



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de la viabilidad de conversión
de la planta motriz de las lanchas de instrucción a motor eléctrico
alimentado con baterías de LiFePO_4*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: *José Miguel Morillas Medina*

DIRECTORES: *Andrés Suárez García*
Víctor Ángel Alfonsín Pérez

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio de la viabilidad de conversión
de la planta motriz de las lanchas de instrucción a motor eléctrico
alimentado con baterías de LiFePO_4*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

Los alumnos de Cuerpo General de la Escuela Naval Militar de Marín realizan una de sus más exigentes actividades de instrucción y adiestramiento a bordo de las Lanchas de Instrucción, con el fin de familiarizarse con las futuras tareas que tendrán que desempeñar a lo largo de su profesión militar. Este tipo de lanchas Rodman-66 son propulsadas por un motor diésel alimentado por dos depósitos de combustible fósil.

El presente Trabajo de Fin de Grado estudiará la viabilidad de reemplazar la planta motriz diésel por una eléctrica. Dicha conversión llevará asociado un cambio en el abastecimiento energético sustituyendo los dos depósitos de combustible fósil por baterías LiFePO₄. Esta clase de baterías cuenta con una tecnología madura y desarrollada, utilizada principalmente en los alumbrados de emergencia, sistemas de energía solar y vehículos eléctricos.

Para poder realizar el trabajo, se estudiarán las necesidades energéticas y de potencia para las tareas realizadas por dichas embarcaciones, así los emplazamientos de los diferentes elementos que conformaran la planta motriz eléctrica. Además, se estudiará su viabilidad económica, teniendo en cuenta entre otros factores su instalación y mantenimiento. En el estudio, se dispondrán de los datos de las rutas realizadas por las lanchas, así como de sus planos de construcción. Entre los datos de las travesías figuran las distancias, velocidades y aceleraciones de los diferentes tramos que las conforman.

Como se podrá ver en los sucesivos apartados, podremos comprobar que la energía que produce el combustible fósil es mucho mayor que la que puede proporcionar las baterías LiFePO₄. Esto ha supuesto unos cambios en los cálculos iniciales. Por un lado por la falta de espacio disponible y por otro lado se ha dimensionado para salidas normales, en las que no están más de cuatro horas en la mar.

Con vistas al futuro, ya que la densidad energética de las baterías LiFePO₄ es mucho menor que la de los combustibles fósiles, se expone la posibilidad para trabajos de fin de grado posteriores, en los que la sustitución de la planta motriz por una eléctrica, estén alimentados por pilas de hidrogeno o en su defecto por nuevas tecnologías, como pueden ser las nuevas baterías de cinc-aire.

PALABRAS CLAVE

Propulsión, Motor diésel, Motor eléctrico, Baterías LiFePO₄, Lancha de instrucción.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este Trabajo de Fin de Grado, ha sido necesario el apoyo de muchas personas a las cuales quiero agradecer:

En primer lugar a mis padres, por haberme ayudado en todo momento, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, por hacer todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños y por la motivación constante que me han proporcionado a lo largo de toda mi carrera. A mi novia Nekane, por hacerme ver siempre el vaso medio lleno y estar junto a mí en los momentos más difíciles.

Al destino de lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar, especialmente al Sargento primero Don César Barreiro, por proporcionarme al detalle toda las informaciones que le he ido pidiendo, a veces insistentemente, a lo largo de todo este tiempo. A empresas como Rodman, Caterpillar o ABB, por eliminar rápidamente todas las dudas surgidas a lo largo de la realización de dicho trabajo y proporcionarme datos objetivos muy necesarios para la realización de este trabajo. Al Alférez de Fragata Lorenzo Piñeiro Vilar por su incansable ayuda durante mucho tiempo. Agradezco a la Armada Española por la gran oportunidad que me ha brindado y en especial a la Vieja Guardia por estar junto a mí en los momentos más difíciles.

Por último, mi más sincera gratitud al profesor Don Andrés Suarez, director de este trabajo. Sin su ayuda y su interés, este trabajo de fin de grado difícilmente habría llegado a concluirse en los plazos y forma que hoy tiene.

Muchas Gracias.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
1 Introducción y objetivos	5
1.1 Descripción del apartado.....	5
1.2 Introducción	5
1.3 Objetivos	5
1.4 Necesidades.....	6
2 Estado del arte	7
2.1 Historia de la propulsión	7
2.1.1 Propulsión a remo	7
2.1.2 Propulsión a vela.....	8
2.1.3 Propulsión a vapor	8
2.1.4 Propulsión diésel.....	9
2.1.5 Propulsión con turbina de gas	9
2.1.6 Propulsión eléctrica	10
2.1.7 Propulsión nuclear	10
2.1.8 Propulsión mixta.....	11
2.1.9 Alternativas de futuro	12
2.2 Funcionamiento propulsión diésel	13
2.3 Funcionamiento Propulsión Eléctrica.	14
2.4 Baterías LiFePO ₄	15
3 Desarrollo del TFG.....	16
3.1 Descripción del apartado.....	16
3.2 Lanchas de instrucción.....	16
3.3 Características motor Diésel	17
3.4 Características generador auxiliar	19
3.5 Motor eléctrico para propulsión	20
3.5.1 Motor eléctrico seleccionado	20
3.6 Inversor eléctrico.....	21
3.6.1 Necesidades de autonomía.....	22
3.7 Balance de energía	23
3.8 Baterías.....	24
3.8.1 Comparativa baterías	25

3.8.1 Batería seleccionada	26
3.8.1 Dimensionamiento de las baterías	27
3.8.2 Necesidades de potencia de pico	28
3.8.3 Situación estación de carga de baterías.....	29
3.8.4 Tiempo de recarga de las baterías.....	30
4 Resultados	31
4.1 Descripción del apartado.....	31
4.2 Estudio de viabilidad.....	31
4.2.1 Mantenimientos actuales	31
4.2.1 Coste instalación diésel.....	32
4.2.2 Coste instalación eléctrica	33
4.2.3 Amortización	33
4.2.4 Peso de la instalación.....	34
4.3 Datos de interés	35
4.3.1 Recorrido salida normal.....	35
4.3.2 Alcances y autonomía.....	36
5 Conclusiones	38
6 Bibliografía.....	40
Anexo I: Características motor diésel.....	41
Anexo II: Características generador diésel.....	45
Anexo III: Protocolo de pruebas rodman 66	47
Anexo IV: Disposición Cámara de máquinas	48
Anexo V: Características motor eléctrico.....	49
Anexo VI: Características Batería LiFePO ₄	59
Anexo VII: Disposición estación de recarga de baterías.....	61
Anexo VIII: Listado de repuestos consumibles anuales.....	62
Anexo IX: Coste reparaciones lanchas de instrucción	63
Anexo X: Consumo de lanchas año 2014	64
Anexo XI: Características inversor	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Lancha de instrucción Rodman 66	6
Figura 2-1 Drakkar Vikingo	7
Figura 2-2 Juan Sebastián de Elcano	8
Figura 2-3 Buque a vapor	8
Figura 2-4 Acorazado clase Panzerschiff	9
Figura 2-5 Fragata clase Álvaro de Bazán	9
Figura 2-6 LHD Juan Carlos I	10
Figura 2-7 Submarino nuclear clase Typhoon	10
Figura 2-8 Alternativa Skysails	12
Figura 2-9 Diagrama P-V Ciclo diesel	13
Figura 2-10 Esquema propulsión eléctrica	14
Figura 2-11 Ventajas de la propulsión eléctrica	14
Figura 2-12 Capacidad nominal frente a número de ciclos	15
Figura 2-13 Banco de baterías LiFePO ₄	15
Figura 3-1 Motor Caterpillar C18	17
Figura 3-2 Velocidades Rodman 66	18
Figura 3-3 Autonomía en horas	18
Figura 3-4 Consumos M. Principal y Auxiliar	18
Figura 3-5 Generador Perkins 404A-22	19
Figura 3-6 Motor eléctrico ABB M3LP 355	20
Figura 3-7 Inversor SolarMax 660	21
Figura 3-8 Perfil operativo real	22
Figura 3-9 Densidad energética de diferentes combustibles	24
Figura 3-10 Batería Sinopoly	25
Figura 3-11 Batería Winston	25
Figura 3-12 Batería LiFePO ₄	26
Figura 3-13 Situación estación de carga	29
Figura 3-14 Conexión en lanchas de instrucción	30
Figura 4-1 Amortización	33
Figura 4-2 Ruta GPS lanchas de instrucción	35
Figura 4-3 Datos de velocidades frente a tiempo	35
Figura 4-4 Alcance con tanques de combustible	36
Figura 4-5 Alcance con las baterías	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tipos de instalaciones mixtas	11
Tabla 3-1 Características embarcación	16
Tabla 3-2 Características motor principal	17
Tabla 3-3 Característica generador auxiliar	19
Tabla 3-4 Características motor eléctrico.....	20
Tabla 3-5 Características inversor SolarMax 660	21
Tabla 3-6 Esquema de instalación.....	21
Tabla 3-7 Comparativa baterías	25
Tabla 3-8 Características de la batería	26
Tabla 4-1 Gasto mantenimiento actual.....	32
Tabla 4-2 Costes instalación eléctrica	33

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Descripción del apartado

A lo largo de este apartado se introducirá la idea del cambio de la planta matriz Diésel por una eléctrica, se planteará la necesidad de cambiar la fuente de energía, sustituyendo los tanques de combustible por unas baterías del tipo LiFePO_4 . También se verá las razones de este cambio y si finalmente sí son viables para la Armada.

1.2 Introducción

Desde que se incorporaran las patrulleras Rodman 66 a la Escuela Naval Militar en los años 2006 y 2007, los alumnos de Cuerpo General realizan, todas las semanas, sus más exigentes actividades de instrucción y adiestramiento. Estas actividades consisten en las maniobras y ejercicios a bordo de las lanchas de instrucción. Como expondremos en hojas posteriores, las lanchas de instrucción son de la clase Rodman 66 y van propulsadas por dos motores Caterpillar C18. Además cuentan con dos generadores auxiliares para proporcionar alimentación a los equipos electrónicos de la embarcación. Estas instalaciones están alimentadas por combustible fósil, en concreto cuenta con dos tanques de combustible de tres mil litros de capacidad cada uno.

1.3 Objetivos

El objetivo que se presenta para la realización del presente Trabajo de Fin de Grado, es el estudio de viabilidad del cambio de la planta motriz a una planta eléctrica, dicha conversión llevará asociado un cambio en el abastecimiento energético, sustituyendo el combustible fósil por baterías del tipo LiFePO_4 . Dicho tipo de baterías cuentan con numerosas ventajas sobre otros tipos de baterías de las mismas características, estas ventajas se expondrán en un apartado posterior.

1.4 Necesidades

Para la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se estudiarán las aportaciones energéticas y de potencia que actualmente tienen las lanchas de instrucción al realizar ejercicios y maniobras. Posteriormente se tendrá que encontrar unos motores eléctricos que puedan cubrir esas necesidades y finalmente ver si son viables o no. A priori, el Diésel aporta mucha más cantidad de energía de las que nos pueden proporcionar las baterías de litio, pero se hará un estudio detallado de la cantidad de energía de ambos. Posteriormente se estudiará si es viable poner todas las baterías necesarias para aportar la energía del Diésel y en el caso de que no lo fuera, buscar una alternativa.

Para la correcta realización de este trabajo es vital el contacto con empresas especializadas en estos temas, como ejemplo se buscaran motores eléctricos de marcas comerciales conocidas como ABB o Weg. Para la búsqueda de las baterías que mejor cumplan nuestros requerimientos, nos pondremos en contacto con empresas como Sinopoly y Winston. Finalmente para este estudio se disponen de datos de rutas realizadas, planos de construcción de la empresa Rodman e informes proporcionados por el núcleo de lanchas.

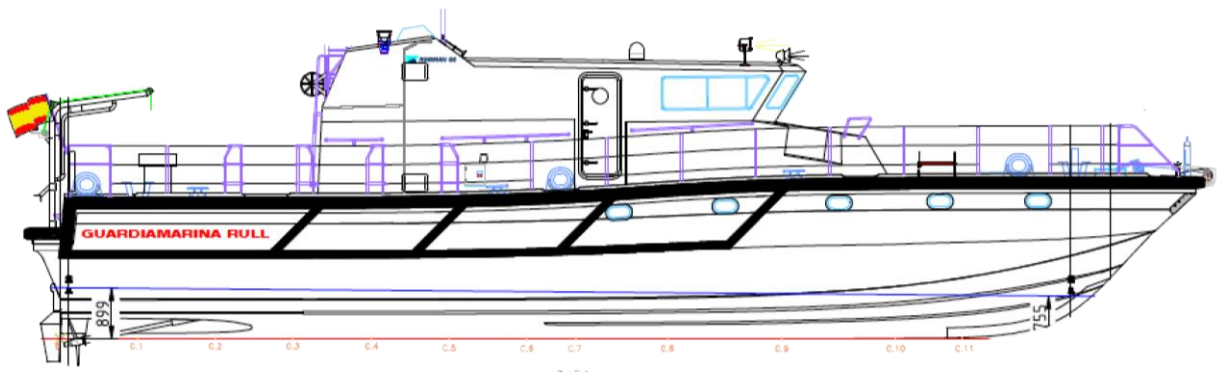


Figura 1-1 Lancha de instrucción Rodman 66 [1]

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Historia de la propulsión

2.1.1 Propulsión a remo

Desde la antigüedad, muchos buques han utilizado esta forma de propulsión que consiste en proporcionar un empuje a una embarcación mediante la utilización de un instrumento, que principalmente se fabricaba en madera de haya y que con el paso del tiempo se fue modernizando hasta llegar a los remos de fibra de carbono utilizados en la actualidad.

El remo ha sido utilizado desde los egipcios y fenicios hasta los romanos. Esta forma de propulsión se ha utilizado principalmente en mares cerrados, debido a las condiciones climáticas y marítimas que se desarrollan allí, pero también el Drakkar vikingo ha logrado navegar en mar abierto aunque esta embarcación también se ayudaba de propulsión a vela. Actualmente este tipo de propulsión se utiliza en competiciones deportivas.



Figura 2-1 Drakkar Vikingo (www.isthmus.com.br)

2.1.2 Propulsión a vela

Los primeros en utilizar este tipo de propulsión fueron los Egipcios que ya desde hace más de 5000 años empezaban a navegar en el río Nilo y posteriormente surcarían las aguas del mar Mediterráneo. Las embarcaciones de vela han tenido una gran importancia en el ámbito militar especialmente en naciones con numerosos intereses coloniales en el continente americano, como España, Holanda o Inglaterra.

Al contrario de lo que se piensa, este tipo de propulsión no se produce únicamente por el empuje del viento sobre el paño de las velas. Si solo actuase el empuje del viento, la embarcación carecería de cierta maniobrabilidad y no podría avanzar cuando el viento fuera desfavorable. La propulsión a vela se produce gracias a dos efectos, por un lado el propio empuje del viento sobre las velas y por otro lado la actuación del efecto Bernoulli que se produce cuando los flujos de aire sufren una serie de cambios de presión tanto en parte de Barlovento (aumento de presión), como en la parte de Sotavento (disminución de presión) de la vela.



Figura 2-2 Juan Sebastián de Elcano (www.m4.i.pbase.com)

2.1.3 Propulsión a vapor

La gran revolución de la propulsión a vapor ocurrió en 1807 cuando en Estados Unidos el ingeniero Robert Fulton logró recorrer, en el río Hudson, los 240 km que separan Nueva York y Albany. Estos buques tenían dispuestas una o varias ruedas de paletas en su popa o su través, lo cual tenían los inconvenientes de que necesitaban una elevada potencia para accionarlas y que su aprovisionamiento resultaba muy difícil y costoso. Este tipo de propulsión se extendió mucho en la navegación fluvial, especialmente en la cuenca del Misisipi.

El primer buque a vapor español fue el Real Fernando que surcaba el río Guadalquivir desde Sevilla hasta su desembocadura en Sanlúcar de Barrameda, el cual reducía considerablemente el tiempo de ese trayecto. Una vez que se introdujeron mejoras, como la máquina de vapor de triple expansión o el uso de los tubos hidráulicos, que contribuyeron a la reducción del consumo e hizo que se pudiera navegar a mayores velocidades.



Figura 2-3 Buque a vapor (www.hobbyplay.net)

2.1.4 Propulsión diésel

Este tipo de propulsión fue desarrollado por Rudolf Diésel en 1897, mejorando anteriores diseños del motor de gas de Nikolaus Otto con el fin de mejorar su eficiencia térmica. Hoy en día es el sistema de propulsión que predomina gracias a su extraordinaria relación de economía de funcionamiento y consumo.

El motor diésel marino tiene la mayor eficiencia térmica de los motores de combustión interna y externa debido a su alta relación de compresión, estos motores suelen tener una eficiencia térmica que ronda el cincuenta por ciento. Debido a la seguridad que ofrece el combustible diésel, esta propulsión es comúnmente utilizada por mercantes y portacontenedores. Los “acorazados de bolsillo” de la clase Panzerschiff fueron los buques diésel de mayor envergadura, fueron utilizados por Alemania en la Segunda Guerra Mundial.

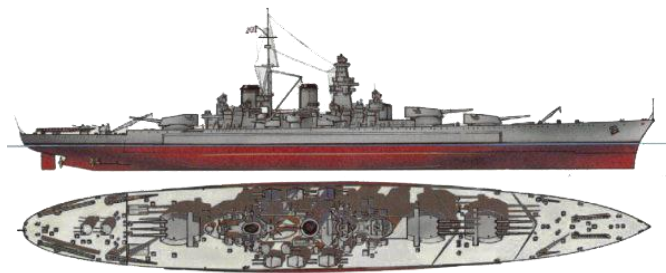


Figura 2-4 Acorazado clase Panzerschiff (www.historialago.com)

2.1.5 Propulsión con turbina de gas

Este tipo de propulsión es la más reciente de las que únicamente consumen combustibles fósiles. Su principal ventaja que presenta es la enorme relación peso y potencia. Además es el más utilizado por la mayoría de Marinas de Guerra del mundo ya que es más silencioso que los motores diésel. La primera turbina de gas que funcionó se construyó en Francia en 1903 aunque el rendimiento que ofrecía era todavía demasiado bajo, rondando el tres por ciento.

Actualmente la Armada Española cuenta con varios buques de guerra que combinan tanto la turbina de gas como motor diésel. Aunque la turbina solo es usada en emergencias y en entradas y salidas de puerto, donde se necesita mayor cantidad de potencia. Durante los tránsitos estos buques utilizan la propulsión diésel que es mucho más rentable.



Figura 2-5 Fragata clase Álvaro de Bazán (www.sim-outhouse.com)

2.1.6 Propulsión eléctrica

Este tipo de propulsión moderna casi siempre va instalada junto con un motor diésel o una turbina de gas, aunque a veces se conectan los ejes que están girando conectados a generadores eléctricos que transforman dicha energía rotatoria en energía eléctrica que a su vez abastece a los motores eléctricos y que a su vez mueven las hélices.

El primer buque que tuvo propulsión eléctrica fue el petrolero ruso Vandal botado en 1903. Posteriormente numerosos buques tanto civiles como militares han montado motores eléctricos, desde el famoso Queen Mary II a los primeros portaaviones americanos como el USS Langley. Actualmente la Armada Española también cuenta con el buque de proyección estratégica LHD Juan Carlos I, que cuenta con dos motores eléctricos, del tipo Azipod.



Figura 2-6 LHD Juan Carlos I (www.images.lainformacion.com)

2.1.7 Propulsión nuclear

Las investigaciones en la propulsión nuclear empezaron en los años 40, pero no fue hasta 1955 cuando los Estados Unidos de América botaron su primera unidad con propulsión nuclear, el submarino USS Nautilus. La propulsión nuclear se basa en la fusión de materiales radiactivos como el uranio. Los reactores navales son del tipo reactor de agua presurizada.

Esta propulsión permite a los submarinos no repostar combustible durante toda su vida útil. Aunque tiene varios inconvenientes, como la cantidad de ruido que generan, algo muy a tener en cuenta en la guerra antisubmarina. Las unidades nucleares más grandes son los submarinos rusos de la clase Typhoon que tienen un desplazamiento de 26.000 toneladas.

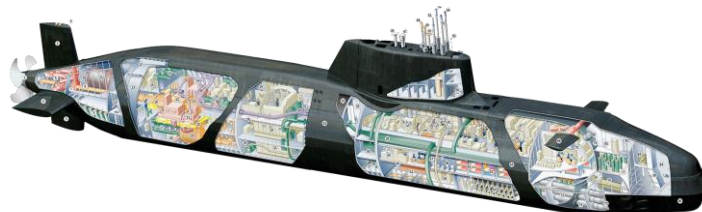


Figura 2-7 Submarino nuclear clase Typhoon (<http://atlantis280.blogspot.com.es>)

2.1.8 Propulsión mixta

La propulsión mixta se refiere a la que mezcla dos o más propulsiones descritas anteriormente. Es comúnmente usada en todas las Marinas de Guerra debido a la gran variedad de situaciones en las que puede desenvolverse. Como se mencionó en el apartado de propulsión con motor diésel, la Armada Española cuenta con barcos que usan esta propulsión mixta. Las fragatas F-100 clase Álvaro de Bazán combinan turbina de gas y motor diésel. A continuación se muestran las instalaciones mixtas más usuales:

COSAG	Combinación vapor y turbina de gas
CODAG	Combinación diésel y turbina de gas
CODOG	Combinación diésel o turbina de gas
COGAG	Combinación turbina de gas y turbina de gas
COGOG	Combinación turbina de gas o turbina de gas
CODAD	Combinación diésel y diésel
CODLAG	Combinación diésel eléctrica y turbina de gas

Tabla 2-1 Tipos de instalaciones mixtas [2]

2.1.9 Alternativas de futuro

Una de las alternativas de futuro es la transformación del agua del mar en combustible, científicos estadounidenses han logrado crear un avión radiocontrol que es propulsado con agua del mar. Esto es posible mediante la extracción de dióxido de carbono e hidrógeno para convertirlo en un combustible de hidrocarburo líquido. [3]

Esto tiene numerosas ventajas ya que el buque podría navegar sin la necesidad de utilizar combustible fósil evitando así las numerosas dificultades del aprovisionamiento en la mar y sus altos costes. También encontramos varios inconvenientes que todavía no han sido subsanados, por un lado esta transformación de agua del mar en combustible, emite unos valores de CO₂ muy superiores a los estrictos objetivos de emisiones que se impondrán en las próximas décadas. Otro de los grandes inconvenientes es el hecho de que para los grandes buques, que necesitan una elevada cantidad de combustible, la cantidad que pueden producir a tiempo real es muy inferior a las necesidades energéticas del buque. Hasta que las grandes empresas energéticas no inviertan tiempo y financiación, no veremos esta alternativa funcionando.

Otra de las alternativas de futuro es el aprovechamiento de la energía eólica. Para ello se ha desarrollado el sistema *Skysails*, que utiliza una cometa del estilo de deportes acuáticos como el Kite surf, para aprovechar el empuje del viento a una altura de trescientos metros de altitud. Aunque este sistema tiene que utilizarse como ayuda a otro tipo de propulsión, con su utilización podemos lograr un ahorro sustancial de unos mil euros diarios de combustible y a una drástica reducción del veinte por ciento de las emisiones de CO₂. [4]

Aunque todavía queda mucho trabajo por delante para implantar estos tipos de propulsión marina, definitivamente son unas técnicas a tener en cuenta, ya que reducirían la alta dependencia que tenemos actualmente con los combustibles fósiles.

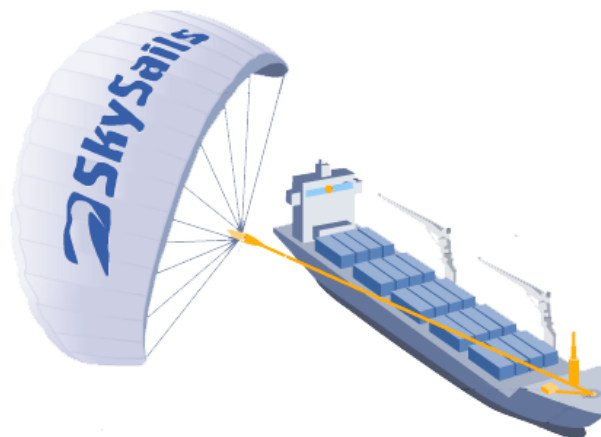


Figura 2-8 Alternativa Skysails (www.showroom.uncampus.de)

2.2 El funcionamiento de la propulsión diésel

La propulsión diésel se basa principalmente en la utilización de un motor de combustión interna que utiliza el calor de la compresión para iniciar la ignición, para quemar el combustible que ha sido inyectado en la cámara de combustión. Este motor sigue un ciclo diésel, que es una aproximación teórica al comportamiento del motor de encendido por compresión y sigue las siguientes fases: [5]

- **Admisión E-A:** El pistón desciende mientras la válvula de admisión permanece abierta, absorbiendo aire a presión constante de la atmósfera. Se representa como una línea horizontal.
- **Compresión A-B:** Ascende el pistón estando cerradas las válvulas de admisión y de escape, se produce la compresión del aire sin intercambio de calor, es decir es una transformación adiabática.
- **Combustión B-C:** Un instante antes de que el pistón alcance el PMS y hasta un poco después de que comience la carrera descendente, el inyector introduce gasoil en el cilindro produciéndose la combustión a presión constante durante un instante de tiempo mayor que en el motor de encendido por chispa. Ambas válvulas se mantienen cerradas.
- **Expansión C-D:** La reacción química exotérmica producida en la combustión genera energía que impulsa el pistón hacia abajo, aportando trabajo al ciclo, correspondiendo esta transformación a una curva adiabática, las válvulas de admisión y de escape permanecen cerradas.
- **Escape D-A y A-E:** La válvula de escape se abre, el pistón prosigue su movimiento ascendente y va barriendo y expulsando los gases de la combustión, cerrándose el ciclo al producirse una nueva admisión de aire cuando se cierra la válvula de escape, a continuación se abre la de admisión y el pistón continúa su carrera descendente.

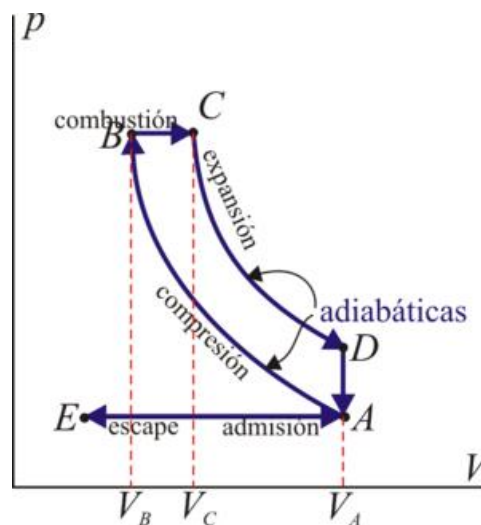


Figura 2-9 Diagrama P-V Ciclo diésel (e-ducativa.catedu.es)

2.3 El funcionamiento de la propulsión eléctrica.

Los sistemas de propulsión eléctrica son los que permiten a un buque navegar, basándose principalmente en la obtención de energía eléctrica, ya sea obtenida desde captadores, generadores o acumuladores. Existen muchos sistemas de propulsión eléctrica pero todos atienden a la misma estructura:



Figura 2-10 Esquema propulsión eléctrica

Las tres principales ventajas de esta propulsión son la viabilidad, la eficiencia y el apartado económico, como podemos ver en el siguiente esquema.

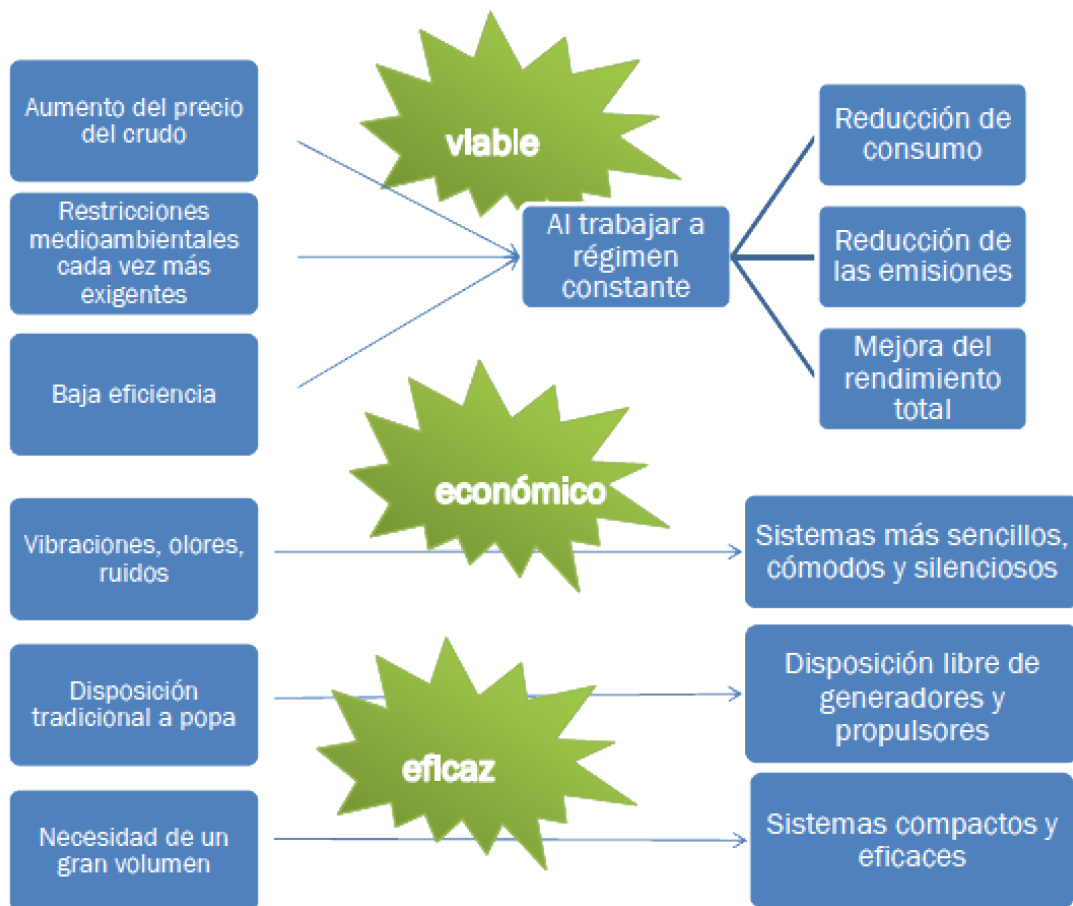


Figura 2-11 Ventajas de la propulsión eléctrica [2]

2.4 Baterías LiFePO₄

Las baterías LiFePO₄ son un tipo de batería que combina litio (Li) con iones de fosfato de hierro (FePO₄) como material catódico. Estas baterías son muy seguras, tienen un buen rendimiento a altas temperaturas, además cuentan con un mayor ciclo de vida, en torno a 3000 ciclos y un coste relativamente bajo ya que utiliza materiales más abundantes y respetuosos con el medio ambiente. Aunque tiene una tensión baja comparándolas con las otras baterías de litio, tienen una energía específica de entre 90-130 Wh/kg una densidad energética de 333 Wh/l. [6]

Es capaz de superar los 2000 ciclos manteniendo más del 80% de su capacidad. Una característica que hace más interesante el uso de esta tecnología es su curva de descarga, que es muy plana, manteniendo un nivel de tensión de 3,2V prácticamente durante todo su ciclo de descarga.

Como podemos ver en la Figura 2-12, esta tecnología cuenta con una buena retención de carga con los ciclos de vida, lo que retarda considerablemente su envejecimiento. Podemos observar como en la Figura 2-12 este tipo de baterías mantienen el 90% de la capacidad nominal después de 3000 ciclos.

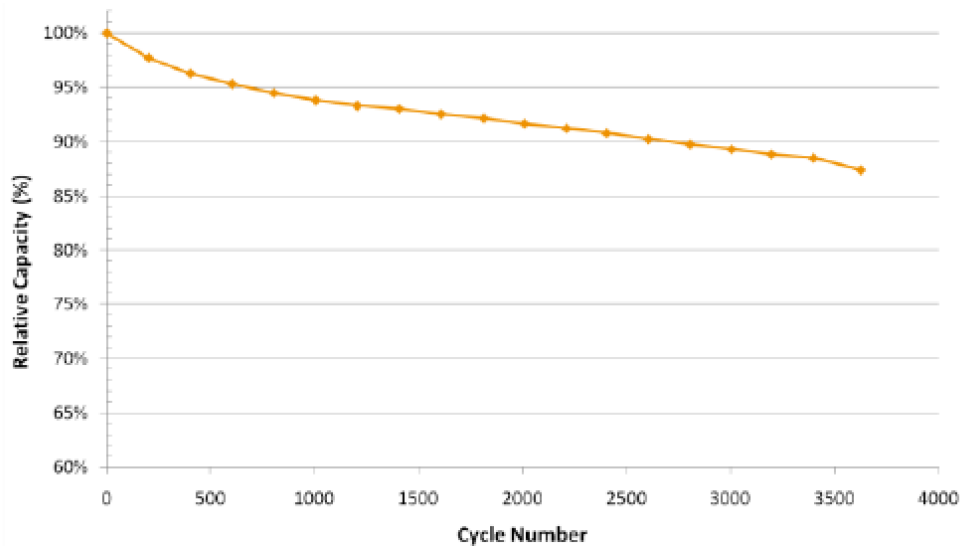


Figura 2-12 Capacidad nominal frente a número de ciclos (www.A123.com)

Este tipo de baterías normalmente son usadas en bicicletas, coches eléctricos y alumbrados de emergencia. Además las baterías LiFePO₄ se han utilizado mucho en embarcaciones de recreo y nosotros vamos a dimensionarla para su utilización en nuestras lanchas de instrucción e intentaremos sustituir a los tanques de combustible.

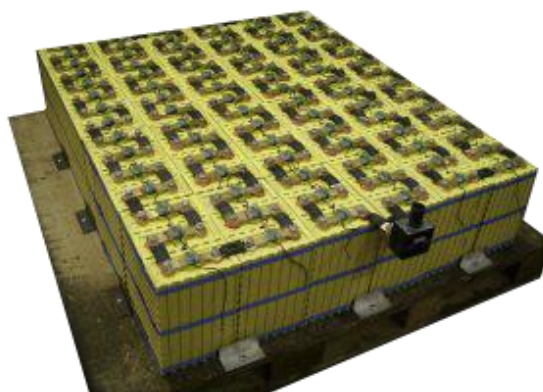


Figura 2-13 Banco de baterías LiFePO₄ (www.ev-power.com)

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Descripción del apartado

En este apartado se han expuesto las diferentes características de los motores que disponemos, así como la elección del motor eléctrico, cuales son las causas que se han llevado para la elección de dicho motor. Se ha visto cual será la distribución de los cambios de motores y baterías y la disposición de los cargadores situados en la dársena.

3.2 Lanchas de instrucción

Para caracterizar las necesidades energéticas que tiene nuestra embarcación, en primer lugar se definieron las características principales de las Lanchas de Instrucción tipo Rodman 66. Estableciendo un uso genérico, lo más acorde con la realidad. Este tipo de embarcaciones es de una serie de pequeños patrulleros diseñados por la empresa Rodman Polyship en un municipio de Moaña en Pontevedra, están fabricadas de fibra de carbono y fueron entregadas a la Armada Española en los años 2006 y 2007. Estas embarcaciones cuentan con las siguientes características: [1]

Eslora (m)	20
Manga (m)	4,9
Calado del casco (m)	0,9
Desplazamiento (kg)	29.500
Pot. Motores diésel (kW)	533

Tabla 3-1 Características embarcación [1]

3.3 Características motor Diésel

Las lanchas de instrucción tipo Rodman 66 cuentan con dos motores diésel marino “Caterpillar C18” (Figura 1-1) con 6 cilindros en línea y con un peso de 1673 kg que puede aportar una potencia de 715 CV (véase ANEXO1). A continuación se muestran la siguiente tabla donde podemos ver las principales especificaciones de los motores:

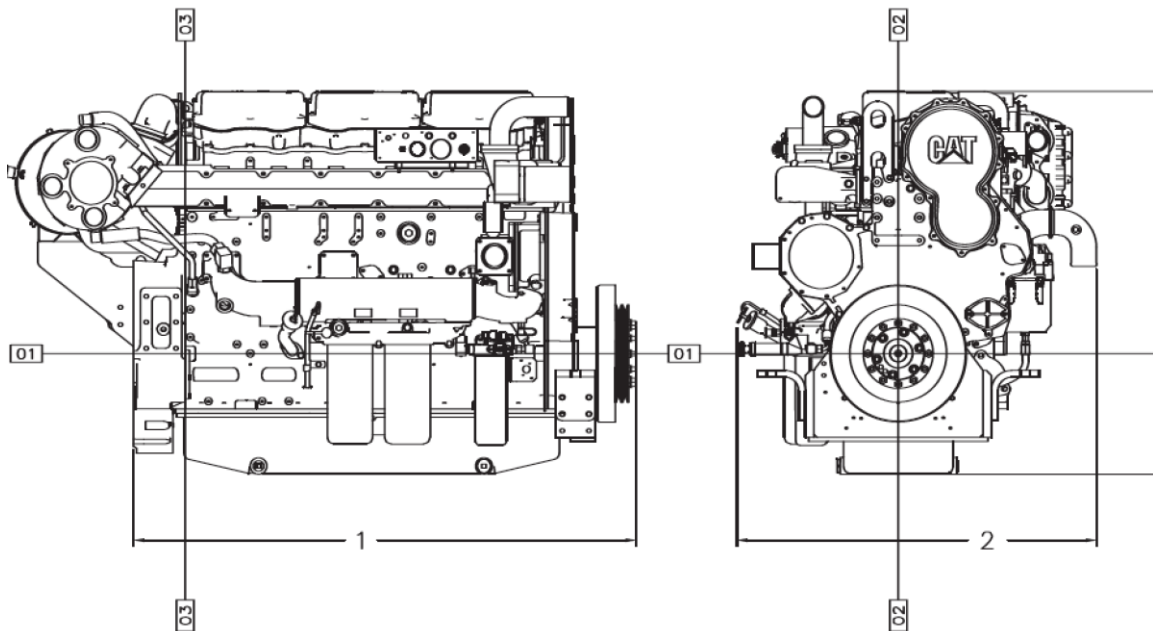


Figura 3-1 Motor Caterpillar C18 [7]

Potencia (kW)	715 CV-533
Rango de velocidades (rpm)	0-2100
S. refrigeración	Heat Exchanger-Cooled
Consumo a 1500 rpm (l)	75
Dimensiones (m)	1,50x1,07x1,14
Peso (kg)	1673

Tabla 3-2 Características motor principal

En las siguientes gráficas se muestran las prestaciones que nos ofrece dicho motor, tanto en referencia a las velocidades (Figura 3-2) como a autonomía (Figura 3-3) y consumos (Figura 3-4) que ofrecen con respecto a las revoluciones por minuto que nos da dicho motor. Una vez definidas todas estas características, se pueden determinar las necesidades energéticas de nuestra lancha y así determinar cuál es el motor eléctrico más apropiado para la sustitución de la planta motriz diésel. Para más información véase anexo 3.

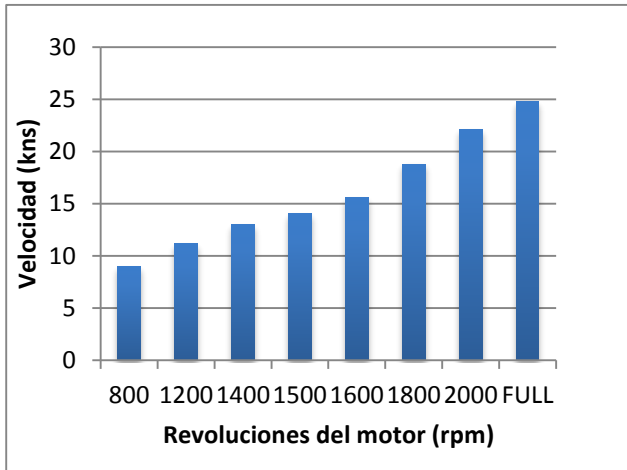


Figura 3-2 Velocidades Rodman 66

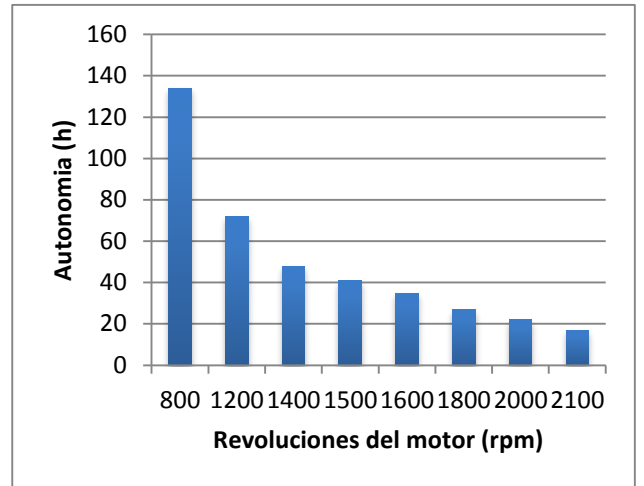


Figura 3-3 Autonomía en horas [1]

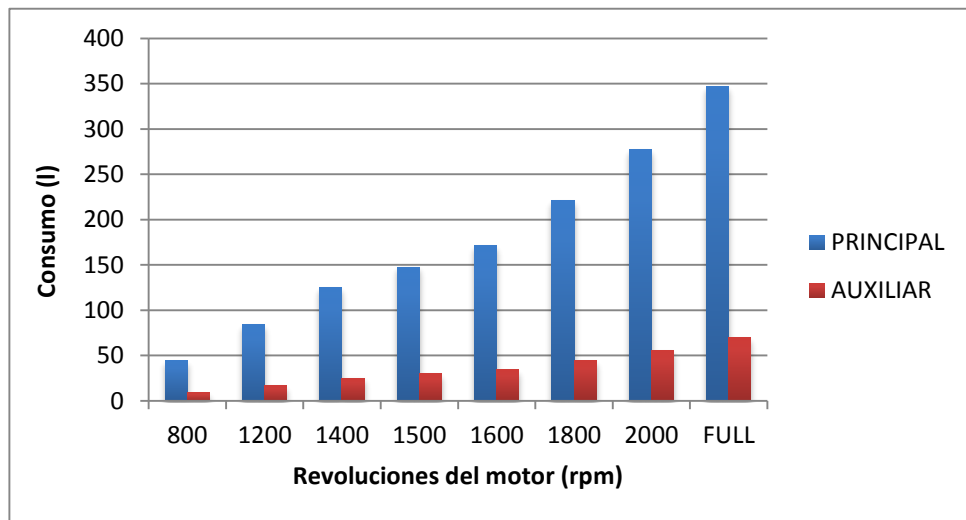


Figura 3-4 Consumos M. Principal y Auxiliar [1]

3.4 Características del generador auxiliar

Cuenta con dos generadores diésel auxiliares de la marca Perkins 404A-22 (Figura 3-5) que arrastran dos alternadores trifásicos. El motor está acoplado coaxialmente con el sistema de auto centrado monobloque con acoplamiento flexible. Estos generadores generan una potencia de 20 kW. Los grupos electrógenos son utilizados para alimentar todos los equipos que tiene el buque con la excepción de los que utilizamos en la propulsión. La intención es su sustitución por las baterías pero debemos saber lo que nos proporcionan estos grupos electrógenos para hacer un correcto dimensionamiento. En la Tabla 3-3 se pueden ver las características principales y para más información, véase el Anexo 2.



Figura 3-5 Generador Perkins 404A-22 (www.perkins.com)

Potencia a 1800 rpm (W)	20 · 10 ³
Cilindros	4
Cilindrada	2216
Consumo fuel 1 hora (l)	6,4
Dimensiones (m)	1,946x0,4975x0,84
Peso (kg)	242

Tabla 3-3 Característica generador auxiliar [8]

3.5 El motor eléctrico para propulsión

La lancha de instrucción requiere que nuestro motor eléctrico cumpla con una serie de requisitos. Se necesita que pueda proporcionar una potencia aproximada a la que nos proporciona el motor diésel, aproximadamente 533kW. Se tendrá en cuenta que dependiendo de la tensión que tenga nuestro motor, tendremos un motor de unas dimensiones u otras. Aun así esto influye poco debido a que la instalación de las baterías se hará a posteriori. También tiene que adaptarse al rango de revoluciones que proporciona el actual. El motor eléctrico habría que acoplarlo a la reductora la cual ya dispone nuestra embarcación.

3.5.1 Motor eléctrico seleccionado

Tras numerosas consultas en empresas especializadas en motores eléctricos, se ha llegado a la conclusión de que habría dos posibilidades a la hora de elegir un motor eléctrico. Por un lado se aconseja que se utilicen motores de corriente continua ya que facilitaría la instalación y la compenetración con las baterías, pero esta opción queda descartada debido a que el tamaño del motor es mayor, tiene un precio más elevado y además no están bien diseñados como motores marinos. Por otro lado, los motores de inducción, que son más económicos, tienen un tamaño más reducido y lo más importante, muchos de ellos están diseñados como motores marinos.

Tras sondear el mercado, se seleccionó un motor trifásico, de corriente alterna, de inducción (Véase anexo 5). El motor eléctrico elegido es el ABB M3LP 355 que cumple a la perfección los requisitos tanto de potencia como de tamaño y entra dentro del rango de revoluciones que se necesita. A continuación se muestra una tabla con las características principales de dicho motor.



Figura 3-6 Motor eléctrico ABB M3LP 355 [9]

Tensión (V)	440
Potencia (kW)	560
Rango de velocidades (rpm)	0-1800
S. refrigeración	Water-Cooled
Rendimiento	96 %
Dimensiones (m)	1,64 x 0,94 x 0,7
Peso (kg)	2000

Tabla 3-4 Características motor eléctrico

3.6 Inversor eléctrico

Para la transformación de la corriente continua a alterna, nos surge la necesidad de utilizar un inversor, este inversor tiene que tener unos requerimientos específicos, dependiendo del motor que irá conectado a él. El inversor que se ha elegido es el SolarMax 660 con una eficiencia del 98%, que sigue el esquema de instalación Figura 3-6 y como se puede ver en el anexo 11 cuenta con las características que se resumen en Tabla 3-5:



Figura 3-7 Inversor SolarMax 660 [10]

Tensión entrada (V)	440 a 800
Potencia de salida (kW)	1320
Protección	IP20
Dimensiones (m)	1,2x1,97x,0,8
Peso (kg)	1980

Tabla 3-5 Características inversor SolarMax 660



Tabla 3-6 Esquema de instalación

3.6.1 Necesidades de autonomía

Se consideraron las necesidades de autonomía como un punto crítico, ya que para dimensionar la energía necesaria, se deben establecer dos posibles requerimientos de autonomía, por un lado una salida a la mar de un día normal y por otro lado la autonomía completa que nos proporcionan los dos tanques de combustible:

- Para una salida normal, se define una navegación de 4 horas, en las que variamos entre velocidades de 6 y 20 nudos durante toda la navegación. Se realizó un estudio partiendo de los registros de las crónicas de una salida normal, como se puede ver en la Figura 3-8, el 80% del tiempo que la lancha está navegando lo hace a un régimen del 40% o inferior por lo que se ha establecido una media de navegación a 800 rpm, lo que nos proporciona una velocidad media de 9 nudos y un consumo de 45 litros/hora (anexo 3). A este valor hay que sumarle un consumo equivalente al 20 % que es lo que consumen los generadores auxiliares (36 litros/h). Como se puede ver (1), consumimos alrededor de 216 l de combustible, lo que nos proporcionaría una autonomía de 42,8 millas (79,26 km).

$$\text{Consumo salida normal} = \text{Consumo motor} + \text{Consumo auxiliares} \quad (1)$$

$$\text{Consumo salida normal} = (45 \text{ l/h} \cdot 4 \text{ h}) + 36 \text{ l} = 180 \text{ litros} + 36 \text{ litros} = 216 \text{ litros}$$

- Para la autonomía total de la lancha de instrucción, que contiene dos tanques de combustible de 3000 litros cada uno (véase disposición en el anexo 4). Como se observó en la Figura 3-3 y en el anexo 3, determinando que con una navegación a 800 rpm podemos llegar a tener una autonomía de 134 horas, lo equivalente a navegar 1208 millas (2237,21 km).

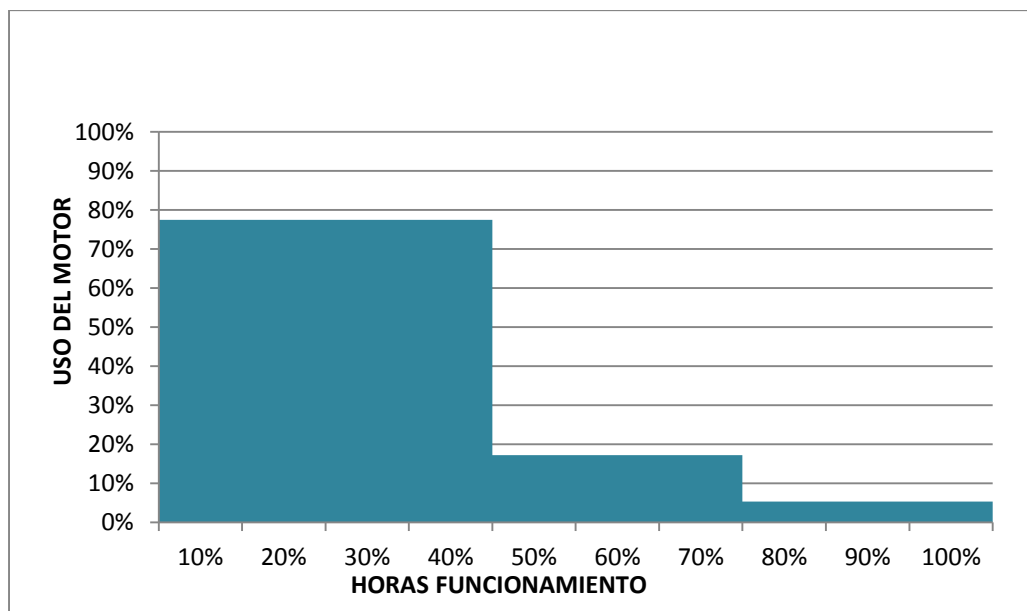


Figura 3-8 Perfil operativo real

3.7 Balance de energía

Incluiremos en nuestra embarcación dos motores eléctricos Figura 3-6 que moverán cada uno de los dos ejes que tiene la lancha de instrucción y esto a su vez le proporcionarán el giro a las hélices. Ya que carecemos de la información de los rendimientos tanto del motor principal como del generador auxiliar, se estiman unos rendimientos de 0,35 para el motor diésel principal y de 0,45 para el generador auxiliar, esta información está basada en datos de las siguientes referencias [11] [12]. Se ha calculado el balance energético para toda la energía que proporcionan los dos tanques de combustible (2). Se ha supuesto que no hay pérdidas en los cableados. En general se tiene que cumplir el balance energético en el que se calcula la energía.

$$\text{Poder calorífico del Diésel} = 35,86 \frac{\text{MJ}}{\text{l}}$$

$$E_{\text{propulsión}_{\text{totales}}} = \text{Poder calorífico} \cdot \text{Litros propulsión} = 35,86 \frac{\text{MJ}}{\text{l}} \cdot (2 \cdot 3000\text{l}) \cdot 0,8 = 172.128\text{MJ}$$

$$E_{\text{auxiliares}_{\text{totales}}} = \text{Poder calorífico} \cdot \text{Litros}_{\text{auxiliares}} = 43032 \text{ MJ}$$

$$E_{\text{propulsión}} \cdot \eta_{\text{combustión}} + E_{\text{auxiliares}} \cdot \eta_{\text{g. eléctrico}} = E_{\text{baterías}} \cdot \eta_{\text{motor eléctrico}}$$

$$172128 \text{ MJ} \cdot 0,35 + 43032 \text{ MJ} \cdot 0,45 = E_{\text{baterías}} \cdot 0,96$$

$$E_{\text{baterías total}} = \frac{79608,14}{0,96} = 82.925 \text{ MJ} \quad (2)$$

Debido a que la energía total que producen los 6000l que tienen los dos tanques de combustible es muy elevado, se ha dimensionado la energía necesaria para una salida normal de cuatro horas (3), como se puede apreciar a continuación esta energía es muy inferior y sería posible almacenarlas en baterías LiFePO₄.

$$E_{\text{propulsión}_{\text{salida normal}}} = \text{Poder calorífico} \cdot \text{Litros propulsión} = 35,86 \frac{\text{MJ}}{\text{l}} \cdot 216\text{l} \cdot 0,8 = 6.199,6 \text{ MJ}$$

$$E_{\text{auxiliares}_{\text{salida normal}}} = \text{Poder calorífico} \cdot \text{Litros}_{\text{auxiliares}} = 1549 \text{ MJ}$$

$$7745,76\text{MJ} \cdot 0,35 + 1549 \text{ MJ} \cdot 0,45 = E_{\text{baterías}} \cdot 0,96$$

$$E_{\text{baterías una salida}} = \frac{2865,86}{0,96} = 2.985,27 \text{ MJ} \quad (3)$$

3.8 Baterías

Como requisito de este Trabajo de Fin de Grado, se ha tenido que dimensionar la planta motriz de una lancha de instrucción con motores eléctricos alimentados con baterías LiFePO_4 . Se tendrá que dimensionar la energía calculada previamente en los balances energéticos y escoger la batería acorde con nuestras necesidades.

Como se puede ver en la Figura 3-9, se apreció un gran problema, las baterías LiFePO_4 contienen mucho menos densidad energética que los combustibles fósiles como el diésel o la gasolina. Aunque al final se estudió el cambio, debido a las numerosas ventajas en temas de consumo y emisiones al medio ambiente.

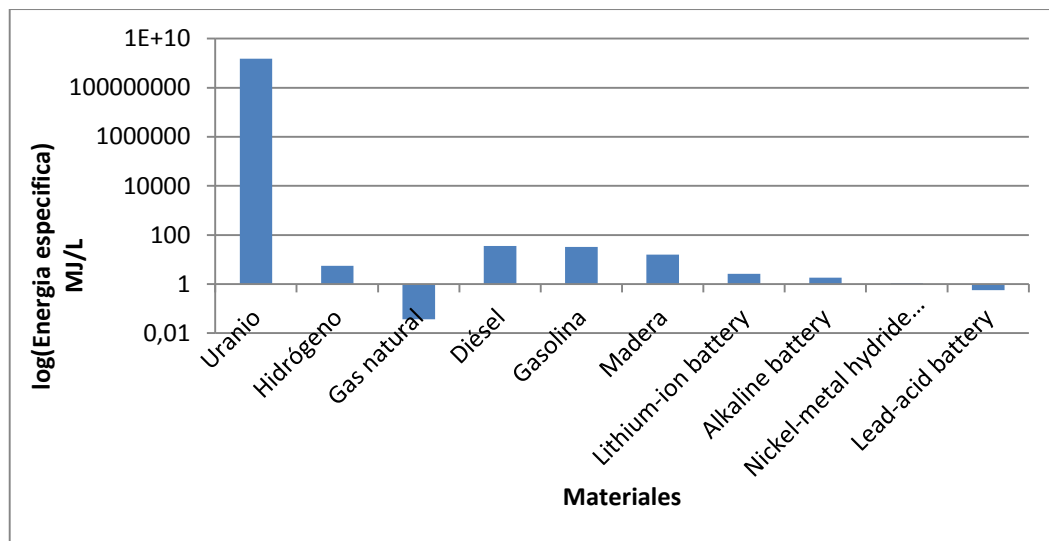


Figura 3-9 Densidad energética de diferentes combustibles

3.8.1 Comparativa baterías

Se han encontrado varias alternativas entre las posibles baterías LiFePO_4 . Se hará una comparación entre estas dos marcas de baterías y finalmente en función del volumen y del coste que suponen, se seleccionará una. Las marcas de las baterías seleccionadas son Sinopoly y Winston. Las tres primeras expuestas son de la marca Sinopoly y la última es marca Winston. Su comparativa se representa en el siguiente cuadro:

V (V)	I (mAh)	ENERGÍA(MJ)	VOLUMEN UNIDAD (m ³)	NÚMERO DE BATERÍAS	VOLUMEN TOTAL (m ³)	PRECIO(€)
3,2	300	3,46	0,00605	28.502	172,71	8.323.429
3,2	500	6,30	0,00912	15.653	142,84	7.618.716
3,2	700	8,06	0,01285	12.235	157,27	8.337.198
3,2	1000	11,52	0,02261	8.561	193,73	16.556.24

Tabla 3-7 Comparativa baterías

Como se puede apreciar en la comparativa (Tabla 3-7), la batería que más conviene sería la Sinopoly de la segunda fila, la de 32V y 500mAh. Esta batería es la más adecuada debido a que es la que ocuparía menor volumen y además, como punto destacable, también coincide con que es la que tiene menor coste.



Figura 3-10 Batería Sinopoly [13]



Figura 3-11 Batería Winston [14]

3.8.1 Batería seleccionada

Tras estudiar varias marcas de baterías como Winston y Sinopoly (Tabla 3-7), finalmente se escogió la marca Sinopoly para su uso en nuestra lancha de instrucción. Se ha escogido esta marca debido principalmente a su precio, Sinopoly ofrece baterías muy similares a las otras marcas pero con la diferencia de que son bastante más baratas. En concreto se eligió la SP-LFP 500 AHA (Figura 3-12). Que cuenta con las siguientes características, detalladas más exhaustivamente en el anexo 6.

Columna 1	Columna 2
Voltaje nominal (V)	3,2
Ciclos	> 2000
Peso (kg)	14,3 ± 0,3
Capacidad nominal (Ah)	500
Temperatura (C)	0-70
Tamaño (m)	0,451 x 0,285 x 0,071

Tabla 3-8 Características de la batería [13]

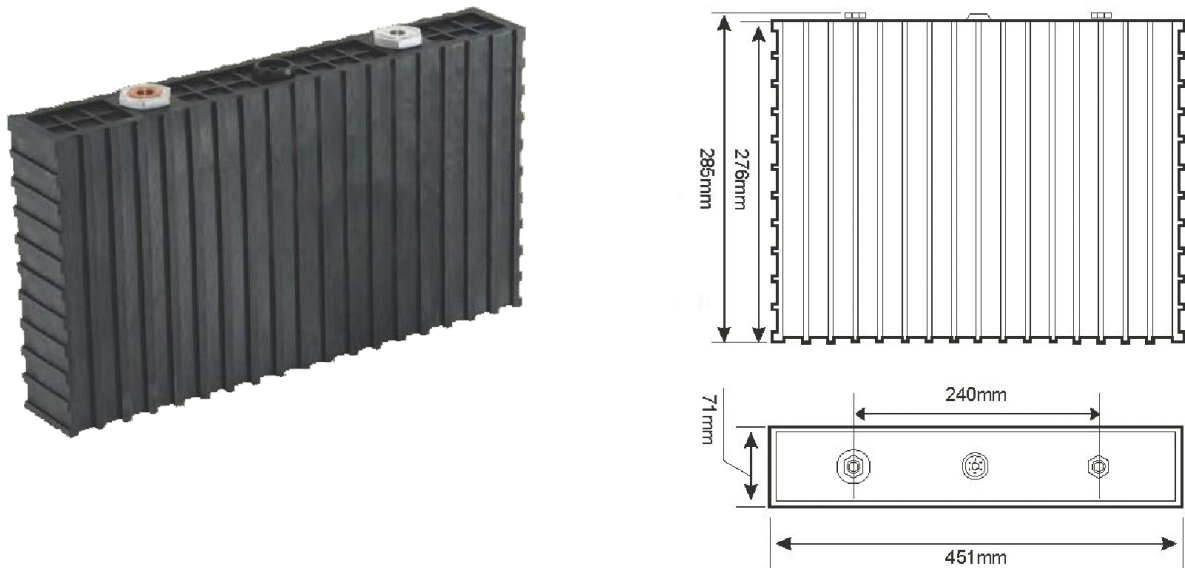


Figura 3-12 Batería LiFePO₄ [13]

3.8.1 Dimensionamiento de las baterías

Como puede verse en el (Anexo 4), proporcionado por la empresa Rodman, disponemos de una cámara donde están situados los tanques de combustible, y allí se ha dimensionado, para que todo el grupo de baterías quepa en esa misma cámara. Se ha tenido en cuenta también que a ese grupo de baterías, en algún momento, puede ser necesario que se le realicen mantenimientos, por lo tanto se ha dimensionado para el volumen que tienen únicamente los dos tanques de combustible (6), dejando el pasillo central tal y como está actualmente.

$$Volumen_{bateria} = 0,451 \cdot 0,285 \cdot 0,071 \text{ m} = 0,00912 \text{ m}^3 \quad (4)$$

$$Volumen_{camara\ tanques} = 1,3 \times 4,9 \times 2,56 \text{ m} = 16,3 \text{ m}^3 \quad (5)$$

$$Volumen_{tanques} = 1,3 \times 1,7 \times 2 \text{ m} = 4,42 \text{ m}^3 \times 2 \text{ tanques} = 8,9 \text{ m}^3 \quad (6)$$

$$Capacidad_{baterias\ camara\ tanques} = \frac{V_{camara}}{V_{bateria}} = \frac{16,3}{0,00912} = 1.787,28 \text{ baterias} \quad (7)$$

$$Capacidad_{baterias\ tanques} = \frac{V_{tanques}}{V_{bateria}} = \frac{8,9}{0,00912} \approx 976 \text{ baterias} \quad (8)$$

$$Numero\ de\ grupos\ en\ paralelo = \frac{Baterias\ totales}{Baterias\ en\ serie} = \frac{976}{138} \approx 7 \text{ filas en paralelo} \quad (9)$$

Como hemos podido comprobar, el número de baterías necesarias para proporcionarnos la misma energía que el diésel, es muy elevado. El volumen que ocupan dichas baterías es superior al espacio que tenemos disponible. Aunque la cámara de máquinas dispone de $102,86 \text{ m}^3$, solo podríamos utilizar todo este volumen si la cámara estuviera vacía, pero no es así. Por lo tanto se ha querido dimensionar el número de baterías que podríamos introducir en el espacio de los dos tanques de combustible (8).

Llegados a este punto, se determinó cuanta energía hay que proporcionar, se puede observar la cantidad de energía total (2). que debemos proporcionar y la energía necesaria para una salida normal de cuatro horas (3), que como se determinó, se reduciría considerablemente. Después, como muestra la Tabla 3-8, las baterías cuentan con unas dimensiones de $0,451 \times 0,285 \times 0,071 \text{ m}$. Con estas medidas se obtuvo el volumen que ocupa cada una de ellas (4) y a su vez, el volumen de baterías necesarias para cubrir todo el volumen de los tanques (8). Para el dimensionamiento de nuestra batería es necesario alcanzar la tensión que tiene nuestro inversor, para ello se colocó en serie las baterías necesarias (12) y se creó grupos de baterías. Se conoce que a mayor tensión, el grupo de baterías es más eficiente ya que tiene menores pérdidas, se ha escogido la tensión del inversor debido a la simplicidad de cálculos en la ingeniería eléctrica ya que inicialmente se calculó en función del motor eléctrico.

$$E_{total}(\text{tanques de combustible}) = 82.925 \text{ MJ} \quad (2)$$

$$Energía\ batería = 3,2V \cdot 500Ah = 1600 \text{ Wh} = 5,76 \text{ MJ} \quad (10)$$

$$Necesidades\ energeticas = \frac{Energía\ total}{Energía\ 1\ batería} = \frac{82.925 \text{ MJ}}{5,76 \text{ MJ}} = 14.396 \text{ baterias} \quad (11)$$

$$Numero\ de\ baterias\ en\ serie = \frac{V\ inversor}{V\ baterias} = \frac{440 \text{ V}}{3,2 \text{ V}} \approx 138 \text{ baterias en serie} \quad (12)$$

$$Numero\ de\ grupos\ en\ paralelo = \frac{Baterias\ totales}{Baterias\ en\ serie} = \frac{14.396}{138} \approx 104 \text{ baterias filas en paralelo} \quad (13)$$

Como vemos en los cálculos (16), con la capacidad que puede proporcionarnos el espacio que tienen los tanques de combustible, ya nos proporcionaría el tiempo necesario para realizar una salida normal de 4 horas y tenemos una autonomía de 54,6 millas náuticas (9 nudos durante 6,07 horas). Se podría llegar a alcanzar la autonomía de dos salidas si decidiese aprovechar más espacio. La relación entre el volumen de la cámara y los tanques es de 2 a 1. En otras palabras, la cámara tiene el doble de volumen que los tanques. Si decidiese aumentar esta relación a 1.5 a 1, quedando solamente el 50% de la cámara libre, la autonomía llegaría a 8 horas, por lo tanto se podrían tener dos salidas a la mar.

$$\text{Energía efectiva baterías} = 5,76 \text{ MJ} \cdot 976 \text{ baterías} \cdot \eta_{\text{motor eléctrico}} \cdot \eta_{\text{inversor}} = 5289 \text{ MJ} \quad (14)$$

$$\text{Energía efectiva diésel en 1h} = 54 \text{ l} \cdot 35,86 \frac{\text{MJ}}{\text{l}} \cdot 0,45 = 871,4 \text{ MJ} \quad (15)$$

$$\text{Autonomía} = \frac{\text{Energía real diésel}}{\text{Energía efectiva baterías}} = \frac{171,46 \text{ l}}{54 \text{ l/h}} = 6,07 \text{ h} \rightarrow 54,6 \text{ millas nauticas} \quad (16)$$

3.8.2 Necesidades de potencia de pico

En nuestra suposición, se tendrá en cuenta los consumos de los motores principales y los generadores auxiliares. Los motores principales nos proporcionarían una potencia de 715 CV cada uno, al disponer de dos motores, obtenemos una potencia de 1430 CV.

Como un kW equivale a 1,36 CV. Se obtienen 525,8 kW por motor y 1051,6 kW para los dos motores. A este valor se suman los 40 kW que nos proporcionarían los generadores auxiliares. Y se obtiene que la potencia máxima necesaria es de aproximadamente 1091,6 kW. Por otro lado el grupo de baterías tiene que tener una tensión en bornes de 440 V puesto que se conectan al inversor. Para determinar si las baterías soportarían dichos requerimientos. Como se puede observar en (17), nuestras baterías no tendrían ningún problema para afrontar esta cantidad de amperios, ya que como se puede ver en el anexo 6, podrán soportar hasta un total de 2500 amperios.

$$\text{Pot} = V \cdot I \rightarrow I = \frac{\text{Pot}}{V} = \frac{1091,6 \text{ kW}}{440 \text{ V}} = 2,47 \cdot 10^3 \text{ A} \quad (17)$$

3.8.3 Situación estación de carga de baterías

La Escuela Naval Militar cuenta con tres muelles principales, el muelle de Cruceros, muelle Almirante Vierna y muelle Chereguini, como puede verse en el anexo 7. Habitualmente las lanchas de instrucción atracan en el muelle Chereguini, el cual ya cuenta con unas estaciones de carga para otras baterías. Junto a estas estaciones se instalarían la estación de recarga para nuestras baterías como se ve en la Figura 3-13.



Figura 3-13 Situación estación de carga

3.8.4 Tiempo de recarga de las baterías

Hasta el momento hemos visto que la energía de las baterías se puede cuantificar en Wh. La potencia eléctrica es igual a la intensidad por voltaje. Desarrollando estas últimas ecuaciones, obtenemos lo siguiente:

$$\text{Energía} = \text{Potencia}_{\text{eléctrica}} \cdot \text{Tiempo} \quad (18)$$

$$\text{Potencia}_{\text{eléctrica}} = \text{Intensidad} \cdot \text{Voltaje} \quad (19)$$

$$E = I \cdot V \cdot t \quad (20)$$

$$t = \frac{\text{Energía}}{V \cdot I} = \frac{5,76 \text{ MJ}}{3,2V \cdot \frac{32}{7} \text{ A}} = 109 \text{ horas} \quad (21)$$

Según los cálculos realizados (21), necesitamos 109 horas para la recarga completa de las baterías. Teniendo en cuenta el calendario de salidas a la mar que hay actualmente, se presenta el problema de que no hay tiempo para realizar una carga después de cada salida a la mar diaria. Para solucionar dicho problema se plantea la introducción de tres tomas de corriente más (Figura 3-14), en total cuatro tomas que reducirían el tiempo en una proporción de un cuarto, lo que nos proporciona una carga completa cada 27 horas. Además se plantea la modificación del calendario, únicamente saliendo los lunes, martes y viernes en vez de los martes, miércoles y jueves, como se hace actualmente. Esto permitiría dar un descanso de un día y medio lo cual los elementos mecánicos como el motor o el propio inversor agradecerían a la larga.



Figura 3-14 Conexión en lanchas de instrucción

Otra posible alternativa es utilizar la tecnología que utiliza el barco noruego Zerocat 120 en la ciudad de Lavik [15]. Esta tecnología consiste en la instalación de baterías en puerto, que este continuamente almacenando energía, proporcionada directamente por la red y que tiene una salida, para recargar la lancha, de mucha mayor intensidad que la red normal. De esta forma, cuando la lancha llega al puerto puede recargarse de forma más rápida y no tendríamos que modificar el calendario de salidas a la mar.

4 RESULTADOS

4.1 Descripción del apartado

En el siguiente apartado, se comprobaron la viabilidad de la sustitución de la planta motriz diésel por motores eléctricos, estudiando en profundidad costes de ambas instalaciones. También se ha podido comparar una instalación con la otra, teniendo en cuenta los factores que las lanchas de instrucción realmente necesitan, proporcionándole al alumno y a la Escuela Naval Militar las mejores prestaciones posibles.

4.2 Estudio de viabilidad

4.2.1 Mantenimientos actuales

A continuación se exponen los principales mantenimientos que se le realizan a las lanchas por parte del propio destino de las lanchas de instrucción, estos mantenimientos son realizados por los propios suboficiales del destino, se expone detalladamente por las diferentes secciones, como son la del mantenimiento de los motores principales, motores auxiliares y por ultimo otros mantenimientos. Finalmente, todo esto se refleja en gastos para su posterior estudio de viabilidad.

4.2.1.1 Mantenimiento motores principales

A los motores y reductores se les realiza anualmente por parte del personal del núcleo una serie de mantenimientos, que incluyen el cambio de aceites, valvulina, filtros combustible, aire y aceite, gases del cárter, cambio de electrógenos, cambio de líquido refrigerante, correas, etc.

Cabe reseñar que desde el año 2011 no se realizan más que mantenimientos correctivos a los equipos de las lanchas, si bien la fiabilidad ha sido muy alta debido a los nuevos materiales de los equipos, hay algunos problemas de suciedad en los circuitos de combustible, así como alguna avería eléctrica en motores de servo o generadores y motores de arranque. También se debe apuntar que debido al sistema de control electrónico y la inexistencia de repuestos que no sean consumibles, así como de manuales de servicio, se hace difícil afrontar eventualidades en los motores por parte del personal del destino del pañol de lanchas.

La revisión de las 1000 horas se realizó según lancha entre los años 2010-11 por parte del servicio técnico Caterpillar, contemplando esta los mantenimientos anuales y una serie de inspecciones menores y revisión de los turbocompresores y postenfriador. Según el manual, la revisión de las 3000 horas contempla el cambio de termostáticas, inspección de bombas de agua salada, amortiguador de vibraciones, soportes del motor, sensores de velocidad/sincronización, rotaválvulas, motor de arranque e intercambiador de calor, así como el ajuste de luz de válvulas.

4.2.1.2 Mantenimiento motores auxiliares

Los motores auxiliares Perkins son muy fiables y no requieren más mantenimientos que los correspondientes a cambio de aceite y líquido refrigerante, filtros, ánodos y correas (véase anexo 8). Si bien el manual de servicio ordena una comprobación del motor de arranque y alternador a las 2000 horas y comprobación del rendimiento de los inyectores a las 3000.

4.2.1.3 Otros mantenimientos

A los equipos menores como servo y bombas varias no se estima necesario realizar ningún mantenimiento mientras no den indicaciones de degradado, a la unidad hidráulica se le cambia aceite y filtros anualmente, y las bombas contra-incendios. no soportan un uso muy severo, si bien alguna bomba de agua del aire acondicionado necesita revisión de cojinetes.

Por otro lado se estima necesario una limpieza de los tanques de combustible, solo se realizó una vez en el año 2010, y las lanchas tienen antecedentes de problemas con suciedad en el circuito de combustible y degradado de gomas. Se debe contemplar la limpieza de los tanques de aguas grises y negras de cara a evitar problemas de atascos y suciedades en un futuro.

Según nos informa el destino de las lanchas de instrucción, todos estos mantenimientos son realizados por el destino, por lo tanto el gasto de mano de obra es nulo. Además de todos estos gastos en mantenimiento, el único gasto a posteriori sería el repostaje de combustible, que estipulando que a la Armada se lo proporcionan a 0,77 €/litro, según se ha podido comprobar desde el destino de combustibles de Ferrol y que anualmente gastan aproximadamente 12.850 litros, podremos obtener una cifra aproximada. A continuación se muestra una tabla resumen de los gastos totales que afronta actualmente las lanchas de instrucción:

4.2.1 Coste instalación diésel

Mantenimientos/Combustible	Cada cuanto tiempo se realiza	Precio€
Revisiones generales	Cada 1000 horas	5.185
Cambio de repuestos (anexo 8)	Anualmente	3.920
Limpieza tanque combustible	Cada 5 años	800
Limpieza tanque aguas negras	Cada 2 años	570
Combustible (anexo10)	Anualmente	9.894,5
Total:		20.369€
Total anual:		15.987,33€

Tabla 4-1 Gasto mantenimiento actual

4.2.2 Coste instalación eléctrica

El coste de la instalación eléctrica, supondría una gran aportación al principio, ya que habría que comprar tanto los dos motores principales (22) como todas las baterías necesarias (23). A estos gastos se le sumarían los gastos de instalación y los gastos que requiere las recargas de las baterías. Como puede verse en la siguiente tabla estos son los gastos:

$$Coste_{motores} = 38000 \text{ €} \cdot 2 = 76.000 \text{ €} \quad (22)$$

$$Coste_{baterias} = 330\$ \cdot 973 \text{ baterías} = 324.009 \$ = 286.733 \text{ €} \quad (23)$$

$$Coste \text{ variable}_{recarga \text{ de baterías}} = 12850 \frac{\text{litros}}{\text{año}} \cdot 0,1092 \text{ €} = 4499,36 \text{ €} \quad (24)$$

$$Aportación \text{ inicial} = 76.000 + 286.733 = 612.733 \text{ €} \quad (25)$$

$$Coste_{inversor} = 250.000 \text{ €}$$

Tabla 4-2 Costes instalación eléctrica [9] [13]

4.2.3 Amortización

Al realizar el estudio de amortización, se puede observar fácilmente que, la amortización no se produciría a corto plazo. Tras hacer los cálculos teniendo en cuenta, por parte de la instalación diésel, el gasto en combustible y mantenimiento. Y por parte de la instalación eléctrica, aplicando la alta aportación financiera del principio. Como resultado a esta amortización tenemos que se produciría a largo plazo, en concreto se produciría a los 39 años de la instalación. A partir de esa fecha empezaríamos a sacar beneficios de su instalación.

$$Beneficio = Coste \text{ variable}_{diesel} - coste \text{ variable}_{electrico} = 15.987 - 4499 = 11.488 \text{ €} \quad (26)$$

$$Amortización = \frac{Aportación \text{ inicial}}{Beneficio} = 52,33 \approx 53 \text{ años} \quad (27)$$

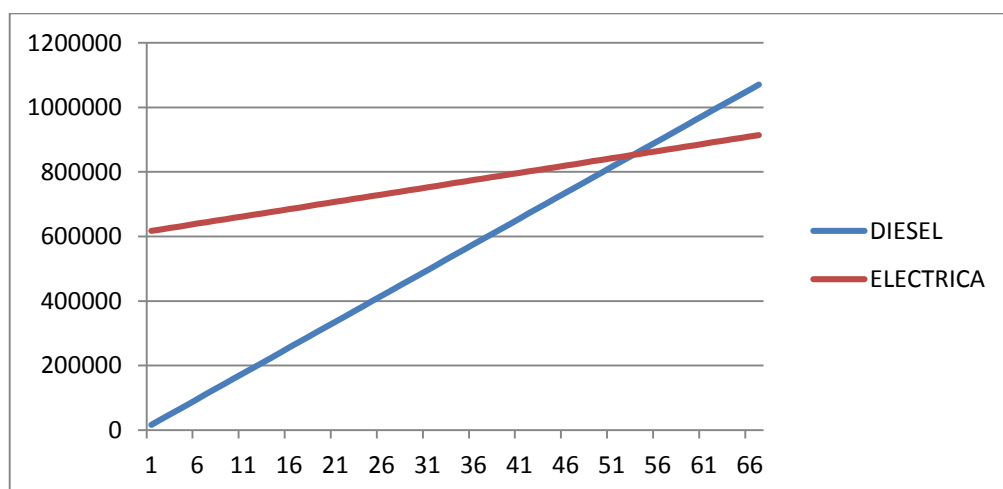


Figura 4-1 Amortización

4.2.4 *Peso de la instalación*

Aquí se ha encontrado otro punto crítico, ya que hay que sumarle a la lancha de instrucción el peso de la nueva instalación. Teniendo en cuenta que se le retirarían tanto los motores principales como los auxiliares (28) y que posteriormente se le suman el peso de dos motores eléctricos, un inversor y lo que es más pesado, el grupo de baterías(29). Como se puede apreciar (30), nos queda un balance muy negativo ya que el peso y por tanto el desplazamiento(31) de la lancha sería muy superior, esto implicaría una menos capacidad de maniobra y un aumento considerable del calado. Además esto provoca que el desplazamiento se incremente de forma considerable.

$$Peso_{desembarca} = P_{motor\ principales} + Peso_{auxiliares} = (2 \cdot 1673) + (2 \cdot 242) = 3.830\ kg \quad (28)$$

$$Peso_{embarcar} = P_{motor\ principales} + P_{inversor} + P_{baterías} = \quad (29)$$

$$= (2 \cdot 2000) + 1980 + (973 \cdot 14,3) = 19.893,9\ kg$$

$$P_{total} = P_{embarca} + P_{desembarca} = 19.893 - 3830 = 16.063\ kg \quad (30)$$

$$Desplazamiento_{total} = D_{lancha} + P_{embarca} = 29500 + 16063 = 45.563\ kg \quad (31)$$

4.3 Datos de interés

4.3.1 Recorrido salida normal

Normalmente, el recorrido que hacen las lanchas de instrucción siempre son similares pero dependen mucho del tipo de maniobra que se esté realizando en cada momento. A continuación en la Figura 4-2 puede verse el recorrido que siguió la lancha de instrucción GM Barrutia el día 6 de Marzo del 2014. Durante este día se realizaron ejercicios de Canal dragada, aprovisionamiento en la mar y ejercicios de hombre al agua. También se registraron los datos de las velocidades en función del tiempo, en donde se observa con facilidad en que periodos se realizan los ejercicios observando las caídas de velocidad correspondientes a los ejercicios de hombre al agua.

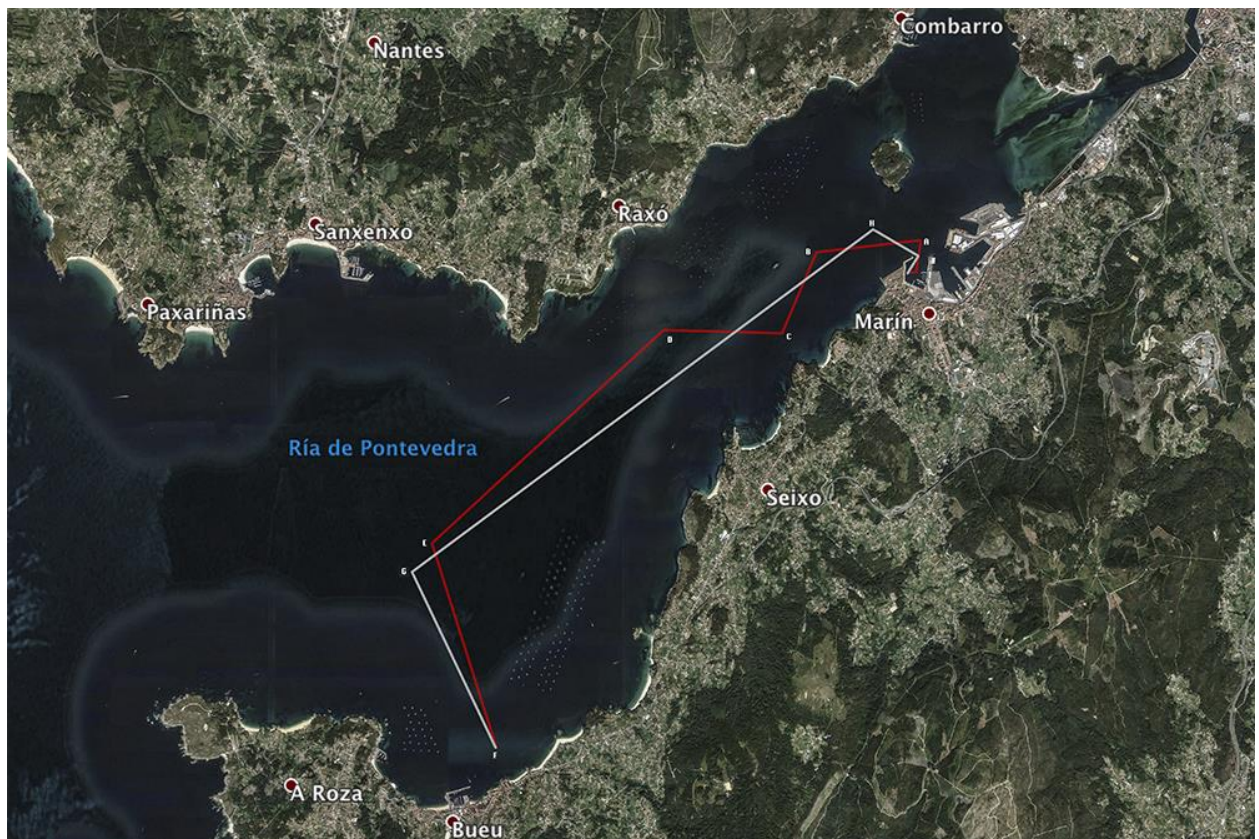


Figura 4-2 Ruta GPS lanchas de instrucción

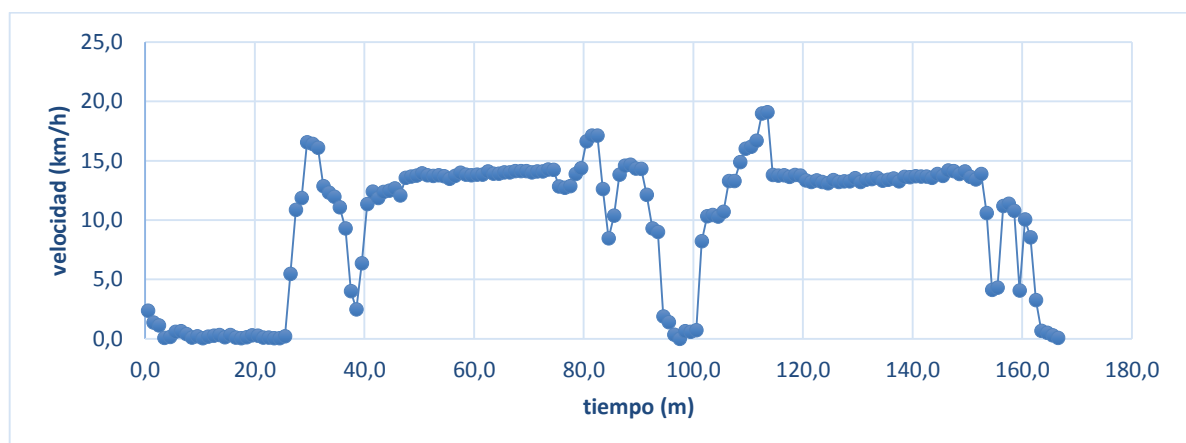


Figura 4-3 Velocidades obtenidas en la salida a la mar

4.3.2 Alcances y autonomía

En la Figura 4-4 y Figura 4-5 se pueden observar gráficamente, las diferencias de autonomía y alcances que tendrían las lanchas con las diferentes instalaciones, tanto con la planta motriz diésel como con la eléctrica, teniendo en cuenta que una milla náutica son 1852m, se puede deducir, que la energía que proporcionaba los dos tanques de combustible es mucho mayor que la de las baterías que hemos dimensionado.



Figura 4-4 Alcance con tanques de combustible



Figura 4-5 Alcance con las baterías

5 CONCLUSIONES

Según se ha especificado al inicio del presente trabajo, se ha estudiado la viabilidad de la instalación de motores eléctricos. Pues bien, como ha quedado demostrado en el apartado de los resultados, para poder contar con la nueva instalación, es necesaria una gran aportación económica inicial, ya que se tiene que comprar tanto los motores eléctricos como el inversor y como el grupo de baterías. Según los cálculos de amortización para que este gasto inicial llegue a amortizarse tendrían que pasar 58 años. Teniendo en cuenta que la vida útil de las lanchas de instrucción es de 20 años, a lo que le sumamos el agravante de la situación económica que vive la Armada, con continuas bajadas en su presupuesto anual, lo hace prácticamente inviable.

Dejando el tema económico a un lado, en cuanto al cambio del combustible fósil a baterías de LiFePO_4 , desde un principio se puede observar que la densidad energética del diésel es mucho mayor que la de nuestras baterías, por lo tanto se necesita una mayor cantidad de baterías para proporcionar la misma energía. Esto implica reducir esa autonomía a la duración de una salida normal de lanchas, por lo que no se pueden hacer las navegaciones tan largas como las que se realizan en periodos de semanas I+A, a no ser que se parase en puerto a recargar cada cuatro horas. Además, es necesario que las lanchas estén 108 horas recargando las baterías, a no ser que se utilicen las costosas alternativas mencionadas en el apartado 3.8.4, lo que provocaría una redistribución del calendario para las salidas a la mar.

Otro de los factores críticos que se tienen en cuenta, es el peso de la nueva instalación que aumenta en un 54%. Este incremento de peso implica una reducción de su capacidad de maniobra, una reducción de su velocidad y además un aumento de su calado. Este aumento de calado podría dificultar el acceso de la lancha de instrucción por áreas con menor cota de profundidad.

El presente Trabajo de Fin de Grado, se propuso debido a las ventajas que supone cambiar un combustible fósil por unas baterías recargables. Este cambio ayudaría retrasar la próxima escasez de combustibles fósiles que algunos científicos esperan para un futuro no muy lejano. Además con este cambio no tendríamos que hacer futuros mantenimientos en el motor principal para adaptarlo a las inminentes leyes que la comunidad Europea pretenden establecer para reducir las emisiones al medio ambiente [16]. Actualmente la regulación es la ley Euro 6 [17], que regula dichas emisiones a la atmosfera, pero se espera que en sucesivos cambios de leyes las emisiones permitidas sean más restrictivas.

La utilización de estas baterías sería una buena opción si pudiéramos afrontarla económicamente ya que estas baterías cuentan con numerosas ventajas frente a el combustible fósil, por un lado la ya mencionada reducción de las emisiones a la atmosfera, por otro lado la reducción del coste del combustible, en este caso por las recargas de las baterías. Actualmente son las baterías que tienen mejores características como se ve en el apartado 2.4, como su buen rendimiento a altas temperaturas o su mayor ciclo de vida, sin embargo hoy en día, gracias a los avances en las nuevas tecnologías en el entorno de las baterías, están surgiendo nuevas alternativas. Una de estas nuevas alternativas es la utilización de baterías Zinc-aire, este tipo de baterías cuentan con muy elevadas densidades energéticas, muy cercanas a las que nos proporciona el diésel, además son relativamente baratas de producir.

Por lo tanto, como líneas futuras, me gustaría introducir algunas ideas para la realización de futuros Trabajos de Fin de Grado para las siguientes promociones de la Escuela Naval Militar. Se podría estudiar la posibilidad de cambiar nuestras baterías LiFePO_4 por una pila de hidrógeno o por baterías Cinc-Aire [18]. Otra alternativa interesante podría ser añadirle algunos generadores de energías sostenibles como paneles fotovoltaicos y algún tipo de hidrogenerador [19] que reduciría la energía eléctrica mientras recarga en el puerto.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rodman, «Manual de Lanchas de instrucción».
- [2] G. Lareo, «Apuntes Asignatura Maquinas y motores,» 2014.
- [3] E. Rodriguez, «fieras de la ingeniería,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.fierasde laingenieria.com/combustible-de-agua-de-mar-el-futuro-de-la-propulsion-naval/>.
- [4] F. Antelo, «ingeniería marina,» 2008. [En línea]. Available: <https://ingenieriamarina.wordpress.com/2008/09/12/propulsion-de-buques-asistida-por-energia-eolica/>.
- [5] Plataforma educativa Aragonesa, «e_ducativa,» [En línea]. Available: http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4932/html/3_motor_de_cuatro_tiempos_ciclo_diesel.html.
- [6] J. Elías, «Eliax para mentes curiosas,» 2008. [En línea]. Available: http://www.eliax.com/?post_id=5552.
- [7] Caterpillar, «Caterpillar,» [En línea]. Available: http://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems.html.
- [8] Perkins, 2015. [En línea]. Available: <https://www.perkins.com>.
- [9] ABB, 2015. [En línea]. Available: <http://new.abb.com/es>.
- [10] SolarMax, 2013. [En línea]. Available: <http://www.solarmax.com/es/>.
- [11] R. Martínez, 2012. [En línea]. Available: <http://www.cómoconsumirmenos.com/2012/08/el-consumo-especifico-del-motor.html>.
- [12] Fondear.org, 2009. [En línea]. Available: http://www.fondear.org/infonautic/barco/Motores_Helices/Motor_Rendimiento/Motor_Rendimiento.htm.
- [13] Sinopoly, 2015. [En línea].
- [14] Winston, 2015. [En línea]. Available: <http://en.winston-battery.com>.
- [15] J. A. Oliveira, 2014. [En línea]. Available: <http://www.diariodenautica.com/ship-year-2014-el-ferry-electrico-zero-cat-120/>.
- [16] B. Jerew, 2013. [En línea]. Available: <http://www.greenoptimistic.com/euro-7-air-pollution-regulations-push-diesels-market-20131016/#.VPhIEELIf7Y>.
- [17] R. Álvarez, 2014. [En línea]. Available: <http://www.autobild.es/practicos/cuatro-preguntas-video-sobre-normativa-euro-6-233519>.
- [18] L. Gonzalez, 2013. [En línea]. Available: <http://forococheselectricos.com/2013/05/baterias-coches-zinc-aire-triple-electrodo.html>.
- [19] A. Piñeyro, 2013. [En línea]. Available: <http://www.navegar.com/hidrogenadores-para-cruceros/>.

ANEXO I: CARACTERÍSTICAS MOTOR DIÉSEL

CATERPILLAR®

**C18 ACERT™
MARINE PROPULSION**

533 bkW
(715 bhp)



Image may not reflect actual engine

SPECIFICATIONS

I-6, 4-Stroke-Cycle-Diesel

Displacement	18.1 L (1106 in ³)
Rated Engine Speed	2100
Bore	145 mm (5.7 in.)
Stroke	183 mm (7.2 in.)
Aspiration	Turbocharged-Aftercooled
Governor	Electronic
Cooling System	Keel-Cooled/ Heat-Exchanger Cooled
Weight, Net Dry (approx.)	
Keel-Cooled	1539 kg (3394 lb)
Heat Exchanger-Cooled	1673 kg (3688 lb)
Refill Capacity	
Cooling System	45.8 L (12.1 gal)
Lube Oil System	64 L (16.9 gal)
Oil Change Interval	500 hours
Caterpillar Diesel Engine Oil 10W30 or 15W40	
Rotation (from flywheel end)	Counterclockwise
Flywheel and flywheel housing	SAE No. 1 and SAE No. 0
Flywheel Teeth	
SAE No. 1	113
SAE No. 0	136
Maximum Exhaust Backpressure	6.7 kPa (26.9 in. water)

STANDARD EQUIPMENT

Air Inlet System

Corrosion-resistant sea water aftercooler, air cleaner/fumes disposal (closed system), jacket water cooled turbocharger, turbocharger inlet OD straight connection

Control System

Electronic governing (A4), programmable low idle, electronic diagnostics and fault logging, fuel/air ratio control, electronic throttle position sensor

Cooling System

Thermostat and housing, block heater (1500W, 120V AC current), gear-driven jacket water pump, self priming, gear-driven sea water pump with bronze impeller, titanium plate type heat exchanger or separate circuit keel cooling

Exhaust System

Watercooled exhaust manifold and turbocharger, round-flanged outlet

Flywheel and Flywheel Housings

Standard SAE No. 1 flywheel and flywheel housing, 113 teeth, SAE standard rotation; optional SAE No. 0 flywheel and flywheel housing, 136 teeth, SAE standard rotation

Fuel System

Fuel filter, RH service on port, LH service on starboard; fuel transfer pump; fuel priming pump; flexible fuel lines

Instrumentation

Electric service meter, instrument panel (24V), start/stop switch, emergency stop button, maintenance due light, diagnostic light, warning light, maintenance clear switch, start motor magnetic switch, 15 and 3A breakers

Lube System

Crankcase breather; oil cooler; spin-on oil filter, RH service on port, LH service on starboard; center sump deep oil pan; oil filler; dipstick, RH service on port, LH service on starboard; gear-driven oil pump

Mounting System

Adjustable front support

Power Take-Offs

Hydraulic pump drive, SAE A, 11 tooth spline, 46 ft-lbs max torque, counterclockwise as viewed from front of the engine looking into the drive and turns 1.41 x engine speed, 292 mm crankshaft pulley, 15.88 mm width

General

Vibration damper; lifting eyes, RH or LH service options; literature; variable engine wiring; upper rear-facing customer wiring connector and service tool connections

ISO Certification

Factory-designed systems built at Caterpillar ISO 9001:2000 certified facilities.



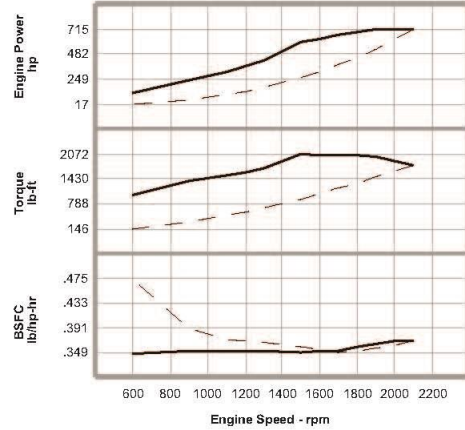
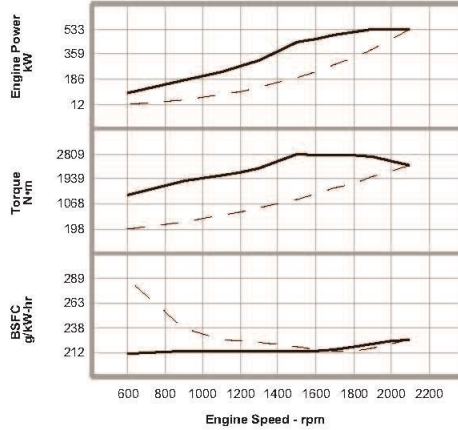
C18 ACERT™ MARINE PROPULSION

533 bkW (715 bhp)

PERFORMANCE CURVES

Turbocharged-Aftercooled

C Rating — 533 bkW (715 bhp) @ 2100 rpm
DM9568-00



Metric Maximum Power
Prop Demand 533 kW

English Maximum Power
Prop Demand 715 hp

Performance Data

Performance Data

	Engine Speed rpm	Engine Power kW	Engine Torque N·m	BSFC g/kW-hr	Fuel Rate L/hr
Maximum Power Data	2100	533.0	2424	223.9	142.3
	2000	533.0	2545	222.7	141.5
	1900	533.0	2679	220.1	139.8
	1800	515.1	2733	216.9	133.2
	1700	488.9	2746	213.8	124.6
	1600	462.2	2759	212.4	117.0
	1500	441.3	2809	212.1	111.6
	1300	316.5	2325	212.4	80.1
	1200	273.5	2176	212.8	69.4
	900	173.4	1840	212.7	44.0
600	84.4	1343	210.3	21.2	
Prop Demand Data	2100	533.0	2424	223.9	142.3
	2000	460.4	2198	219.4	120.4
	1900	394.8	1984	215.4	101.4
	1800	335.7	1781	212.5	85.0
	1700	282.8	1588	212.0	71.5
	1600	235.7	1407	214.5	60.3
	1500	194.2	1237	217.2	50.3
	1300	126.4	929	221.5	33.4
	1200	99.5	791	223.1	26.4
	900	42.0	445	237.5	11.9
600	12.4	198	288.9	4.3	

	Engine Speed rpm	Engine Power hp	Engine Torque lb-ft	BSFC lb/hp-hr	Fuel Rate gph
Maximum Power Data	2100	714.8	1788	.368	37.6
	2000	714.8	1877	.366	37.4
	1900	714.8	1976	.362	36.9
	1800	690.8	2016	.357	35.2
	1700	655.6	2025	.351	32.9
	1600	619.8	2035	.349	30.9
	1500	591.8	2072	.349	29.5
	1300	424.4	1715	.349	21.2
	1200	366.8	1605	.350	18.3
	900	232.5	1357	.350	11.6
600	113.2	990	.346	5.6	
Prop Demand Data	2100	714.8	1788	.368	37.6
	2000	617.4	1621	.361	31.8
	1900	529.4	1463	.354	26.8
	1800	450.2	1314	.349	22.5
	1700	379.2	1171	.349	18.9
	1600	316.1	1038	.353	15.9
	1500	260.4	912	.357	13.3
	1300	169.5	685	.364	8.8
	1200	133.4	583	.367	7.0
	900	56.3	328	.390	3.1
600	16.6	146	.475	1.1	

Cubic prop demand curve with 3.0 exponent for displacement hulls only.

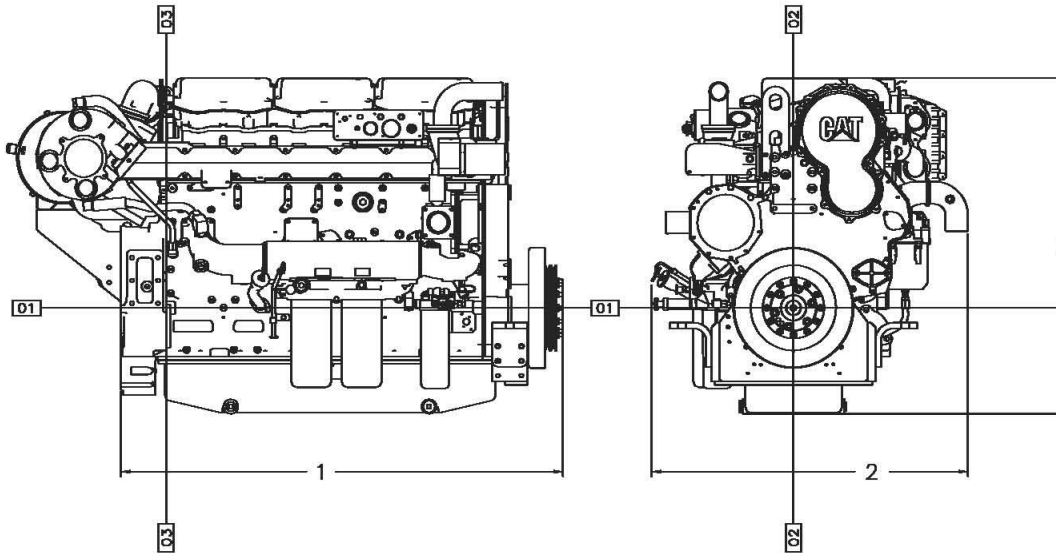
Power produced at the flywheel will be within standard tolerances up to 50°C (122°F) combustion air temperature measured at the air cleaner inlet, and fuel temperature up to 52°C (125°F) measured at the fuel filter base. Power rated in accordance with NMMA procedure as crankshaft power. Reduce crankshaft power by 3% for propeller shaft power.



C18 ACERT™ MARINE PROPULSION

533 kW (715 bhp)

ENGINE DIMENSIONS



C18 ACERT Engine Dimensions (approx.)		
Length to Flywheel Housing		
Heat-Exchanger Cooled	1504.8 mm	59.24 in.
Keel-Cooled	1504.8 mm	59.24 in.
Width		
Heat-Exchanger Cooled	1077.2 mm	42.41 in.
Keel-Cooled	1077.2 mm	42.41 in.
Height		
Heat-Exchanger Cooled	1143.9 mm	45.04 in.
Keel-Cooled	1143.9 mm	45.04 in.
Weight (dry)		
Heat-Exchanger Cooled	1673 kg	3688 lb
Keel-Cooled	1539 kg	3394 lb

Note: Do not use for installation design. See general dimension drawings for detail (Drawing #315-3171).



C18 ACERT™ MARINE PROPULSION

533 bkW (715 bhp)

RATING DEFINITIONS AND CONDITIONS

C Rating (Maximum Continuous)

Typical applications: For vessels operating at rated load and rated speed up to 50% of the time, or 6 hours out of 12, with cyclical load and speed (20% to 80% load factor). Typical applications could include but are not limited to vessels such as ferries, harbor tugs, fishing boats, offshore service boats, displacement hull yachts, or short trip coastal freighters. Typical operation ranges from 2000 to 4000 hours per year.

Power at declared engine speed is in accordance with ISO3046-1:2002E. Caterpillar maintains ISO9001:1994/QS-9000 approved engine test facilities to assure accurate calibration of test equipment. Electronically controlled engines are set at the factory at the advertised power corrected to standard ambient conditions. The published fuel consumption rates are in accordance with ISO3046.

Fuel rates are based on fuel oil of 35° API [16°C (60°F)] gravity having an LHV of 42 780 kJ/kg (18,390 Btu/lb) when used at 29°C (85°F) and weighing 838.9 g/L (7.001 lb/U.S. gal). Additional ratings may be available for specific customer requirements. Consult your Caterpillar representative for additional information.

Performance data is calculated in accordance with tolerances and conditions stated in this specification sheet and is only intended for purposes of comparison with other manufacturers' engines. Actual engine performance may vary according to the particular application of the engine and operating conditions beyond Caterpillar's control.

Power produced at the flywheel will be within standard tolerances up to 49°C (120°F) combustion air temperature measured at the air cleaner inlet, and fuel temperature up to 52°C (125°F) measured at the fuel filter base. Power rated in accordance with NMMA procedure as crankshaft power. Reduce crankshaft power by 3% for propeller shaft power.

CAT, CATERPILLAR, their respective logos, ACERT, "Caterpillar Yellow" and the POWER EDGE trade dress, as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.

Performance No.: DM9568-00
U.S. Sourced
LEHM7359-01 (1-08)

©2008 Caterpillar
All rights reserved.

Materials and specifications are subject to change without notice.
The International System of Units (SI) is used in this publication.

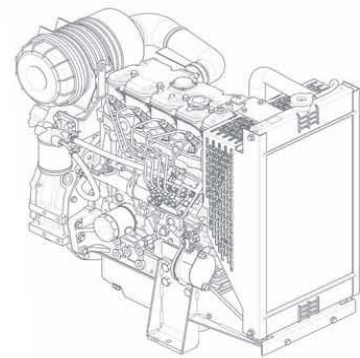
ANEXO II: CARACTERÍSTICAS GENERADOR DIÉSEL

400 Series 404A-22G1 ElectropaK

20.3 kWm @ 1500 rpm

The Perkins® 400 Series engine family continues to set new standards in the compact engine market. Developed alongside customers to fulfill their needs in the generator set, compressor, agricultural and general industrial markets.

These new ElectropaKs provide compact power, from a robust family of 3 and 4 cylinder diesel engines designed to provide economic and durable operation at prime and standby duties, hitting the key power nodes required by the power generation industry.



Powered by your needs

- The 404A-22G1 ElectropaK is a powerful but quiet 2.2 litre naturally aspirated 4-cylinder compact package

Compact, clean, efficient power

- Design features on the 400D range of ElectropaKs ensures clean rapid starting in all conditions whilst delivering impressive performance with low operating costs in a small, efficient package size

Lower operating costs

- Approved for operation on biodiesel* concentrations of up to 20%
- Oil and filter changes are 500 hours, dependent on load factor
- Engine durability and reliability, the warranty offering and ease of installation combine to drive down the cost of ownership

Product support

- With highly trained Perkins distributors in thousands of communities in over 180 countries, you are never far away from expert product knowledge, genuine parts and a range of advanced diagnostic technology for keeping your engine in peak condition

Warranties and Service Contracts

We provide one-year warranties for constant speed engines and two-year warranties for variable speed models, as standard. These are supported by multilevel Extended Service Contracts that can be bought additionally

Discover more
www.perkins.com
www.perkins.com/esc

www.perkins.com/distributor
 To find your local distributor

Engine speed	Type of Operation	Typical Generator Output (Net)		Engine Power				Low Idle
				Gross		Net		
		kVA	kWe	kWm	hp	kWm	hp	
1500	Prime power	20.3	16.2	18.7	25.1	18.4	24.7	n/a
	Standby power	22.3	17.8	20.6	27.6	20.3	27.2	n/a

*Subject to conformance with ASTM D6751 and EN14214.

The above ratings represent the engine performance capabilities to conditions specified in ISO 8528/1, ISO 3046/1:1996, BS 5514/1. Derating may be required for conditions outside these, consult Perkins Engines Company Limited. Generator powers are typical and are based on typical alternator efficiencies and a power factor (cos ϕ) of 0.8.

Fuel specification: BS 2869: Part 2 1998 Class A2 or ASTM D975 D2.

Rating Definitions: Prime Power: Power available at variable load in lieu of a main power network. Overload of 10% is permitted for 1 hour in every 12 hours operation. Standby (maximum): Power available at variable load in the event of a main power network failure. No overload is permitted.

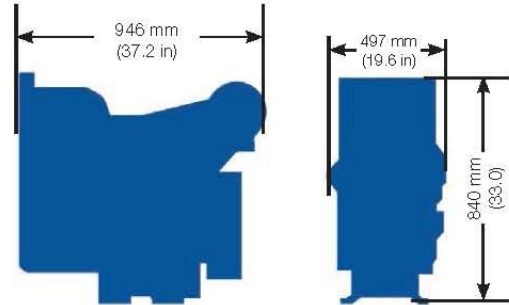
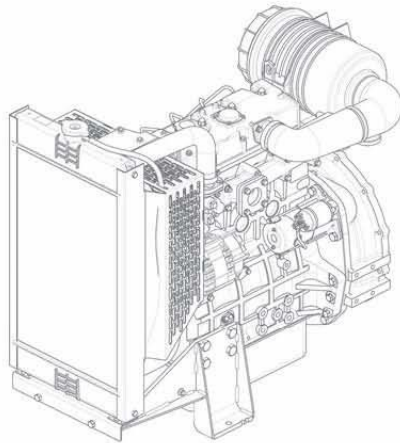
Photographs are for illustrative purposes only and may not reflect final specification.
 All information in this document is substantially correct at time of printing and may be altered subsequently.
 Publication No.PN2002/06/12. Produced in England ©2012 Perkins Engines Company Limited

 **Perkins®**
 THE HEART OF EVERY GREAT MACHINE

400 Series 404A-22G1

ElectropaK

20.3 kWm @ 1500 rpm



Standard electropaK specification

Air inlet

- Mounted air filter

Fuel system

- Mechanically governed cassette type fuel injection pump
- Split element fuel filter

Lubrication system

- Wet steel sump with filler and dipstick
- Spin-on full-flow lub oil filter

Cooling system

- Thermostatically-controlled system with belt driven coolant pump and pusher fan
- Mounted radiator, piping and guards

Electrical equipment

- 12 volt starter motor and 12 volt 15 amp alternator with DC output
- Oil pressure and coolant temperature switches
- 12 volt shut-off solenoid energised to run
- Glow plug cold start aid and heater/starter switch

Flywheel and housing

- 1500 rpm
- High inertia flywheel to SAE J620 Size 190.5 mm (7½ in) Heavy
- Flywheel housing SAE 4 Long

Mountings

- Front and rear engine mounting bracket

Fuel Consumption		
Engine Speed	1500 rpm	
	g/kWh	l/hr
Standby	244	6.1
Prime power	237	5.3
75% of prime power	238	4.0
50% of prime power	258	2.9

General Data

Number of cylinders	4
Cylinder arrangement	Vertical in-line
Cycle	4 stroke
Aspiration	Naturally aspirated
Combustion system	Indirect injection
Compression ratio	23.3:1
Bore and Stroke	84 x 100 mm (3.3 x 3.9 in)
Displacement	2.216 litres (135.2 cubic in)
Direction of rotation	Anti-clockwise viewed on flywheel
Cooling system	Water cooled
Total coolant capacity	7.0 litres (1.8 US gals)
Total lubrication system capacity	10.6 litres (2.8 US gals)
Dimensions	
Length	946 mm (37.2 in)
Width	497 mm (19.6 in)
Height	840 mm (33.0 in)
Total weight (dry)	242 kg (533 lb)

Final weight and dimensions will depend on completed specification.

Optional equipment

- Parts book

Option groups

A selection of optional items is available to enable you to prepare a specification precisely matched to your needs.

Photographs are for illustrative purposes only and may not reflect final specification.
All information in this document is substantially correct at time of printing and may be altered subsequently.
Publication No. PN2002/06/12 Produced in England ©2012 Perkins Engines Company Limited

Perkins Engines Company Limited
Peterborough PE1 5FQ
United Kingdom
Telephone +44 (0)1733 583000
Fax +44 (0)1733 582240
www.perkins.com

 **Perkins®**
THE HEART OF EVERY GREAT MACHINE

ANEXO III: PROTOCOLO DE PRUEBAS RODMAN 66

	PROTOCOLO DE PRUEBAS Proyecto: 66023	Archivo: 66023 PROTOCOLO DE PRUEBAS_VI.DOC Páginas: Página 31 de 47 Realizado por: David Soto Fecha: 08-06-07
-----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO :

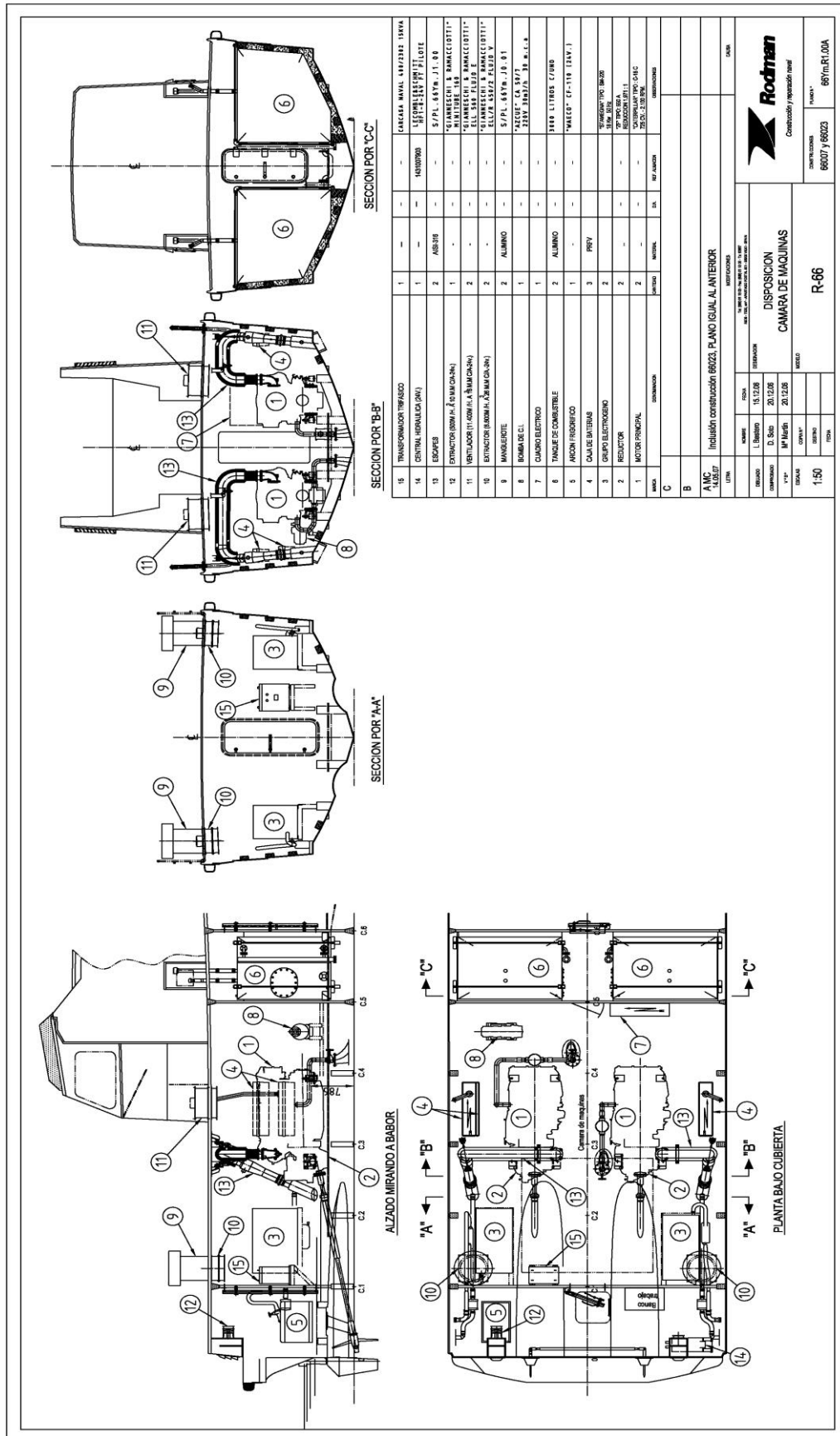
EQUIPO	Nº DE IDENTIFICACION
Motor propulsor BR: Caterpillar C18	C1J00874
Motor propulsor ER: Caterpillar C18	C1J00875
Reductor BR: ZF 550A	20094685
Reductor ER: ZF 550A	20094686

		rpm	%carga	Presión	T°	Presión	Consumo	Vel	Consumo	Autonomía	
				Aceite Motor	Agua Motor	Aceite Trans			Total	Horas	Millas
				Kpa	°C	Kpa	Litros/horas	nudos	Litros/hora	Horas	Millas
800	BR	906	32	494	70	2352	21,7	9	44,7	134	1208,1
	ER	906	34	480	72	2384	23				
1200	BR	1200	49	500	78	2352	41,1	11,2	83,9	72	801,0
	ER	1200	50	420	79	2400	42,8				
1400	BR	1400	55	504	82	2368	61,4	13	124,9	48	624,5
	ER	1400	57	524	83	2416	63,5				
1500	BR	1500	54	516	83	2368	72,3	14,1	147,7	41	572,8
	ER	1500	55	504	83	2432	75,4				
1600	BR	1600	56	520	83	2368	84,8	15,6	171,5	35	545,8
	ER	1600	58	516	83	2432	86,7				
1800	BR	1800	70	512	83	2384	109	18,8	221	27	510,4
	ER	1800	72	516	84	2432	112				
2000	BR	2000	83	524	84	2368	136	22,1	277	22	478,7
	ER	2000	87	512	84	2448	141				
FULL	BR	2135	94	524	84	2384	173	24,8	347	17	428,8
FULL	ER	2159	95	528	85	2448	174				

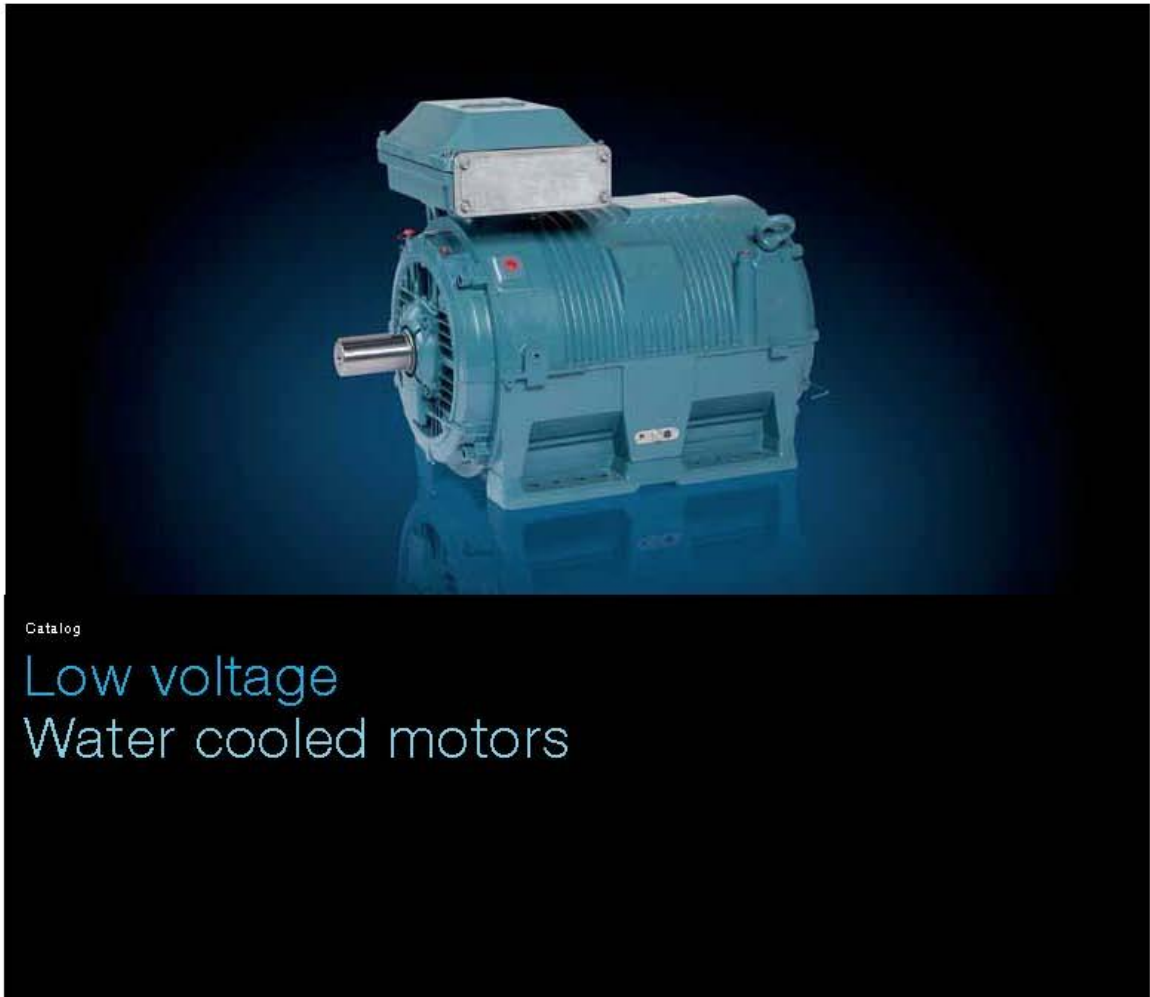
10 de diciembre de 2007

Firma Astillero	Firma Armador	Firma Lloyd's Register (Vigo)
-----------------	---------------	-------------------------------

ANEXO IV: DISPOSICIÓN CÁMARA DE MÁQUINAS



ANEXO V: CARACTERÍSTICAS MOTOR ELÉCTRICO



Cooling water requirements

Requirements for cooling water in motor sizes 280–315

Water with a proportion of chloride up to 3000 mg/l can be used if the ingress of oxygen into cooling water is prevented and the cooling water temperature does not exceed 30 °C. The highest allowed pressure for cooling water is 5 bar.

Requirements for cooling water in motor sizes 355–450

Cooling water must be tap water quality. Sea water or water with a proportion of chloride above 120 mg/l should not be used. The highest allowed pressure for cooling water is 5 bar, with a recommended maximum input water temperature of 40 °C. Steel frame water-cooled construction is only to be used with a closed fresh water circulation. The cooling water circulates in ducts integrated in the machine frame. The material of the frame and ducts is carbon steel according to the standard EN 10025-S235JR. This material is prone to corrosion in saline and foul water. The corrosion products and fouling deposits might block the water flow in the ducts. This is why it is important to use pure water in the cooling system.

Standard values for the cooling water to be used in the cooling system:

- pH 6.5–9.5
- Alkalinity (CaCO₃) > 1 mmol/l
- Chloride (Cl) < 120 mg/l
- Conductivity < 1500 µS/cm

In most cases, normal tap water, i.e. water for domestic consumption, meets all these requirements.

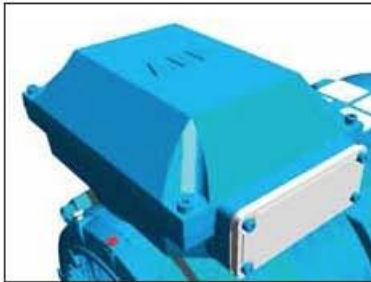
The cooling water can also be inhibited with an agent protecting the cooling system against corrosion, fouling and, when necessary, against freezing. All materials in contact with the cooling water (pipes, heat exchanger, etc.) must be taken into account when selecting a suitable inhibitor.

The outlet water temperature rise is from 7–15 K.

The minimum pressure and amount of cooling water for the basic construction of a water cooled motor is shown in the following table.

Motor type M3LP Frame type	Number of inlets	Cooling water flow rate (l/min)	Water pressure min. (bar)	Water temperature rise (K)
280 SM_	1	20	2.0	7-12
315	1	30	2.0	7-12
355 ML_	1	30	2.0	10-15
355 LK_	1	35	2.0	10-15
400 L_	1	40	2.0	10-15
450 L_	1	50	2.0	10-15

Examples of terminal boxes and connection parts below pictures show a collection of terminal boxes and connection parts.



M001001

Terminal box 370 outside



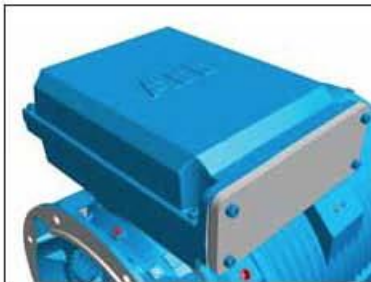
M001002

Terminal box 370 inside



M001003

Terminal box 370 from D-end



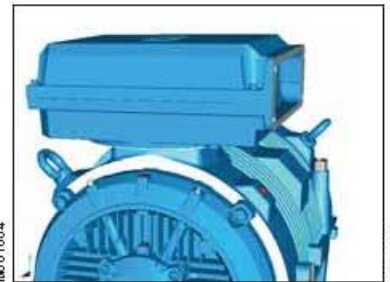
M001005

Terminal box 750 outside



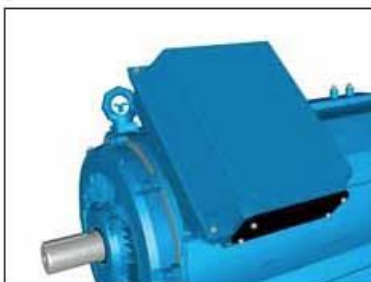
M001004

Terminal box 750 inside



M001010

Terminal box 750 from D-end



M001006

Terminal box 1200 outside



M001007

Terminal box 1200 inside



M001008

Terminal box 1200 from D-end

Terminal box alternatives



Motor frame sizes 355 to 450 with main terminal box

Optional adapters

There is a broad selection of cable termination accessories available to allow termination of one or several cables. The most common ones are explained below, for other options please contact ABB.

How to order?

- Check first that the terminal box can allow mounting of the cable and cores (refer to motor type and terminal box type cross reference page 18).
- If very large cables are used it might be necessary to use a larger terminal box than standard. Select the right cable gland(s) or cable sealing end unit(s) depending on outer diameter of the cable(s).
- Select appropriate adapter and flange and gland(s) or cable sealing end unit.
- Note that turning the terminal box to a non-standard position might limit the use of some adapters.

Ordering example

Motor	500 kW, 4-pole, 400 V, 50 Hz, B3
Cables	2 pieces, outer diameter 72 mm, single core cross section 200 mm ² clamping device needed, cable coming from below
Needed one terminal box for anticondensation heaters 240 V and another for PT100's in winding, one per phase 3-wire, material cast iron	
Motor	M3LP 355MLE 4 B3
Adapter	E-D, variant code 294
Cable sealing end unit	Variant code 278
Clamping	Variant code 231
Auxiliaries	Variant codes 380, 451, 502, 567, 568

Main terminal box and maximum single core cross section

Only one size larger terminal box can be selected. Please check also the capacity of the cable entry, to make sure that the cables fit.

Standard terminal box	Size of opening	Max single cross section per phase mm ²	One size larger terminal box can be selected if larger single cross section is needed		
			Variant code 019 larger terminal box than standard	Size of opening with Variant code 019	Max single cross section per phase mm ²
210	C	2 x 240	370	D	2 x 300
370	D	2 x 300	750	E	4 x 500
750	E	4 x 500	1200	E	4 x 500
1200	E	4 x 500	NA	NA	NA

Permissible loadings on shaft

The tables give the permissible radial force in Newtons, assuming zero axial force. The values are based on normal conditions at 50 Hz and calculated bearing lives of 20,000 and 40,000 hours.

Motors are foot-mounted IM B3 version with force directed sideways. In some cases the strength of the shaft affects the permissible forces.

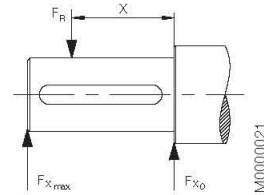
At 60 Hz the values must be reduced by 10%.

Permissible loads of simultaneous radial and axial forces will be supplied on request.

If the radial force is applied between points X0 and Xmax, the permissible force FR can be calculated from the following formula:

$$F_R = F_{X0} - \frac{X}{E} (F_{X0} - F_{Xmax})$$

E = length of shaft extension in basic version



Permissible radial forces

Motor size	Poles	Length of shaft extension E (mm)	Ball bearings		Roller bearings		Roller bearings		Roller bearings	
			20,000 hours	40,000 hours	20,000 hours	40,000 hours	20,000 hours	40,000 hours		
			F_{X0} (N)	F_{Xmax} (N)	F_{X0} (N)	F_{Xmax} (N)	F_{X0} (N)	F_{Xmax} (N)	F_{X0} (N)	F_{Xmax} (N)
280 SM_	2	140	7450	5700	5900	5050	20650	5700	16750	5700
	4	140	9400	5200	7450	5200	25450	5200	20650	5200
	6	140	10750	7800	8500	7250	28700	7800	23300	7800
	8	140	11850	7200	9400	7200	31300	7200	25450	7200
315 M_	2	140	7400	5200	5850	5050	20600	5200	16700	5200
	4	170	11400	9600	9000	7600	32800	10700	26600	10700
	6	170	13050	9600	10300	8700	37000	9600	30050	9600
315 KH_	2	140	7450	6600	5850	5200	20800	7400	16850	7400
	4	170	11450	9900	9000	7800	33150	13800	26900	13800
	6	170	13050	11300	10250	8850	37400	13200	30350	13200
	8	170	14400	12450	11300	13700	40800	13700	33100	13700
355 ML_	4	210	15200	12900	12000	10100	45600	13600	37000	13600
	6	210	17400	13600	13700	11600	51500	13600	41800	13600
	8	210	19300	13600	15200	12900	56200	13600	45600	13600
355 LK	4	210	15300	13300	1200	10400	46200	13000	37500	13000
	6	210	17500	12800	13700	11900	52100	13000	42300	13000
	8	210	19300	13000	15200	13000	56900	13000	46100	13000
400 L_	4	210	15600	13700	12150	10700	53350	17900	43250	17900
	6	210	17750	15500	13800	12100	60200	15500	48800	15500
	8	210	19650	17000	15350	13500	65650	17000	53250	17000
450 L_	4	210	16900	15100	13000	11600	62350	22700	50550	22700
	6	210	19250	17200	14750	13150	70400	20000	57050	20000
	8	210	21400	19100	16450	14700	76750	19700	62250	19700

Technical data

Water cooled motors Technical data with optimized outputs for totally enclosed squirrel cage three phase motors

IP55 IC71W - Insulation class F, temperature rise class B - Cooling water temperature + 26 to 40°C

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-2-1; 2007			Power factor cos φ	Current		Torque			Moment of inertia J = 1/4 GD ²		Weight kg
				100%	75%	50%		I _N	I _s	T _N	T _I	T _b	kgm ²		
				load	load	load		A	A	Nm	Nm	Nm			
3600 r/min = 2 poles															
440 V 60 Hz															
125	1) M3LP 280 SMA	3GLP 281 210-●●G	3573	94.2	94.2	93.4	0.87	200	6.5	334	1.7	2.6	0.5	640	
145	1) M3LP 280 SMB	3GLP 281 220-●●G	3569	94.6	94.9	94.6	0.89	225	6.0	387	1.8	2.3	0.5	660	
175	1) M3LP 280 SMC	3GLP 281 230-●●G	3570	94.9	95.2	95.0	0.9	268	6.8	468	2	2.6	0.8	740	
175	1) M3LP 315 MA	3GLP 311 310-●●G	3575	95.1	95.2	94.9	0.87	277	6.1	467	1.9	2.3	1.2	720	
225	1) M3LP 315 MB	3GLP 311 320-●●G	3576	95.4	95.4	94.8	0.86	359	6.3	600	1.9	2.4	1.3	780	
275	1) M3LP 315 MC	3GLP 311 330-●●G	3578	95.9	95.9	95.4	0.88	427	7.4	733	2.4	2.7	1.6	870	
330	1) M3LP 315 MLA	3GLP 311 410-●●G	3575	96.1	96.5	96.5	0.88	512	6.3	881	2.7	2.5	2.0	1030	
355	1) M3LP 315 MLB	3GLP 311 420-●●G	3577	95.8	95.9	95.5	0.87	558	6.3	947	2.3	2.6	2.0	1030	
375	1) M3LP 315 KHA	3GLP 311 810-●●G	3581	96.0	96.0	95.5	0.86	596	9.0	999	2.2	2.5	2.0	1420	
400	1) M3LP 315 KHB	3GLP 311 820-●●G	3578	96.1	95.6	96.5	0.9	606	7.0	1067	2.2	2.5	2.0	1600	
1800 r/min = 4 poles															
440 V 60 Hz															
100	1) M3LP 280 SMA	3GLP 282 210-●●●●G	1779	95.1	95.4	95.1	0.86	160	5.9	536	2.0	2.3	1.1	680	
125	1) M3LP 280 SMB	3GLP 282 220-●●G	1782	94.8	95.3	95.2	0.85	203	6.7	669	2.4	2.6	1.1	680	
145	1) M3LP 280 SMC	3GLP 282 230-●●G	1780	95.0	95.5	95.5	0.86	232	6.3	777	2.3	2.5	1.4	740	
175	1) M3LP 280 SMD	3GLP 282 240-●●G	1782	95.3	95.7	95.7	0.84	286	6.7	937	2.5	2.6	1.4	740	
200	M3LP 280 SME	3GLP 282 250-●●G	1782	95.7	96.1	96.1	0.87	315	7.7	1071	2.8	2.8	1.7	790	
225	1) M3LP 315 MC	3GLP 312 330-●●G	1785	95.4	95.7	95.5	0.85	364	6.3	1203	2.0	2.5	2.4	870	
275	M3LP 315 MLA	3GLP 312 410-●●G	1784	96.2	96.5	96.5	0.85	441	6.5	1472	2.1	2.5	3.7	1030	
330	1) M3LP 315 KHA	3GLP 312 810-●●G	1784	95.5	96.0	95.9	0.88	515	6.4	1766	2.1	2.5	3.5	1490	
362	M3LP 355 MLA	3GLP 352 410-●●G	1787	96.5	96.6	96.3	0.86	572	6.2	1934	1.8	2.1	5.3	1520	
375	1) M3LP 315 KHB	3GLP 312 820-●●G	1784	95.8	96.1	96.1	0.88	583	6.5	2007	2.2	2.5	4.0	1520	
400	M3LP 355 MLB	3GLP 352 420-●●G	1787	96.7	96.8	96.5	0.87	623	6.5	2137	1.8	2.1	6.0	1620	
400	1) M3LP 315 KHC	3GLP 312 830-●●G	1783	95.7	95.9	95.8	0.88	623	6.2	2142	2.0	2.6	4.4	1560	
450	M3LP 355 MLC	3GLP 352 430-●●G	1787	96.8	96.9	96.6	0.87	701	6.3	2404	1.9	2.2	7.0	1750	
500	M3LP 355 MLD	3GLP 352 440-●●G	1787	96.7	96.9	96.6	0.87	779	6.8	2671	2.2	2.3	7.8	1900	
560	M3LP 355 MLE	3GLP 352 450-●●G	1788	97.0	97.0	96.7	0.87	870	7.2	2990	2.2	2.4	8.4	2000	
630	M3LP 355 LKA	3GLP 352 810-●●G	1788	97.0	97.1	96.8	0.87	979	7.2	3364	2.4	2.4	10.0	2350	
710	M3LP 355 LKB	3GLP 352 820-●●G	1787	96.9	97.0	96.8	0.87	1105	7.0	3794	2.4	2.3	10.6	2450	
800	M3LP 400 LA	3GLP 402 510-●●G	1787	96.6	96.9	96.7	0.86	1263	6.3	4275	1.7	2.0	15.0	3200	
880	1) M3LP 400 LB	3GLP 402 520-●●G	1788	96.8	97.0	96.9	0.88	1355	6.6	4699	1.7	2.2	16.0	3300	
950	1) M3LP 400 LC	3GLP 402 530-●●G	1789	97.1	97.2	96.9	0.88	1458	6.9	5070	1.7	2.3	17.0	3400	
1100	1) M3LP 450 LA	3GLP 452 510-●●G	1789	97.1	97.2	97.0	0.89	1670	6.1	5871	0.7	2.4	23.0	3750	
1220	1) M3LP 450 LB	3GLP 452 520-●●G	1789	97.1	97.2	97.0	0.89	1852	6.2	6512	0.7	2.4	25.0	4050	
1350	1) M3LP 450 LC	3GLP 452 530-●●G	1790	97.1	97.1	96.8	0.89	2049	6.5	7201	0.7	2.5	30.0	4400	

1) Temperature rise class F

The two bullets in the product code indicate choice of mounting arrangements, voltage and frequency code (see ordering information page).

Efficiency values are given according to IEC 60034-2-1; 2007.

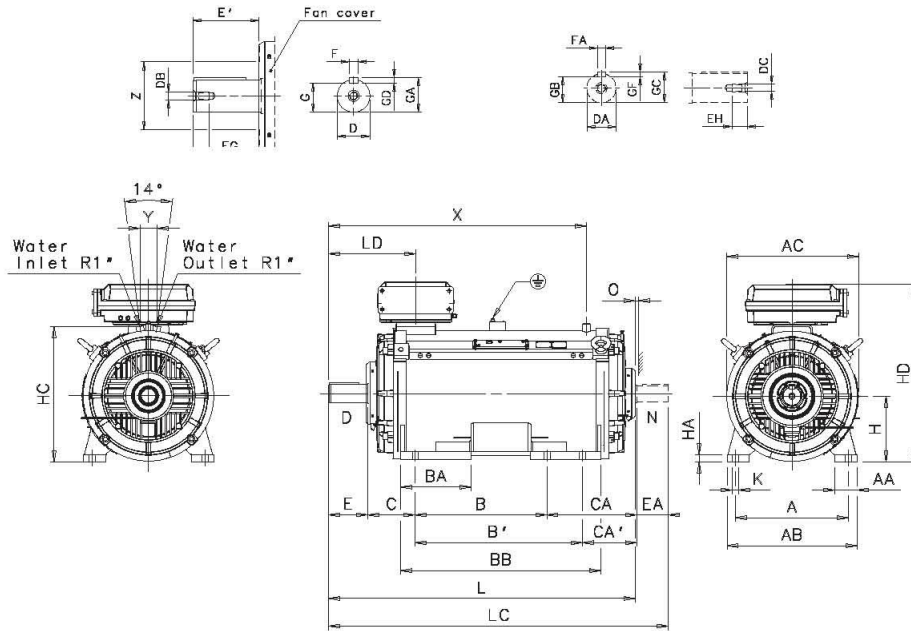
Please note that the values are not comparable without knowing the testing method.

ABB has calculated the efficiency values according to indirect method, stray load losses (additional losses) determined from measuring.

Dimension drawings
Water cooled motors

M3LP 355

Foot-mounted; IM B3 (IM 1001), IM B6 (IM 1051), IM B7 (IM 1061), IM B8 (IM 1071), IM V5 (IM 1011), IM V6 (IM 1031)



Motor size	Poles	A	AA	AB	AC	B	B'	BA	BB	C	CA	CA'	D	DA	DB	DC	E	E'	EA	EG	EH
355 ML	4-8	610	120	700	702	560	630	265	848	254	406	336	100	90	M24	M24	210	204	170	51	51
355 LK	4-8	610	120	700	702	710	900	380	1078	254	486	296	100	90	M24	M24	210	204	170	51	51

Motor size	Poles	F	FA	G	GA	GB	GC	GD	GF	H	HA	HC	HD ¹⁾	HD ²⁾	K	L	LC	LD	O	X	Y	Z
355 ML	4-8	28	25	90	106	81	95	16	14	355	40	729	944	958	35	1418	1600	468	10	1157	92	210
355 LK	4-8	28	25	90	106	81	95	16	14	355	40	729	944	958	35	1648	1830	468	10	1387	92	210

Tolerances:

A, B	± 0,8	¹⁾ Terminal box 750
D, DA	ISO m6	²⁾ Terminal box 1200
F, FA	ISO h9	
H	0, -1,0	
N	ISO js6	
C	± 0,8	

Above table gives the main dimensions in mm.
For detailed drawings please see our web site
www.abb.com/motors&generators or contact us.

Rating plates

The rating plate is in table form giving values current and power factor for six voltages.

Motor size 280

Rating plate

CE		IE2	
3 ~ Motor		M3LP 280SMD 4 IMB3 / IM1001	
472610-10		2010 No. 3GF10052589	
		Ins.cl. F	
		IP 55	
V	Hz	kW	r/min
690 Y	50	160	1483
400 D	50	160	1483
415 D	50	160	1484
A	cos φ	Duty	
175	0.8	S1	
303	0.8	S1	
292	0.79	S1	
IE2-95.0%(100%)-95.4%(75%)-95.3%(50%)			
Prod. code 3GLP282240-ADG			
		Nmax	
6316/C3		700	
6316/C3		kg	
ABB		IEC 60034-1	

Motor size 450

Rating plate

CE		IE2	
3 ~ Motor		M3LP 450LC 4 IMB3 / IM1001	
472610-11		2010 No. 3GF10052500	
		Ins.cl. F	
		IP 55	
V	Hz	kW	r/min
690 Y	50	1200	1491
400 D	50	1200	1491
415 D	50	1200	1492
A	cos φ	Duty	
1170	0.88	S1	
2020	0.88	S1	
1970	0.87	S1	
Prod. code 3GLP452530-RDG			
		Nmax 2000	
6326/C3		4400	
6322/C3		kg	
ABB		IEC 60034-1	

Motor sizes 280 to 450

Lubrication plate

ABB						
Regreasing intervals in duty hours						
Bearings		6316/C3 6316/C3				
Amount of grease		70 70				
Mounting	Ambient temp.	1800 r/min	1500 r/min	1000 r/min	0-900 r/min	
Hor	25	8000	10500	14000	17000	
Hor	40	4000	5250	7000	8500	
Vert	25	4000	5250	7000	8500	
Vert	40	2000	2630	3500	4250	
Do not exceed the motor max. speed						
The following or similar high performance grease can be used:						
Ecco	Unirex N2 or N3	Shell	Albida EMS2			
Total	Multis Complex S2 A	Mobil	Mobilith SCH 100			
Kluber	Kluberplex BEM 41-132	FAG	Arcanol TEMP110			
472610-10						
See respective "Motor Manual"						

Motor size 280

Instruction plate for cooling water

3GF10052589		ABB	
Water inlet: LEFT		Water outlet: RIGHT	
Inlet water temp: +35°C...+40°C		Water flow: 20L/MIN	
Water pressure: min/max 2 / 5 bar			

Motor size 450

Instruction plate for cooling water

3GF10052500		ABB	
Water inlet: CLOSER ND-END		Water outlet: CLOSER D-END	
Inlet water temp: +30°C...+40°C		Water flow: 50L/MIN	
Water pressure: min/max 2 / 5 bar			

Water cooled motors in brief

Basic design

Motor size		280	315	355	400	450
Stator	Material	Cast aluminum			Steel plate	
	Paint colour shade	Blue, Munsell 8B 4.5/3.25 / NCS 4822 B05G / RAL 5014				
	Paint thickness	C3 medium				
Bearing end shields	Material	Cast iron EN-GJL200/GG20/GRS 200, EN-GLJ-250/GG25/GRS 250, EN-GJS-400/GG40/GRP 400				
	Paint colour shade	Blue, Munsell 8B 4.5/3.25 / NCS 4822 B05G / RAL 5014				
	Paint thickness	C3 medium				
Bearings	D-end 2-pole	6316/C3	6316/C3	NA		
	D-end 4-8 pole		6319/C3	6322/C3	6324/C3	6326M/C3
	N-end 2-pole	6316/C3	6316/C3	N/A		
	N-end 4-8 pole			6316/C3	6319/C3	6322/C3
Axially-locked bearings	Inner bearing cover	As standard, locked at D-end				
Bearing seals		V-ring or labyrinth seal as standard see chapter on Bearing seal				
Lubrication		Regreasable bearings, regreasing nipples, M10x1				
Measuring nipples		As standard				
Rating plate	Material	Stainless steel, EN 10088, thickness 0.5 mm				
Terminal box	Frame material	Cast iron EN-GJL-250/GG 25/GRS 250				
	Cover material	Cast iron EN-GJL-250/GG 25/GRS 250				Steel
	Cover screws material	Steel 8.8, zinc electroplated				
Connections	Cable entries	Aluminum non-drilled flange		Painted non-drilled steel flange		
	Terminals	6 terminals for connection with cable lugs (not included)				
	Cable glands	Cable glands as option				
Stator winding	Material	Copper				
	Insulation	Insulation class F				
	Winding protection	3 PTC thermistors as standard, 155°C				
Rotor winding	Material	Pressure die-cast aluminum				
Balancing method		Half key balancing as standard				
Key way		Open key way				
Heating elements	On request	65 W	2x65 W	2x65 W	2x65 W	2x100 W
Drain holes		Standard, open on delivery				
Enclosure		IP 55, higher protection on request				
Cooling method		IC71W				

Contact us

www.abb.com/motors&generators

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB AG does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document. We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained herein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in part – is forbidden without prior written consent of ABB AG. Copyright© 2010 ABB All rights reserved

9AKK104379 EN 02-2011

ANEXO VI: CARACTERÍSTICAS BATERÍA LiFePO₄



<http://www.sinopolybattery.com>

HK Head Office

Tel: (852) 3104 2603

Fax: (852) 2877 0628

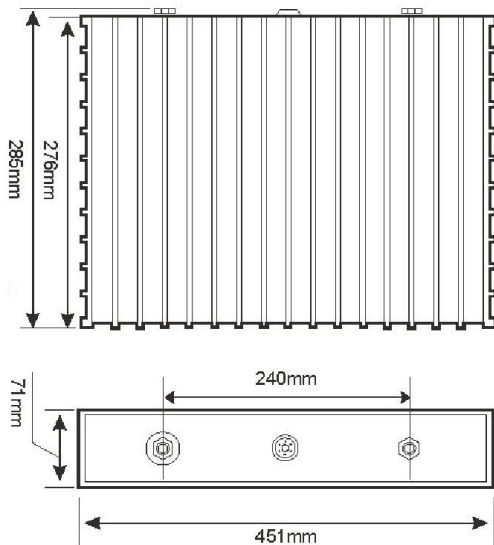
E-mail: sales@sinopolybattery.com

中聚锂电池性能说明 SINOPOLY LITHIUM ION BATTERY SPECIFICATIONS

单体电池尺寸 DIMENSIONS



型号(MODEL):SP-LFP500AHA



技术参数 SPECIFICATION

型号(MODEL):SP-LFP500AHA

标称容量 Nominal Capacity	500Ah, 1600Wh
--------------------------	---------------

标称电压 Nominal Voltage	3.2V
-------------------------	------

循环寿命 Life Cycles	80% DOD	≥2000Times
	70% DOD	≥3000Times

自放电率 Self-discharge Rate	≤3%
-----------------------------	-----

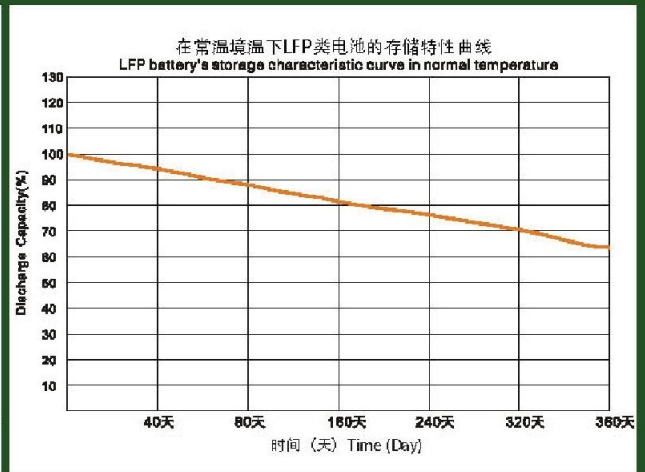
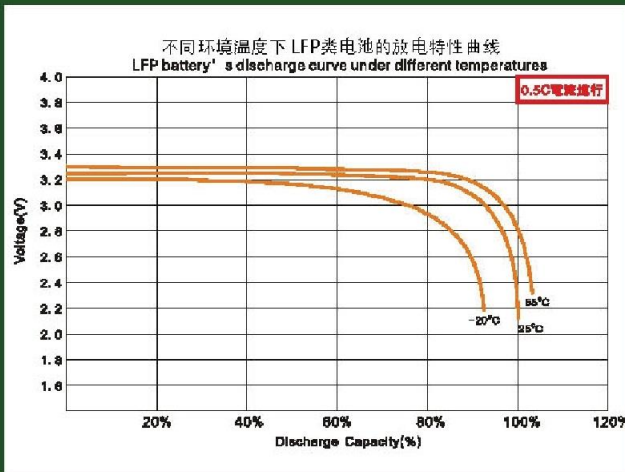
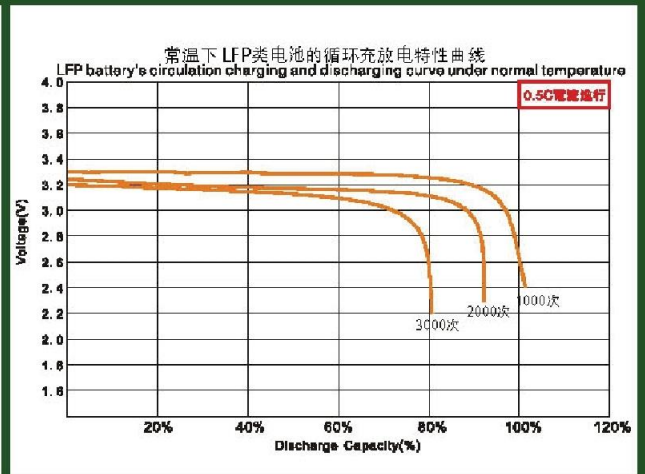
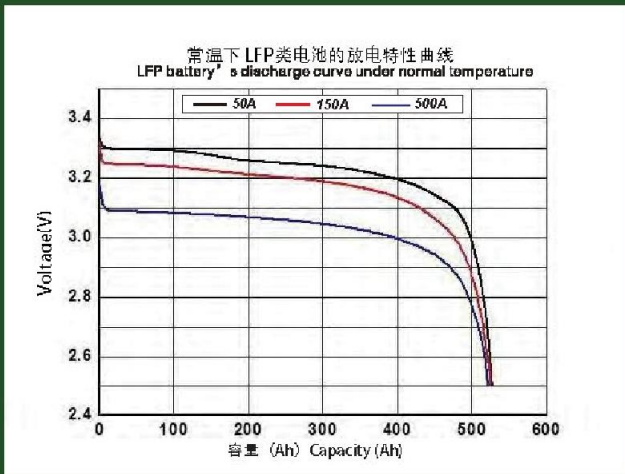
重量 Weight	14.3±0.3kg
--------------	------------

	充电 Charge (模式, Mode: cc-cv)	放电 Discharge
截止电压 Cut-Off Voltage	3.8V	2.8V
标准电流 Standard Current	0.3C, 150A	0.3C, 150A
最大恒电流 Max Constant Current	3C, 1500A	3C, 1500A
最大脉冲电流(10秒) Max Impulse Current (10s)	3C, 1500A	5C, 2500A
工作温度 Operating Temperature	0°C ~ +70°C	-20°C ~ +70°C



SP-LFP500AHA型电池的充放电特性

SP-LFP500AHA CHARGE & DISCHARGE CHART



ANEXO VII: DISPOSICIÓN ESTACIÓN DE RECARGA DE BATERÍAS



ANEXO VIII: LISTADO DE REPUESTOS CONSUMIBLES ANUALES

Unidad	P/N	Alternativo	UNIDADES
MOTOR PRINCIPAL CATERPILLAR C-18			
FILTRO ACEITE	1R-0716	00-125-9544	16
FILTRO GASOIL	1R-0749	01-455-4730	8
FILTRO VENTILACIÓN CARTER	163-7344	211-4354	8
FILTRO SEPARADOR DE AGUA	129-0373	133-5673	8
NOTA: No se solicitan filtros de aire, ánodos ni correas por existencia de repuestos abordo.			
REDUCTOR ZF MARINE			
FILTRO ACEITE	BALDWIN B252 Z/F MARINE 3213308019	PN.3213308019 (ORIGINAL)	8
AUXILIAR PERKINS			
FILTROS GASOIL1°	RACOR PARKER R60T		8
FILTRO GASOIL 2°	HDF296 C1191A NAPA-GOCA 3166	2910-00-057 26561117	8
FILTRO ACEITE	PURFLUX LS359 PH2835	BALDWIN B-223 140517050	8
NOTA: No se solicita correas aux, por existencia de repuestos.			
SERVO			
FILTRO EXTERIOR	CS- 05AN		4
FILTRO INTERIOR	F1-002		4

ANEXO IX: COSTE REPARACIONES LANCHAS DE INSTRUCCIÓN

Entrada	Nombre BUI	Parte	Motivo de la reparación	Coste €	Grupo	Empresa
5/6/14	GM RULL	100514	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	5.184,97	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
5/6/14	GM CHEREGUINI	100514	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	5.184,97	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
5/6/14	GM BARRUTIA	100514	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	5.184,97	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
30/1/14	GM CHEREGUINI	200114	REPARACION PERDIDA ACEITE MOTOR PRINCIPAL BR. GM. CHEREGUINI	2.103,20	RE-REN	FOROVE S.L.
30/1/14	GM SALAS	100114	REVISION PERIODICA DE DOS (2-) BALSAS SALVAVIDAS	908,52	TI-TIN	CAMUYDE SL
30/1/14	GM RULL	100114	REVISION PERIODICA DE DOS (2-) BALSAS SALVAVIDAS	908,52	TI-TIN	CAMUYDE SL
30/1/14	GM CHEREGUINI	100114	REVISION PERIODICA DE DOS (2-) BALSAS SALVAVIDAS	1.093,08	TI-TIN	CAMUYDE SL
30/1/14	GM BARRUTIA	100114	REVISION PERIODICA DE DOS (2-) BALSAS SALVAVIDAS	1.137,86	TI-TIN	CAMUYDE SL
21/11/13	GM CHEREGUINI	900313A1	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	450	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
19/4/13	GM BARRUTIA	200313	AVERIA POR CORROSION EN EL INTERIOR DEL TANQUE DE EXPANSION	11.434,00	RE-REN	TALLERES NAVALES MARIN SL
12/3/13	GM SALAS	900413	RECARGA DE (2-) DOS EXTINTORES DE POLVO SECO	12,82	TI-TIN	FOROVE S.L.
12/3/13	GM CHEREGUINI	900413	REPARACION SANEADO Y PINTADO DE UNA GRIETA/ORIFICIO (EN EL TANQUE DE EXPANSION)	480	RE-REN	LLINAS DURAN S.L.N.E
12/3/13	GM RULL	900313	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	4.905,97	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
12/3/13	GM CHEREGUINI	900313	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	4.905,97	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
12/3/13	GM SALAS	900313	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	4.905,97	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
12/3/13	GM BARRUTIA	900413	REALIZACION DE VARADA REGLAMENTARIA Y OBRAS DERIVADAS	4.905,97	RE-REN	RODMAN POLYSHIPS
11/3/13	GM SALAS	200113	REPARACION DEL MOTOR DE ARRANQUE. TIENE UN CONSUMO EXCESIVO	1.355,85	RE-REN	SERFRIMEC, S.L.
11/3/13	GM CHEREGUINI	200213	REPARACION DEL MOTOR ELECTRICO DEL SERVOMOTOR.	822,33	RE-REN	SERFRIMEC, S.L.
11/3/13	GM CHEREGUINI	200113	REPARACION DEL ALTERNADOR PARA CARGA DE BATERIAS. NO GENERA VOLTAJE	689,79	RE-REN	SERFRIMEC, S.L.
20/2/13	GM RULL	900213	REVISION DEL LIBERADOR (PIE HIDROSTATICO) DE LA RADIOBALANZA	316,76	EL-ER-COM	ELECTRON CCTV
20/2/13	GM SALAS	900213	REVISION DEL LIBERADOR (PIE HIDROSTATICO) DE LA RADIOBALANZA	316,76	EL-ER-COM	ELECTRON CCTV
20/2/13	GM CHEREGUINI	900213	REVISION DEL LIBERADOR (PIE HIDROSTATICO) DE LA RADIOBALANZA	316,78	EL-ER-COM	ELECTRON CCTV
20/2/13	GM BARRUTIA	900313	REVISION PEDAL HIDRÁULICO DEL LIBERADOR DE LA RADIOBALANZA	316,76	EL-ER-COM	ELECTRON CCTV
12/2/13	GM SALAS	900113	REVISION ANUAL DE (2-)BALSAS SALVAVIDAS	996,78	TI-TIN	CAMUYDE SL
12/2/13	GM RULL	900113	REVISION ANUAL DE (2-) DOS BALSAS SALVAVIDAS	971,11	TI-TIN	CAMUYDE SL
12/2/13	GM CHEREGUINI	900113	REVISION ANUAL DE (2-)BALSAS SALVAVIDAS	1.079,38	TI-TIN	CAMUYDE SL
12/2/13	GM BARRUTIA	900213	REVISION ANUAL DE (2-) DOS BALSAS SALVAVIDAS.	781,37	TI-TIN	CAMUYDE SL

Año 2013 € 9.623,88

Año 2014 € 5.554,91 (pendiente GM Salas)

total: € 15.178,79

ANEXO X: CONSUMO DE LANCHAS AÑO 2014

SEGÚN DATOS ENVIADOS AL DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE, **TOMADOS DE LOS ESTADILLOS MENSUALES**, DURANTE EL AÑO 2014(ENE-DIC.) EL CONJUNTO DE LAS 4 LANCHAS REALIZARON UN TOTAL DE:

1382.5 HORAS DE MAR/MOTORES PPALES

51400 L. DE GASOIL CONSUMIDO.

LO QUE ARROJA UNA MEDIA DE:

346 HORAS CADA LANCHA

12850 LITROS CADA LANCHA

REALIZANDO UN CONSUMO MEDIO DE:

37.17 LITROS/LANCHA/HORA

DIAS CON SALIDA A LA MAR:

BARRUTIA-82.

CHEREGUINI-73.

RULL-88.

SALAS-87.

ANEXO XI: CARACTERÍSTICAS INVERSOR

SolarMax 330TS-SV/360TS-SV

The all-round solution for large-scale PV installations.



20
More than
20 years Swiss Quality
and Experience

 **SolarMax**[®]
SWISS QUALITY

Modular and flexible

The best choice for PV installations is the SolarMax TS-SV, the inverter which is directly connected to medium voltage grids. Depending on the size of your system, an inverter system consists of up to four SolarMax TS-SV inverters (up to 1.44MW), a central control and user unit, and a medium-voltage transformer. TS-SV inverters meet both current and future requirements applicable to modern PV inverters and they are attractive because of their great flexibility, maximum energy yields and excellent services such as the MaxControl service package.



Maximum pay-back

The TS-SV central inverters are manufactured to a high standard of quality and the consistent use of film capacitors and intelligent monitoring of the power semiconductors make them especially durable and dependable. With a Euro efficiency of up to 97.4% and an MPP efficiency of 99.9%, the TS-SV inverter maximises the yield of any solar installation. Our competent technical support team looks forward to helping you develop the best layout for your PV installation.



Swiss Quality

For us quality has long had the highest priority: all TS-SV inverters are tested in compliance with current product safety standards and bear the TÜV mark "Type Approved". The development, the final installation and all quality controls of the TS series are conducted in Switzerland. This is something you can rely on.

Specifications

SWISS QUALITY



		SolarMax 330 / 660 / 990 / 1320 TS-SV	SolarMax 360 / 720 / 1080 / 1440 TS-SV
Input values	MPP voltage range	440 V...800 V	510...800V
	Maximum DC voltage	900 V	900 V
	Maximum DC current	720 / 1440 / 2160 / 2880 A	720 / 1440 / 2160 / 2880 A
	Number of MPP-Trackers	1 or 3/6/9/12	1 or 3/6/9/12
	Connection type	threaded bolts M8	
Output values	Rated output power	330/660/990/1320 kW ¹⁾	360/720/1080/1440 kW ²⁾
	Maximum apparent output power	340/680/1020/1360 kVA	370/740/1110/1480 kVA
	Nominal mains voltage	3 x 440V	3 x 320 V
	Maximum AC current	700/1400/2100/2800 A	666/1332/1998/2664 A
	Mains nominal frequency / range	50 Hz / 45 Hz...55 Hz	
	Power factor cos(φ)	Adjustable from 0.8 overexcited to 0.8 underexcited	
	Distortion factor at rated power	< 3 %	
	Connection type	3 x 3 threaded bolts M8	
	Grid connection	Three-phase (without a neutral conductor)	
	Efficiency	Maximum efficiency	98 %
Europ. Efficiency ³⁾		97.2 %	97.4 %
Power input	Own consumption, night	< 7 / 14 / 21 / 28 W	
Ambient conditions	Protection type compliant with EN 60529	IP20	
	Ambient temperature range	-20 °C...+50 °C	
	Ambient temperature range at rated power	-20 °C...+45 °C	
	Relative humidity	0...98 % (no condensation)	
	Noise emissions	< 65 dBA	
Configuration	Display (in MCU)	Graphic LC display with backlight and status LED	
	Data logger (in MCU)	Data logger for energy yield, peak output and operating duration for the last 31 days, 12 months and 10 years	
	Galvanic insulation	No galvanic isolation: direct connection to MV transformer	
Standards & guidelines	CE-compliant	Yes	
	EMC	EN 61000-6-2/EN 61000-6-4	
	Standard / guideline compliance	G59/2 / BDEW MV Guideline / PPC Guide / RD 661 / Allegato A70 G59/2 / BDEW MV Guideline ⁴⁾ / PPC Guide / RD 661 /	
	Device safety	TÜV "Type approved" compliant with EN 50178	
Interfaces	Data communication (in MCU)	RS485 / Ethernet via two RJ45 sockets	
	Status signalling contact (in MCU)	Potential-free terminal contact pair (configurable function)	
	Alarm input (in MCU)	Terminal contact pair for connection to MaxConnect plus	
	Inverter shut-off 1	Two terminal contact pairs (can be chain-linked via several SolarMax TS-SV)	
	Inverter shut-off 2 (in MCU)	Terminal contact pair	
Weight & dimensions	Weight	990 / 1980 / 2970 / 3960 kg	
	Dimensions in mm (W x H x D)	1 / 2 / 3 / 4 x 1200 x 1970 x 800 mm	
Warranty		Standard 2 years (free extension to 5 years after registration) / extensions to 10, 15, 20 or 25 years possible	

¹⁾ at cos(φ) = 1, U_{ac} = 280 V

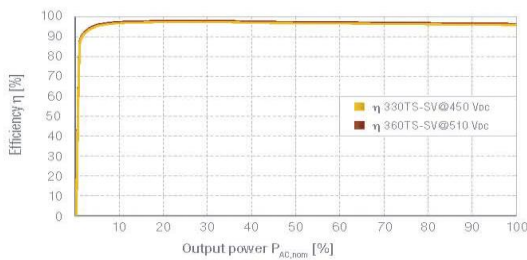
²⁾ at cos(φ) = 1, U_{ac} = 320 V

³⁾ in Single MPPT operation with active partial load optimisation (see operating instructions parameter configuration with MaxTalk 2 Pro)

⁴⁾ in development

All rights, amendments and errors reserved.

Efficiency SolarMax TS-SV ³⁾



2013/01 en

