de descarga de Roca. La aireación del tanque de aguas negras se llevará a una zona alta del mástil. Las descargas de duchas, lavabos se llevarán por grupos a tanques

independientes de 9 litros de la firma Whale provistos de bombas con interruptor de nivel. Estos tanques descargarían en el colector de máquinas. El fregadero se recomienda que tenga la posibilidad de descargar directamente al exterior y que vaya provisto en su salida de un macerador.

4.2.4 Tanques principales

Se recomienda la instalación de los siguientes tanques:

<i>Número</i>	<i>Tipo</i>	<i>Objeto</i>	<i>Capacidad (litros)</i>	<i>Posición</i>
1	Fibra	Gasoil	1250	Cámara Er.
2	Fibra	Gasoil	1250	Cámara Br.
3	Fibra	Agua dulce	1000	Cámara Er.
4	Fibra	Agua dulce	1000	Cámara Br.
5	Fibra	Aguas negras	250	Cámara Maq.

Tabla 16. Recomendación de tanques principales

La capacidad total de los tanques de combustible sería de dos mil quinientos litros. Los tanques de agua se encuentran situados a popa de la cámara de máquinas, en ambas bandas e irían conectados mediante una tubería de acero inoxidable en su parte baja con electroválvula de cierre, de forma que pueda trasarse el contenido aprovechando la escora. Contaría asimismo cada tanque con una electroválvula para vaciado rápido en el tubo central de descargas. De esta forma podría aprovecharse el momento adrizante del tanque de barlovento en condiciones de vientos de proa de larga duración. El control de las electroválvulas se realizaría mediante los correspondientes interruptores localizados en la zona de mesa de cartas.

Todos los tanques dispondrían de balanceros para minimizar el efecto de superficie libre y contarían con registros atornillados, según plano correspondiente, con tornillo de acero inoxidable y tuerca de bronce que hagan fácilmente accesible el tanque para su revisión.

La aireación del tanque séptico iría situada en el mástil con salida a tres metros de altura sobre cubierta. Las de gasoil y agua se ubicarían en la brazola de caseta. Los tanques de combustible en la cámara contarán con la adecuada llave de drenaje en su cota más baja. Los tanques serían cuidadosamente limpiados antes de su primer uso.

4.2.5 Fondeo, amarre y equipo de gobierno

En principio se aprovecharía el sistema de fondeo actual. El molinete sería completamente revisado. Se mandaría a galvanizar la totalidad de la cadena de fondeo. Se aprovecharían las bitas, gateras y cornamusas actuales, las cuales se recuperarían y anclarían en la estructura del buque en su posición actual, de manera que la maniobra de atraque y desatraque sea la misma.

Se actualizaría el material por diez defensas cilíndricas de 70 cm de altura, un cabo de remolque de nylon de 100 metros de longitud y 22 mm de diámetro, cuatro cabos de amarre de polipropileno de 20 mm de espesor y cuarenta metros de longitud.

El eje del timón sería de acero inoxidable con un diámetro aproximado de 100 milímetros y la pala de madera respetando el aspecto actual. El sistema de gobierno sería exclusivamente mecánico de barras, tipo Mamba con doble rueda en cada banda. Se suministraría una caña de fortuna en madera para poder gobernar el buque actuando directamente sobre la pala. Un sistema hidráulico con embrague permitiría la actuación del piloto automático sobre el sector.

4.2.6 Instalación eléctrica

El velero dispondría de tres sistemas eléctricos independientes:

- De corriente continua a 24 VDC con conducción bifilar alimentado por uno de los grupos de baterías cargado por los alternadores conectados a los motores principales, los cargadores del tipo Skilla de 24 VDC y 75 A conectado al generador o bien a través de los rectificadores conectados a la red de puerto.
- De corriente alterna, 220 VAC/1/50, alimentado a través de los generadores, convertidor Atlas de 2 KW conectado a los grupos de baterías o directamente de la red de puerto.
- De corriente continua, 12 VDC alimentado por el alternador del motor, el cargador conectado al generador o a la toma de puerto o bien directamente del grupo de baterías independiente. Este servicio alimentará el arranque del generador y los equipos de electrónica y comunicaciones.

Todos los elementos de la instalación eléctrica serían del tipo marino. La conducción eléctrica cumpliría con las normas UNE-21-031. Tanto la instalación como los elementos y equipos a instalar deben cumplir con la normativa del Bureau Veritas descrita en “Rules for the Classification of Yachts 1993”. La conducción se realizará en el interior de tubos y cajas de PVC estancos.

La totalidad de los equipos eléctricos se controlarían mediante sendos cuadros de distribución de frente muerto dotados de interruptores magneto térmicos Dorman Smith con respaldos y tornillería de acero inoxidable y testigos luminosos de uso. En estos mismos cuadros, situados en la zona de navegación, se ubicarían las alarmas, así como los interruptores que desconectan la alimentación.

Debido a la necesidad eléctrica del velero, se necesita un generador que pueda proporcionar una potencia de 30 KW a 50 Hz y 1500 rpm y que vaya provisto de carcasa insonorizante. Se propone la firma Kholer por su larga experiencia en el sector naval.

Los grupos de baterías, del tipo estanco sin mantenimiento, serían los siguientes:

- Servicio general e iluminación: 440 A/h, 24V
- Arranque de motor: 440 A/h, 24V
- Arranque de generador: 240 A/h, 24V
- Equipo radio de emergencia: 140 A/h, 24V

El sistema iría preparado para poder efectuar el arranque de motores con dos alternativas. En los mamparos atravesados por el cableado eléctrico, se dispondrían juntas aislantes del tipo Roxtec. El proyecto de iluminación consistiría fundamentalmente en lámparas cromadas del tipo plafón de 12 VCC, disponiéndose además un circuito independiente de 220 VAC con lámparas en cada espacio. Los interruptores serían cromados.

4.2.7 Equipos electrónicos de ayuda a la navegación

Se recomienda la instalación de los siguientes equipos u otros de prestaciones similares:

- Compás magnético Danforth o similar
- Piloto automático Robertson AP45
- Radioteléfono VHF Sailor 3000
- GPS Furuno GP 500
- Corredera B&G Network
- Sonda Furuno
- Indicador de viento/anemómetro B&G Network
- Plotter Raytheon
- Indicadores de bombas y alarmas
- Indicadores de funcionamiento de motor
- Bocina eléctrica
- Radar Furuno 60 MW con antena en el palo

El plotter y radar dispondrían, en el exterior de un display combinado en cada uno de los puestos de gobierno, al igual que el equipo de viento.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Una vez analizada la plataforma se puede observar que necesita una reforma en profundidad. Las deficiencias detectadas en el sistema de propulsión y en algunos sistemas auxiliares, hacen que su estancia en la mar durante varios días sin entrar en puerto sea complicada. El objetivo principal del trabajo consistía encontrar una serie de posibles soluciones que optimizaran la propulsión y sus sistemas auxiliares. Tras haber estudiado las necesidades más importantes, se han propuesto una serie de mejoras que permitan volver a hacer del barco una excelente plataforma de aprendizaje para los alumnos. Estas medidas proporcionarían al velero la capacidad de adaptarse a la normativa actual en ciertos aspectos, seguida de una actualización en los equipos de navegación para que la navegación pueda realizarse más segura y eficiente. Estas propuestas son:

- Sustitución del motor principal por uno más actual, eficiente, de menor consumo y emisiones. La opción recomendable es el motor Yanmar 6HA2M-WHT debido a su regulación mecánica, menor consumo que el actual y sujeto a la normativa de emisiones Tier 3.
- Sustituir la admisión interior del motor por una con salida al exterior, que permita aspirar directamente el aire del exterior a menor temperatura aumentando así el rendimiento del motor debido a una mayor concentración de oxígeno.
- Instalar un sistema de trasiego de combustible en los tanques de combustible colocados a ambas bandas del barco.
- Actualización del sistema de achique, baldeo y contraincendios para que, por seguridad, estén actualizados y en perfectas condiciones de uso.
- Renovación del sistema de aguas grises y negras que permita almacenar y liberar las aguas cuando sea permitido.
- Actualización de los equipos de fondeo, amarre y equipo de gobierno para que faciliten y mejoren la maniobrabilidad del velero.
- Sustitución de la instalación eléctrica que permita ofrecer al velero una potencia suficiente para el uso efectivo de todos los equipos de abordó.
- Actualización de los equipos de ayuda a la navegación que permitan mejorar la seguridad en la navegación.
- Una vez realizado la medición de ruidos en la puerta que da acceso a la cámara de máquinas, se observan picos de más de 80 dB en el exterior de la cámara de máquinas, coincidiendo con la zona de habitabilidad del comandante y de los alumnos. Se propone aislar el compartimento para reducir

el nivel de ruido fuera de la cámara de máquinas, con un aislante que además incluya un efecto de aislamiento térmico.

El carácter clásico que posee el barco y los materiales por los que está fabricado hacen que todas sus reparaciones tengan un coste gran elevado. La reforma actual de estos sistemas, que necesita alcanza casi el medio millón de euros. Sería razonable pensar en la sustitución del velero por uno más actual y que posea características similares. Sin embargo, el “Arosa” tiene una larga tradición en la Escuela Naval Militar, su presencia en regatas de toda España es siempre agradecida y admirada por el personal civil. La antigüedad que posee y las numerosas navegaciones con alumnos a bordo hace que este velero tenga un elevado valor histórico para la ENM. Por tanto, la opción de sustituirlo por otro velero no se debería de contemplar ya que se estaría perdiendo una de las joyas de la Escuela Naval y la labor de representación en las regatas más importantes de España se perdería. Se debe realizar el esfuerzo de repararlo ya que a la larga saldría rentable para que todos los alumnos puedan formarse a bordo del mismo.

5.2 Líneas futuras

Aunque en este trabajo sólo se haya investigado sobre la propulsión y sistemas auxiliares, se debería seguir investigando sobre otras posibles mejoras que el velero necesita, tocando los puntos de habitabilidad, servicios de carpintería y tratamientos de protección y acabado del exterior. Destacar también el aislamiento acústico, donde se recomienda un estudio en profundidad de la situación actual. Además, se propone un estudio del tipo de aislante a instalar, así como de una posible sustitución de la puerta de acceso debido a que es la parte más susceptible a romper la estanqueidad acústica.

Por otro lado, la flota de veleros clásicos que posee la Escuela Naval se encuentra muy anticuada y necesitada de una puesta a punto. Veleros como el “Aguete” o “Giralda” (ver en Tabla 1) se encuentran en un estado similar y una actualización en su propulsión y sistemas auxiliares necesarios para estos dos veleros serviría como medida preventiva para no tener que prescindir durante un tiempo prolongado del uso de estos veleros.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] [En línea]. Available: La vela en la Armada - Embarcaciones a Vela - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España.
- [2] M. d. Defensa, «armada.defensa.gob.es,» [En línea]. Available: Bienvenida - Jefatura de Apoyo a la Bahía de Cádiz - Organización - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España.
- [3] «bp.blogspot.com,» [En línea]. Available: AGUETE++%28Medios%29.jpg (1600×1071) (bp.blogspot.com).
- [4] «masmar.net,» [En línea]. Available: AROSA.jpg (650×417) (masmar.net).
- [5] «jimcdn.com,» [En línea]. Available: image.jpg (581×286) (jimcdn.com).
- [6] J. R. Ponce, «Sistema de Propulsión y clasificación de buques,» Universidad de La Laguna, 2015.
- [7] J. P. Garat, «Motores. Publicación 2601. Escuela Naval Militar,» 2001.
- [8] I. M. Hoyos, «Estudio de modificación de un motor marino diésel para operación con gas,» 2018.
- [9] [En línea]. Available: <https://www.soloparamecanicos.com/sistema-common-rail/>.
- [10] I. F. Diego, «Termodinámica y máquinas térmicas,» [En línea]. Available: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1447/course/section/1880/T%2005%20OCW.pdf>.
- [11] M. R. González, «Sistemas de gobierno de un buque,» Universidad de La Laguna, 2018.
- [12] C. R. d. Mesas, «Diseño y estudio de cámara de máquinas,» Barcelona, 2014.
- [13] 17 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.danplac.es/lana-de-roca-un-aislante-efectivo-contr-el-ruído/>.
- [14] F. A. Viseras, «Implementación del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) en los motores de las lanchas de instrucción,» 2018-2019.
- [15] «Teleacustik,» [En línea]. Available: <https://www.teleacustik.com/aislamiento-acustico/>.
- [16] «European Acústica,» Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.europeanacustica.com/aislamiento-acustico/tipos-de-acusticos-mas-utilizados>.

- [17] «Blog de Risoul,» Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.risoul.com.mx/blog/como-afecta-el-tipo-de-aislamiento-en-la-vida-util-de-un-motor>.
- [18] G. Talavera Cejudo, «Estudio de las emisiones de buques de la Armada y viabilidad de la implantación de catalizadores heterogéneos para reducir su impacto ambiental,» Marín, 2018-2019.
- [19] Ó. O. Pérez, «Publicación ENM 8312,» 2017.
- [20] «www.deere.com,» [En línea]. Available: <https://www.deere.ca.pdf>.
- [21] J. M. González Pastoriza, «Historial del Velero/Escuela "Arosa",» Marín.
- [22] [En línea]. Available: <https://www.x-engineer.org/wp-content/uploads/2017/07/Honda-2.0-SI-engine-torque-and-power-curves-at-full-load.jpg?bbaef3&bbaef3>.
- [23] A. C. duarte, «Cómo elegir la potencia del motor para un velero,» 2019.
- [24] V. Penta, «VOLVO PENTA INBOARD DIESEL D4-270/300/320».
- [25] Yanmar, «Marine Propulsion Engine Operation Manual,» 2020.
- [26] J. Rodríguez y V. Fernández, Cómo redactar el estado del arte de un trabajo, Editorial Genios, 2010.
- [27] «defensa.gob.es,» [En línea]. Available: 1. [plan-estudios-Oficiales-Armada-Sin-titulacion-previa.pdf](#) (defensa.gob.es).
- [28] V. T. Lamaris y D. T. Hountalas, «A general purpose diagnostic technique for marine diesel engines – Application on the main propulsion and auxiliary diesel units of a marine vessel,» *Energy Conversion and Management*, vol. 51, nº 4, pp. 740-753, 2010.
- [29] E. Ytreberg y M. Eriksson, «Environmental impacts of grey water discharge from ships in the Baltic Sea,» *Marine Pollution Bulletin*, vol. 152, nº 110891, 2020.
- [30] G. C. Matabosch, «Análisis y estudio de los sistemas a bordo,» Facultat de Nàutica de Barcelona, Barcelona, 2018.
- [31] F. P. González, «MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS,» Universitat Politècnica de València, Valencia, 2011.
- [32] R.-J. Wai, «Adaptative sliding-mode control for induction servomotor drive,» *IEE Proceedings- Electric Power Applications* , vol. 6, nº 147, pp. 553-562, 2015.
- [33] M. d. M. F. Sánchez, «Estudio de la evolución técnica de los veleros a lo largo de la historia,» Barcelona, 2019.
- [34] J. A. R. Ponce, «SISTEMAS DE PROPULSIÓN Y CLASIFICACIÓN DE BUQUES,» La Laguna, 2015.

ANEXO I: PRESUPUESTOS PARA LAS PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Servicio de varadero

Se incluyen los siguientes trabajos y servicios:

- Varada y botadura.
- Servicio de estadía en nave cubierta durante las obras.
- Suministro de energía eléctrica durante las obras, así como servicio de agua dulce y neumático si fuese necesario.
- Servicio de oficina para inspector/representante del Armador.
- Servicio de vigilancia.
- Pañol para almacenaje de los equipos o materiales a reutilizar del buque.
- Servicio de andamiaje en todo el contorno del buque.
- Servicio de gestión de residuos.
- Servicio de grúa a bordo.
- Desarbolar mástiles y jarcia para introducir el buque en la nave. Arbolar el buque una vez finalizadas las obras.
- Servicio de combustible y consumibles necesario para la realización de las pruebas de mar.

Precio: 74.000€

Servicio de ingeniería

En cuanto a maquinaria se refiere, se elaborarán los siguientes planos y documentos:

- Disposición general de cámara de máquinas.
- Línea de ejes, bocina y hélice.
- Esquema del sistema de achique.
- Esquema de servicios C.I. y baldeo en cubierta.
- Esquemas de suministro y descarga de servicios sanitarios.
- Colector general de tomas de mar.
- Esquema de los servicios generales de tuberías en cámara de máquinas.
- Esquema circuitos combustible.
- Relación de maquinaria.
- Plano de alumbrado.
- Equipo radiotelefónico.
- Cuadros eléctricos, esquemas de fuerza y maniobra.
- Diagrama general de la planta eléctrica.
- Libros descriptivos, manuales de uso.

Precio: 35.000 €

Maquinaria, equipos y servicios

En este apartado se incluye el coste material de las líneas de mejora previamente citadas:

- Cámara de máquinas.
- Tanques principales.
- Instalación de combustible.
- Achique, baldeo y contraincendios.
- Instalación de agua.
- Aguas grises y negras.

- Fondeo y amarre.
- Equipo de gobierno.

Precio: 256.000 €

Equipos e instalación eléctrica

El coste material de este apartado está compuesto por los equipos citados en 4.2.7 Equipos electrónicos de ayuda a la navegación. Además, se incluye en el mismo presupuesto el precio del generador de 30 KW con carcasa insonorizante.

Precio: 102.000 €

Equipos y elementos de seguridad/salvamento

Para este apartado, se tienen en cuenta el coste material de los equipos y elementos siguientes:

- Dos balsas salvavidas con capacidad para 20 personas.
- 15 chalecos inflables.
- Una radiobaliza.
- Un transpondedor.
- Pirotecnica compuesta por 6 bengalas, 2 señales fumígenas y 6 cohetes iluminantes con paracaídas.

Precio: 18.000 €

Para terminar, se muestra a continuación una tabla resumen del presupuesto total de todo el trabajo:

CONCEPTO	IMPORTE
1. SERVICIO DE VARADERO	74.000 €
2. SERVICIOS DE INGENIERÍA	35.000 €
3. MAQUINARIA, EQUIPOS Y SERVICIOS	256.000 €
4. EQUIPOS E INSTALACIÓN ELÉCTRICA	102.000 €
5. EQUIPOS Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD	18.000 €
TOTAL	485.000 €

Tabla 17. Resumen de presupuesto total