



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de una planta eléctrica para propulsión eléctrica del
Buque Escuela Juan Sebastián Elcano*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Lorenzo Piñeiro Vilar

DIRECTORES: Andrés Suárez García
Víctor Alfonsín Pérez

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de una planta eléctrica para propulsión eléctrica del
Buque Escuela Juan Sebastián Elcano*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El Buque Escuela (B/E) Juan Sebastián Elcano es un bergantín-goleta cuya función principal radica en hacer un viaje de instrucción para los futuros oficiales de la Armada. Este buque hace parte de su navegación a vela, pero por motivos de condiciones meteorológicas y para cumplir unas fechas concretas de llegada a puerto establecidas de antemano, necesita el uso de un motor diésel. Actualmente el mundo avanza en la dirección de la protección medioambiental y la eficiencia energética, dónde no encaja este tipo de propulsión. Hoy en día está más que demostrado las ventajas que tiene la propulsión eléctrica sobre la diésel no solo desde el punto de vista de la eficiencia energética, sino también por el confort de la ausencia de ruidos, vibraciones y humos; y por la versatilidad de su ubicación.

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo el estudio de viabilidad de la propulsión eléctrica para el buque anteriormente descrito. Este trabajo tiene como fin conseguir mayor eficiencia energética y mayor protección medioambiental, eliminando el empleo de combustibles fósiles. Existen otros tipos de energía que permiten cumplir estos requisitos, pero la energía eléctrica está ampliamente desarrollada para el empleo en la propulsión naval.

Para conseguir la propulsión eléctrica del B/E Juan Sebastián Elcano se tuvieron en consideración diversas características del barco. Ente otras, se pretende que la nueva propulsión cumpla como mínimo las mismas funciones que la anterior, para realizar su objetivo como lo ha hecho hasta la fecha. Esto implica cumplir con la potencia y autonomía necesarias. Sin embargo, tenemos muchos aspectos que limitan esto como espacio, peso y las limitadas características de almacenamiento de las baterías actuales. Finalmente, se consideró el uso de las energías renovables.

Al intentar asumir la autonomía del buque mediante el empleo de baterías comerciales, se presentó la imposibilidad de hacerlo por motivos de espacio. A continuación, se redujeron las expectativas asumiendo únicamente el trayecto de mayor consumo y suponiendo la recarga completa de las baterías en puerto. Aun así, no fue suficiente y se calculó la potencia fotovoltaica para suplir el déficit, pero no existe superficie suficiente para colocar los paneles solares que generen tal potencia.

En resumen, se llega a la conclusión de que la instalación eléctrica del B/E Juan Sebastián Elcano es totalmente inviable económicamente. Además, no es viable con las tecnologías planteadas cumplir su autonomía. Aun así, tiene muchas otras ventajas como el funcionamiento con cero emisiones a la atmósfera y la ergonomía de la ausencia de ruidos y vibraciones. Una posible solución para solventar el problema del déficit, puede ser reduciendo la distancia de los trayectos o flexibilizando el día de entrada en puerto.

PALABRAS CLAVE

Buque Escuela Juan Sebastián Elcano, propulsión eléctrica, eficiencia energética, energías renovables.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación no habría visto la luz de no ser por la inestimable contribución de un buen número de personas, que a lo largo de su proceso de elaboración me han ofrecido, sin reservas, un apoyo instrumental y emocional inconmensurable.

En primer lugar agradecer a mis padres por su apoyo incondicional en todo momento, que siempre mostraron interés y preocupación por el transcurso del trabajo.

Además, quiero agradecer al personal del Buque Escuela Juan Sebastián Elcano, en especial al Teniente de Navío Juan M. González García por su disponibilidad y colaboración con el trabajo. También agradecer a todos mis compañeros que siempre estaban dispuestos a ayudarme, a cualquier hora y cualquier día.

Por último quiero mostrar mi pleno agradecimiento al director del trabajo Don Andrés Suárez García, que sin su ayuda este trabajo no saldría adelante.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
1 Introducción y objetivos	5
1.1 Justificación	5
1.2 Objetivos	6
2 Estado del arte	7
2.1 Introducción	7
2.2 Historia de la propulsión naval	7
2.2.1 Propulsión a remo	7
2.2.2 Propulsión a vela.....	8
2.2.3 Propulsión a vapor	8
2.2.4 Propulsión diésel.....	9
2.2.5 Propulsión por turbina de gas	9
2.3 La propulsión en la actualidad	10
2.3.1 Propulsión combinada	10
2.3.2 Propulsión magnetohidrodinámica	11
2.3.3 Propulsión eléctrica autónoma.....	12
3 Desarrollo del TFG.....	13
3.1 Introducción	13
3.2 Esquema eléctrico	13
3.3 Motor diésel para propulsión	14
3.4 Generadores diésel	15
3.5 Motor eléctrico para propulsión	16
3.5.1 Motor seleccionado.....	16
3.6 Inversor de corriente	17
3.6.1 Inversor seleccionado	17
3.7 Balance de energía	18
3.7.1 Potencia de pico	18
3.7.2 Autonomía	19
3.8 Baterías.....	21

3.8.1 Elección de las baterías.....	23
3.8.2 Batería SINOPOLY LIFEPO4	24
3.8.3 Dimensionamiento del grupo de baterías	25
3.9 Energías renovables	28
3.9.1 Energía solar fotovoltaica	28
3.9.2 Aportación de las energías renovables	32
3.10 Resumen instalación eléctrica	33
4 Resultados / Validación / Prueba.....	34
4.1 Introducción	34
4.1.1 Autonomía	34
4.1.2 Instalación diésel	36
4.1.3 Instalación eléctrica	38
4.1.4 Instalación eléctrica con renovables	39
4.1.5 Balance de pesos.....	42
4.1.6 Amortización de la instalación	42
5 Conclusiones y líneas futuras	43
5.1 Introducción	43
5.2 Conclusiones	43
5.3 Líneas futuras	44
6 Bibliografía.....	45
Anexo I: Especificaciones Técnicas Motor Eléctrico	47
Anexo II: Especificaciones Técnicas Inversor de corriente	51
Anexo III: Especificaciones técnicas baterías lifepo4.....	55
Anexo IV: Datos Juan Sebastián Elcano	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Canoa (Recuperado de www.salonhogar.net)	7
Figura 2-2 Vela (Recuperado de www.elmundo.es)	8
Figura 2-3 Vapor (Recuperado de www.zazzle.es)	8
Figura 2-4 Motor diésel (Recuperado de www.mauticexpo.es)	9
Figura 2-5 Turbina de gas (Recuperado de www.ambientum.com)	9
Figura 2-6 Yamato 1 [1]	11
Figura 2-7 Ferry ZeroCat [2]	12
Figura 3-1 Esquema instalación eléctrica	13
Figura 3-2 Motor Deutz MWM RBV 6M358, Velocidad vs Revoluciones	14
Figura 3-3 Motor Deutz MWM RBV 6M358, Potencia vs revoluciones	14
Figura 3-4 Motor Diésel [3]	15
Figura 3-5 Generador diésel [3]	16
Figura 3-6 Motor eléctrico	16
Figura 3-7 Inversor de corriente	18
Figura 3-8 Distancia por trayecto	20
Figura 3-9 Consumo por trayecto	20
Figura 3-10 Densidad energética de diferentes materiales	22
Figura 3-11 Ragone Plot	22
Figura 3-12 Densidad energética de baterías	23
Figura 3-13 Potencia de baterías	23
Figura 3-14 Batería LIFEP04 [12]	24
Figura 3-15 Necesidades energéticas por tramo	27
Figura 3-16 Potencia solar (Recuperado de www.ez2c.de)	29
Figura 3-17 Radiación trayecto Oslo Marín	29
Figura 3-18 Diagrama NREL (Recuperado de www.solarplaza.com)	30
Figura 3-19 Necesidades energéticas por tramo	32
Figura 3-20 Instalación eléctrica	33
Figura 4-1 Autonomía nueva instalación	36
Figura 4-2 Precio del Watio fotovoltaico	41
Figura 4-3 Amortización	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Ventajas propulsiones combinadas	11
Tabla 3-1 Características motor eléctrico.....	17
Tabla 3-2 Características inversor	18
Tabla 3-3 Características batería [12]	24
Tabla 3-4 Volumen para baterías [13].....	26
Tabla 3-5 Superficie disponible	31
Tabla 4-1 Peso instalación diésel	37
Tabla 4-2 Mantenimientos motor principal	37
Tabla 4-3 Mantenimiento generadores diésel.....	37
Tabla 4-4 Costes instalación diésel	38
Tabla 4-5 Peso instalación eléctrica	38
Tabla 4-6 Coste fijo	39
Tabla 4-7 Variación de peso con renovables.....	40
Tabla 4-8 Coste fijo con renovables	41

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Justificación

El buque escuela Juan Sebastián Elcano es un bergantín-goleta cuya función principal radica en hacer un viaje de instrucción para los futuros oficiales de la Armada, los Guardias Marinas. Para ello realiza todos los años un crucero de instrucción de aproximadamente seis meses por diversos países del mundo. El objetivo del crucero es contribuir a la formación marinera, militar, social y humana de los Guardias Marinas, así como mostrar su presencia en países y puertos extranjeros para contribuir de forma notable a la política exterior de España.

El buque Juan Sebastián Elcano fue botado a la mar el 5 de marzo de 1927 y desde ese momento ha realizado 85 cruceros de instrucción recorriendo más de un millón y medio de millas náuticas por todos los mares del mundo y recalando en los puertos más importantes.

El buque cuenta para la propulsión con 20 velas que hacen una superficie total de $3151m^2$. Además de esta forma de propulsión cuenta con un motor diésel de 2070 CV, para cuando las condiciones meteorológicas o la necesidad de cumplir con unas fechas concretas de entrada en puerto impiden la navegación exclusiva a vela. Este motor le proporciona una autonomía a 6 nudos de diez mil quinientas millas náuticas.

Hoy en día la tecnología avanza en la dirección de la eficiencia energética y la protección medioambiental. Esto es debido al crecimiento exponencial del consumo energético y al agotamiento de los recursos fósiles. Si se quiere seguir con el mismo nivel de consumo energético, es necesario cambiar las fuentes actuales de energía para que se pueda abarcar el crecimiento exponencial, que se generará por el aumento de la población y el boom de algunos países en vías de desarrollo.

En este marco tecnológico no tiene cabida la propulsión diésel ya que es muy ineficiente, además de ser dependiente de los recursos fósiles. El camino que se va a seguir en la propulsión marina radica principalmente en la energía eléctrica. Esta forma de energía tiene unas ventajas ampliamente demostradas, no solo desde el punto de vista de la eficiencia energética sino que permite la libertad de ubicación de las fuentes generadoras de energía, mejora del confort por la ausencia de ruidos y vibraciones y la importante reducción de mantenimientos.

Actualmente ya se está implantando la propulsión eléctrica, aunque no de forma autónoma, aún se necesita de otras fuentes de energía como apoyo a esta o para la generación de energía. Esto es debido

a que las formas de almacenamiento de energía eléctrica y los captadores aún están en proceso de investigación y desarrollo.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo radica principalmente en hacer una aproximación de la posibilidad de la electrificación completa del buque escuela Juan Sebastián Elcano. Este proyecto no pertenece a la rama de ingeniería eléctrica, por lo que no se profundiza en la instalación eléctrica. Únicamente se estudia y calcula la posibilidad de cumplir los requisitos del buque durante un crucero de instrucción, tanto a nivel de la propulsión como de los equipos auxiliares. Se tomará como ejemplo de crucero para los cálculos el del año 2014, ya que es del que se disponen mayores datos.

Para ello se busca sustituir el motor diésel de propulsión por un motor eléctrico que cumpla con los mismos requisitos que se le exige al diésel, es decir autonomía y potencia. Se suprimen los tres diésel generadores que alimentaban a los equipos auxiliares y se dimensiona un grupo de baterías para abastecer tanto al motor eléctrico para la propulsión como a los equipos auxiliares. Además se estudia la posibilidad de la instalación de captadores de energías renovables, como apoyo al grupo de baterías. Por último se estudian los resultados a los que se ha llegado, se comparan las opciones desde diferentes puntos de vista y se decide por la mejor opción.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Introducción

En este capítulo se hará un breve repaso por la historia de la propulsión naval, reflejando las formas de propulsión que han tenido relevancia en la historia. Además se pondrán ejemplos de las nuevas tecnologías de propulsión, para ver qué camino está siguiendo la propulsión en la actualidad.

2.2 Historia de la propulsión naval

2.2.1 Propulsión a remo

La propulsión a remo (Figura 2-1) se remonta a la edad de piedra, en la cual el hombre hizo su primera navegación sobre un tronco, impulsándose con los brazos. Poco después empezó a utilizar unos pequeños remos que fueron mejorándose con el tiempo. Esta forma de propulsión permaneció durante muchos años, y aunque combinada con otros medios fue usada por los egipcios, vikingos... hasta las galeras del siglo XVIII. En la actualidad su uso queda restringido en embarcaciones pequeñas para competiciones deportivas.



Figura 2-1 Canoa (Recuperado de www.salonhogar.net)

2.2.2 Propulsión a vela

Se desconoce con total precisión cuándo apareció la vela como medio de propulsión. La idea más extendida señala a los egipcios como los responsables, los cuáles utilizaban esta forma de propulsión para satisfacer los caprichos de Cleopatra de navegar por el Nilo. En un principio solo permitía navegar en la dirección del viento, pero la evolución de las formas de estas velas permitió navegar en su contra. Esta tecnología permaneció en el tiempo hasta la actualidad, aunque perdió importancia debido a la aparición de otras formas de propulsión. En la actualidad está relegada a embarcaciones de recreo, competiciones deportivas y buques escuela (Figura 2-2).



Figura 2-2 Vela (Recuperado de www.elmundo.es)

2.2.3 Propulsión a vapor

Tiene su inicio en el siglo XVIII, su implantación en los buques fue lenta debido a la vulnerabilidad de las ruedas de paletas y al alto consumo de carbón. Poco a poco fue ganando importancia gracias a la aparición de la hélice y a la mejora de los rendimientos de estos motores que podían ser de émbolo o turbinas. El vapor (Figura 2-3) tuvo su auge en el siglo XIX generando un gran impulso en la construcción naval, aunque no duró muchos años y fue perdiendo importancia hasta su completa desaparición.

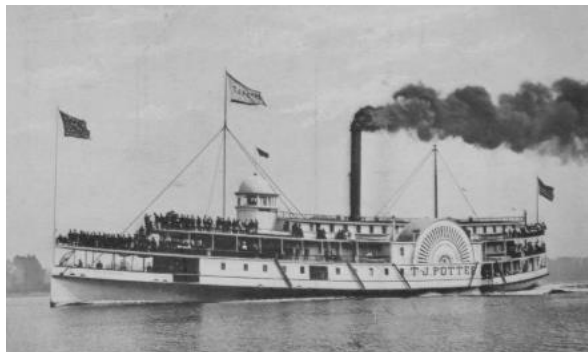


Figura 2-3 Vapor (Recuperado de www.zazzle.es)

2.2.4 Propulsión diésel

Aunque el motor diésel (Figura 2-4) data de finales del siglo XIX, no se empleó en aplicaciones navales hasta comienzos del siglo XX. Al principio se implantó en los submarinos y no fue hasta después de la segunda guerra mundial cuando se empezaron a utilizar en buques de superficie. Actualmente es la más utilizada en la marina mercante gracias a su consumo económico en velocidades de crucero. Aunque en aplicaciones donde se demande gran potencia como en la marina de guerra no está muy extendido su uso como único medio de propulsión.



Figura 2-4 Motor diésel (Recuperado de www.mauticexpo.es)

2.2.5 Propulsión por turbina de gas

Aunque su patente de la turbina de gas (Figura 2-5) es anterior, no fue hasta el siglo XX cuando se convirtió en una opción real tanto para propulsión naval como aeronáutica. Gracias a que es una tecnología compacta y ligera le permitió ganar un hueco en el mercado de la propulsión naval, donde se estaba asentando la propulsión diésel. Esta tecnología permanece actualmente, aparte de las ventajas anteriores, porque genera una potencia muy elevada. Aunque su rendimiento a máxima carga es superior al diésel, tiene el inconveniente que baja mucho su rendimiento cuando trabaja a menos carga. Este problema se soluciona en la actualidad con sistemas de propulsión combinados.

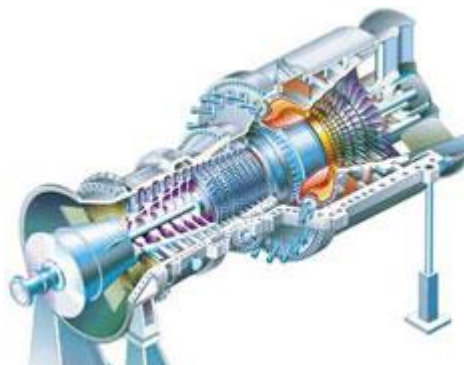


Figura 2-5 Turbina de gas (Recuperado de www.ambientum.com)

2.3 La propulsión en la actualidad

Hoy en día conviven muchas formas de propulsión debido al amplio rango de aplicaciones. Las más extendidas son la propulsión diésel, gas, nuclear y eléctrica. En muchos casos se combinan para aprovechar las ventajas de cada una de ellas.

La propulsión diésel es muy utilizada, debido a que es una tecnología madura. Se usa principalmente para velocidades de crucero, debido al ahorro de consumo. En la marina civil está totalmente implantada sobre todo para aplicaciones de transporte, ya que es la que genera un menor coste por unidad de carga transportada.

La propulsión mediante turbina de gas también es una tecnología madura, se utiliza en aplicaciones que requieren mucha potencia, como en buques militares. Su coste es elevado cuando trabaja con menos potencia, ya que baja considerablemente el rendimiento. Tiene las ventajas de que es muy fiable y apenas necesita mantenimientos.

La propulsión nuclear presenta unas ventajas de autonomía y potencia muy superiores a los otros tipos de propulsión, pero no se extendió demasiado en el mercado. En unos casos por motivos culturales, dónde asocian la energía nuclear a inseguridad y contaminación, y en otros casos por motivo económico. La implantación en mercantes fue un completo desastre, no se llegaba a rentabilizar la gran inversión inicial. Fue en buques militares y sobre todo en submarinos, dónde se demostró su utilidad.

Por otra parte la tecnología avanza en el camino de la eficiencia energética y la protección medioambiental. En este contexto está ganando la partida la propulsión eléctrica debido a su elevada eficiencia, ausencia de contaminantes y ruidos. Actualmente la tecnología no está suficientemente desarrollada para que este tipo de energía se pueda usar de forma autónoma, sin necesidad de utilizar otras formas de generación de energía. La propulsión eléctrica comenzó en submarinos debido a su funcionamiento en ausencia de aire y por su funcionamiento silencioso. Pero poco a poco se está implantando en el resto de aplicaciones, tanto civiles como militares.

Actualmente la propulsión eléctrica se alimenta mediante generadores que pueden ser diésel o turbinas de gas, mejorando la eficiencia de la instalación sobre la propulsión directamente diésel o turbina de gas. Aunque sea necesario tres transformaciones de energía: química (diésel) en mecánica mediante un motor de combustión interna, luego mecánica en eléctrica mediante un alternador y por último eléctrica en mecánica a través de un motor eléctrico, sigue siendo más eficiente porque los rendimientos de los motores eléctricos son muy elevados.

2.3.1 Propulsión combinada

Los diferentes tipos de propulsión que hay en la actualidad se combinan de diversas formas (Tabla 2-1), para conseguir la propulsión más adecuada para cada aplicación. Entre las formas combinadas de propulsión destacan:

- **Combined Diesel and Diesel (CODAD):** Se puede utilizar indistintamente un motor diésel o los dos, con la funcionalidad que se puede ajustar la carga de trabajo de dichos motores. A mayor carga de trabajo mejor será el rendimiento. Normalmente los dos motores tienen la misma potencia, pero pueden ser de potencias diferentes para ajustar mejor la carga de trabajo.
- **Combined Gas and Gas (COGAG):** Se pueden utilizar indistintamente las dos turbinas. Las ventajas de este sistema están relacionadas con la mayor eficiencia de las turbinas cuándo trabaja a mayor carga. En este sistema de propulsión, igual que en el anterior, se pueden utilizar turbinas de diferente potencia.

- **Combined Diesel or Gas (CODOG):** Se puede utilizar el motor diésel o la turbina de gas pero nunca simultáneo. Esto permite trabajar en dos rangos de velocidades; con la turbina para velocidades altas y con el motor diésel para velocidades de crucero. Supone una mejora importante del rendimiento y por consiguiente un ahorro del consumo, ya que cada equipo se utiliza para los rangos de potencia dónde es más eficiente.
- **Combined Diesel electric and Gas (CODLAG):** Es una variación del Sistema CODAG, que le permite el uso de motores eléctricos para aplicaciones menos exigentes de potencia. Esto lo hace muy silencioso, ideal para submarinos o buques de superficie de guerra anti-submarina.

MODO	VENTAJAS
CODAD	Eficiente para velocidades de crucero
COGAG	Eficiente para altas velocidades
CODOG	Dos rangos de velocidades: alto y bajo
CODLAG	Silencioso y eficiente

Tabla 2-1 Ventajas propulsiones combinadas

2.3.2 Propulsión magnetohidrodinámica

Aunque el primer prototipo (Figura 2-6) apareció en la segunda mitad del siglo XX, no está suficientemente desarrollado. Su funcionamiento consiste en dotar al fluido propelente con carga eléctrica y posteriormente acelerarlo mediante un campo magnético. Este sistema propulsivo tiene las ventajas de disminución del mantenimiento, debido a que no tiene elementos móviles. Actualmente la tecnología no le permite competir en el mercado, porque es muy caro y más lento que la propulsión tradicional.



Figura 2-6 Yamato 1 [1]

2.3.3 Propulsión eléctrica autónoma

Hay que decir que existen ejemplos en la actualidad donde no se requiere otra energía aparte de la eléctrica para las necesidades de los buques. Hay que resaltar el ferry eléctrico con cero emisiones “ZeroCat 120” (Figura 2-7), el cual entró en vigor el 1 de enero de 2015. Se trata de un ferry de 80 metros de eslora que puede transportar 120 coches y 360 pasajeros. Posee dos grupos de baterías que alimentan a dos motores eléctricos, esto le permite al ferry cubrir una ruta de 5,7 Kilómetros a 10 nudos. Todo parece indicar que el futuro de la propulsión seguirá este camino, actualmente existe una gran diversidad de motores eléctricos que cubren casi todas las necesidades del mercado. El factor crítico es el almacenamiento de energía, el cuál no está desarrollado suficiente para cumplir unas necesidades apropiadas de autonomía.



Figura 2-7 Ferry ZeroCat [2]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Introducción

En este capítulo se describió pormenorizado los pasos a seguir para el diseño de la planta eléctrica para propulsión del Juan Sebastián Elcano. Además el dimensionamiento de las baterías para cumplir las condiciones de potencia y autonomía. Por último se estima que cantidad del déficit energético se puede asumir con las energías renovables.

3.2 Esquema eléctrico

En este apartado se representa la instalación eléctrica que se pretende diseñar. Simplemente se tuvo en cuenta los equipos principales como las baterías, inversor de corriente, motor eléctrico y cuadro de corriente que alimenta a los equipos auxiliares. En los apartados posteriores se incidió en cada elemento para su correcto diseño.

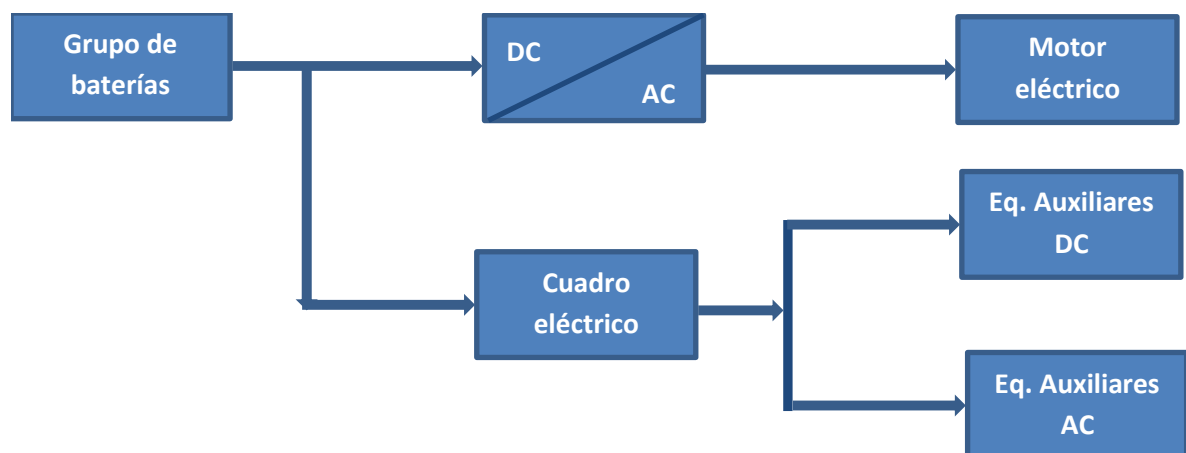


Figura 3-1 Esquema instalación eléctrica

En el diseño de la instalación eléctrica hay que tener en cuenta las tensiones y potencias de los diferentes equipos. Es decir, el grupo de baterías tienen que tener una tensión equivalente al rango de tensiones de entrada del inversor. El inversor a su vez tiene que tener la misma tensión y potencia de

salida que la requerida en los bornes del motor eléctrico. El cuadro eléctrico no se analizará en profundidad, pero tiene que incluir al menos un inversor de corriente y un transformador de tensión, ya que los equipos auxiliares son muy variables en cuanto a tensión y tipo de corriente.

3.3 Motor diésel para propulsión

El buque Juan Sebastián Elcano tiene un motor para propulsión “DEUTZ” MWM, tipo RBV 6M 358 reversible (Figura 3-4). Es un diésel lento de 40 toneladas de peso y 2070 CV, sobrealimentado de 4 tiempos formado por 6 cilindros en línea [3]. Se pueden ver sus especificaciones técnicas en la Figura 3-2 y Figura 3-3. En la Figura 3-2 se ha utilizado el nudo (KN) como unidad de velocidad, cuya definición es la cantidad de millas náuticas que se recorre en una hora. Su equivalencia es $1,852 \text{ km/h}$.

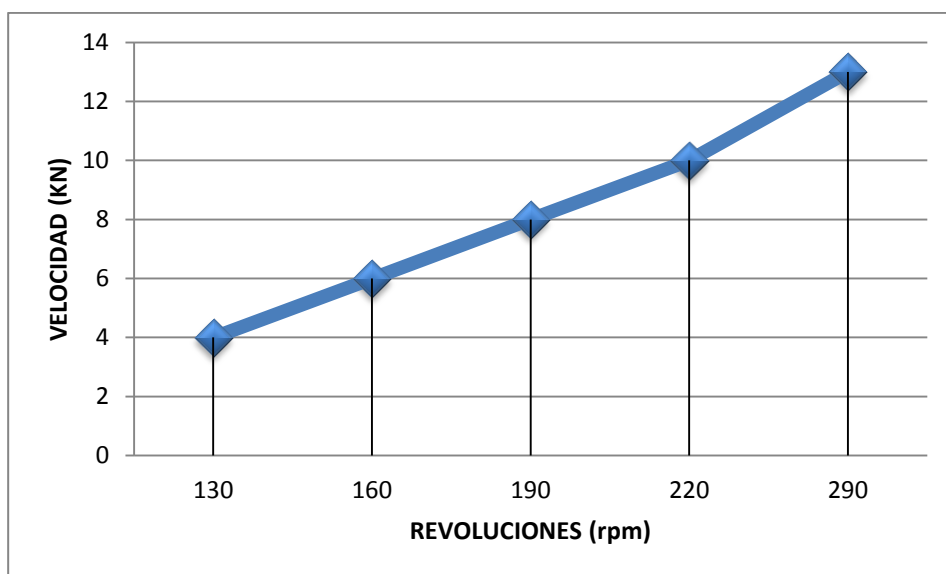


Figura 3-2 Motor Deutz MWM RBV 6M358, Velocidad vs Revoluciones

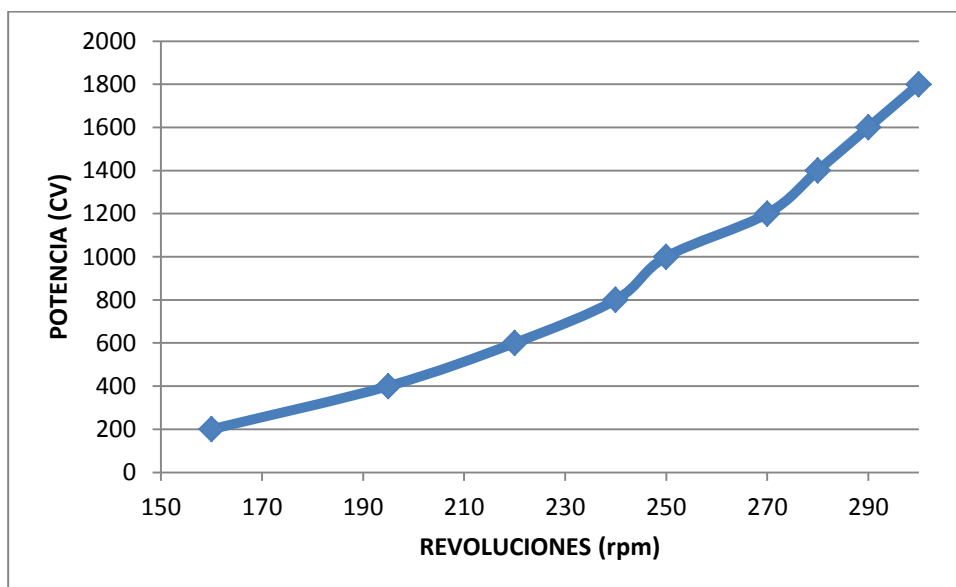


Figura 3-3 Motor Deutz MWM RBV 6M358, Potencia vs revoluciones

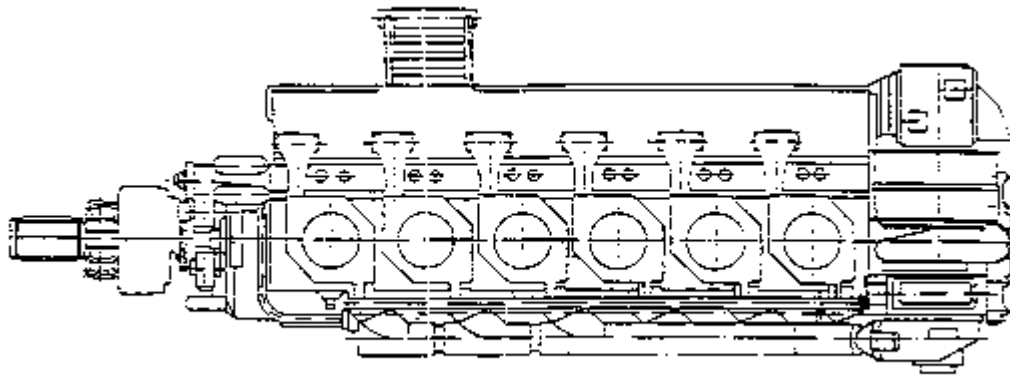


Figura 3-4 Motor Diésel [3]

Dentro de las diferentes especificaciones técnicas del motor diésel, la única que fue necesario considerar para su sustitución por un motor eléctrico es la potencia, porque es la única que se mantiene constante. En cambio el par se puede variar poniendo una reductora antes de la hélice, lo que haría variar las revoluciones de la hélice [4].

$$Potencia = Par * RPM \quad (1)$$

Dicho esto se calcula la potencia eléctrica necesaria que cumpla las especificaciones de potencia máxima de la propulsión. De acuerdo con la equivalencia de $1kW = 1,36CV$ [5] y considerando la potencia máxima del motor diésel.

$$P_{eléctrica} = 2070CV * \frac{1kW}{1,36CV} = 1522kW \quad (2)$$

3.4 Generadores diésel

Cuenta con tres motores auxiliares diésel (Figura 3-5), que arrastran tres alternadores trifásicos marinos y generan una potencia máxima total de 960 kW [3]. Este grupo electrógeno genera la corriente para alimentar a todos los equipos del buque. En situación normal se navega con dos generadores en funcionamiento a mitad de carga. Por lo que dichos generadores están sobredimensionados en proporción a la demanda del buque. Esto es debido a la necesidad de dar descanso a un generador para mantenimientos o para evitar un blackout (que se quede el buque sin corriente) en caso de fallo, ya que los diésel generadores tienen que estar permanentemente en funcionamiento.

La instalación que se diseñó busca que la función de estos generadores diésel sea cubierta por un grupo de baterías. Este grupo de baterías no tiene la necesidad de estar sobredimensionado por motivos de mantenimiento o seguridad, ya que si existe la necesidad se podría desconectar algunas baterías. Aun así se tomará la potencia máxima de los generadores diésel para diseñar el grupo de baterías, porque no se tiene la posibilidad de conocer la potencia exacta que demandan los equipos auxiliares a cada momento.

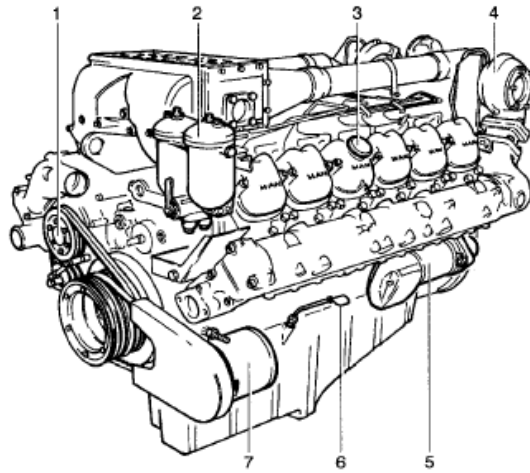


Figura 3-5 Generador diésel [3]

3.5 Motor eléctrico para propulsión

Se necesita un motor eléctrico que tenga una potencia aproximada de 1522kW (2) para que Elcano mantenga al menos las mismas funcionalidades (velocidad). La tensión es importante porque a mayor tensión, menores son las dimensiones de dicho motor y menores las pérdidas. Pero la tensión no es de vital importancia porque el diseño de los grupos de baterías y la elección del inversor se hicieron a posteriori, y se pueden adaptar al motor seleccionado. Las revoluciones a las que tiene que girar la hélice son las mismas que aparecen en la Figura 3-2, pero intentar buscar un motor eléctrico que trabaje a tan pocas vueltas resultaría un modelo muy voluminoso. Por este motivo se considera el empleo de una reductora que adaptaría la velocidad de giro del motor a la requerida para la hélice.

3.5.1 Motor seleccionado

En un primer momento se buscó por un motor de corriente continua, según el criterio de sencillez de la instalación, ya que al ser alimentado por baterías no sería necesario el uso de un inversor. Esta opción se descartó, porque este tipo de motores son más voluminosos, mucho más caros y además aún no se abrieron paso en el mundo naval para corroborar sus especificaciones en este campo. Finalmente se decanta la balanza por los motores de inducción, los cuales están ampliamente extendidos en el uso naval, son más compactos y económicamente más viables. Después de buscar por el mercado se ha considerado que el motor que mejor cumple las especificaciones requeridas es un motor trifásico, de corriente alterna, de inducción y de jaula de ardilla. Ver anexo 1.



Figura 3-6 Motor eléctrico

AC Induction Machine	
Modelo	AMI 450L4L BAFMH
Potencia (kW)	1500
Revoluciones (rpm)	1500
Frecuencia (Hz)	50
Tensión (V)	690
Rendimiento (%)	96,3
Par motor (Torque) (Nm)	9549
Peso (kg)	4410
Precio (€)	90000

Tabla 3-1 Características motor eléctrico

Como muestra la Tabla 3-1, este motor cumple los requisitos de potencia demandados. Aunque debemos tener en cuenta la necesidad del uso de una reductora debido a las altas revoluciones de dicho motor. Por otro lado trabaja en la frecuencia Europea, pero por la necesidad de estancia en puertos americanos se requiere un adaptador de frecuencia. Además, la tensión se tendrá en cuenta a la hora de seleccionar el inversor de corriente. Con este motor tendríamos un ahorro de peso de casi 36 toneladas solo teniendo en cuenta la sustitución del motor.

3.6 Inversor de corriente

La función del inversor de corriente (Figura 3-7) es transformar la corriente continua procedente de las baterías a corriente alterna. Iría situado entre el grupo de baterías y el motor eléctrico como se ve en la Figura 3-1. Su función es vital en la instalación, ya que se ha seleccionado un motor eléctrico de corriente alterna. Sin este equipo, el motor no funcionaría.

3.6.1 Inversor seleccionado

Para elegir el inversor de corriente adecuado, es fundamental considerar las características del motor eléctrico (Tabla 3-1), así podrán conectarse entre ellos sin la necesidad de otros equipos complementarios. Las características que realmente importan son la potencia y tensión en bornes del motor eléctrico, estas características tienen que coincidir con las características de salida del inversor. Finalmente se ha escogido el de la empresa ABB con las características de la Tabla 3-2. Ver anexo 2.



Figura 3-7 Inversor de corriente

ABB CENTRAL INVERTER	
Modelo	ULTRA-1500-TL-OUTD-X-US-690
Potencia de salida (kW)	1500
Tensión de entrada (Vdc)	470-900
Tensión de salida (Vac)	690
Eficiencia(%)	98
Precio (€)	274600

Tabla 3-2 Características inversor

La empresa ABB no ha podido facilitar el coste del inversor, por lo que se ha tomado una lista de precio de inversores [6]. Esta lista no tiene inversores de tanta potencia como el aquí requerido, pero se ha estimado su precio, se sacó la relación del coste de kW de los inversores de sus mismas características.

3.7 Balance de energía

Una vez seleccionado el motor eléctrico se tiene que dimensionar la alimentación de dicho motor. Esta alimentación se hará con un grupo de baterías que más adelante se diseñará. En este apartado se pretende estimar las necesidades energéticas de la nueva instalación para que cumpla los requisitos de potencia de pico y autonomía. Pero esta instalación no solo tiene en cuenta la propulsión, sino también los equipos auxiliares.

3.7.1 Potencia de pico

Para que la nueva instalación cumpla siempre con la demanda del buque, se dimensionará la potencia máxima para cuando la propulsión y los equipos auxiliares trabajen a su máxima capacidad de carga. Es decir, que el motor eléctrico para propulsión pida 1500 kW y los equipos auxiliares 960 kW.

$$Potencia\ máxima = Pot_{propulsión} + Pot_{auxiliares} = 1500kW + 960kW = 2460kW \quad (3)$$

Hay que conseguir dicha potencia con un grupo de baterías. El grupo de baterías se diseñó para una tensión de 900V, esto es debido a que el grupo de baterías está conectado directamente con el inversor, y la tensión en bornes del grupo de baterías tiene que coincidir con el rango de tensiones del inversor. Aunque el inversor tiene un rango amplio de tensión (470-900V), se seleccionó la tensión más alta para aumentar la eficiencia, ya que a mayor tensión menores pérdidas. Entonces solo se puede jugar con la intensidad para que cumpla los requisitos de potencia de pico.

$$Pot = V * I \rightarrow I = \frac{Pot}{V} = \frac{2460kW}{900V} = 2,73 * 10^3 A \quad (4)$$

Esta intensidad calculada es la mínima que necesita el grupo de baterías para satisfacer la máxima demanda de potencia del buque. Este dato se tuvo en cuenta en el diseño del grupo de baterías.

3.7.2 Autonomía

Este es el punto crítico del proyecto porque el buque Juan Sebastián Elcano navega durante largos periodos sin entrar en puerto, además tiene unas necesidades de calendario que le obligan a navegar con el motor propulsor para cumplir dichas necesidades. Estas necesidades energéticas se miden con el combustible diésel que utiliza el buque, ya que es junto con el viento la única fuente para generar energía que tiene.

La autonomía actual del buque es de 10500 millas náuticas a una velocidad de 6 nudos. Pero al igual que el buque se aprovisiona de diésel en algún puerto, asumimos que la nueva instalación podrá ser recargada en cada puerto. Esto nos permite dimensionar la energía que consume el buque para cumplir las necesidades de los trayectos entre puertos. Para dimensionar la energía necesaria para cumplir la autonomía se toman los datos del crucero del año 2014 (anexo IV).

Como los trayectos no son iguales ni en duración ni en distancia, en un primer momento se pensó que dimensionando el mayor trayecto es suficiente para cumplir las necesidades de todos los trayectos. Pero como se muestra en la Figura 3-8 y Figura 3-9 no es cierto. El trayecto más largo en distancia que es entre Cabo Verde y Cartagena de Indias, resulta que es el cuarto con mayor consumo de diésel. La razón es que como se muestra en la Figura 3-9, apenas gasta combustible para la propulsión, haciendo casi la totalidad del trayecto a vela.

Finalmente se decidió dimensionar la autonomía para el tránsito dónde más combustible se consumió, asumiendo que si se cumple la autonomía de este tránsito se cumplirá la autonomía de todo el crucero. Como se muestra en dicha gráfica el trayecto de mayor consumo fue entre Oslo y Marín, que curiosamente es el cuarto mayor en distancia.

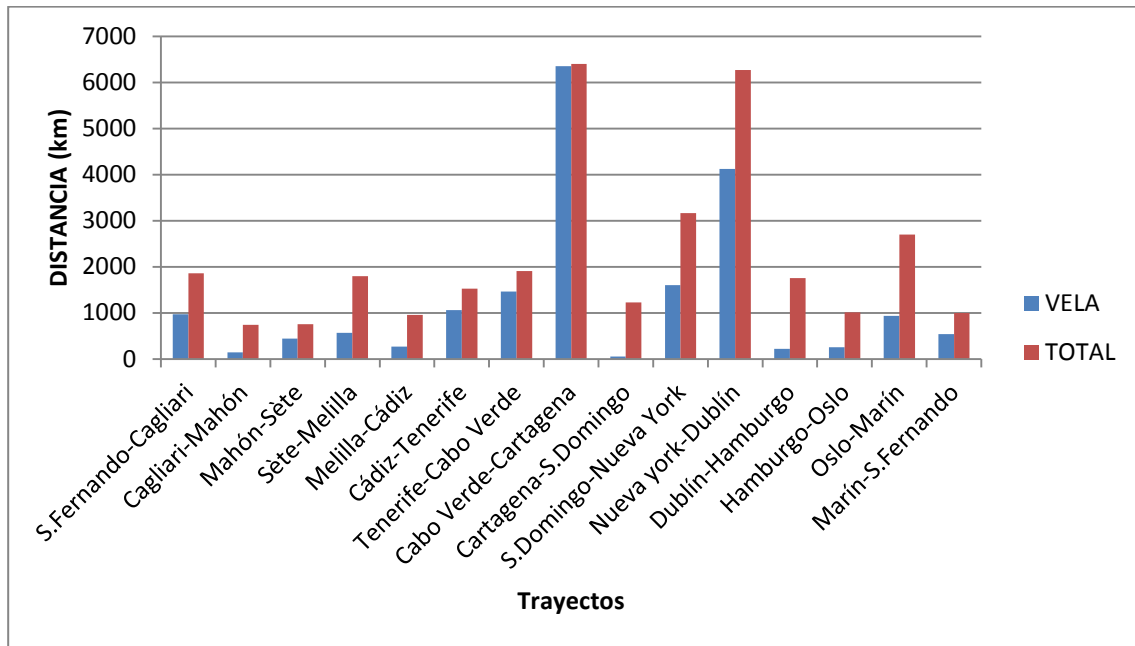


Figura 3-8 Distancia por trayecto

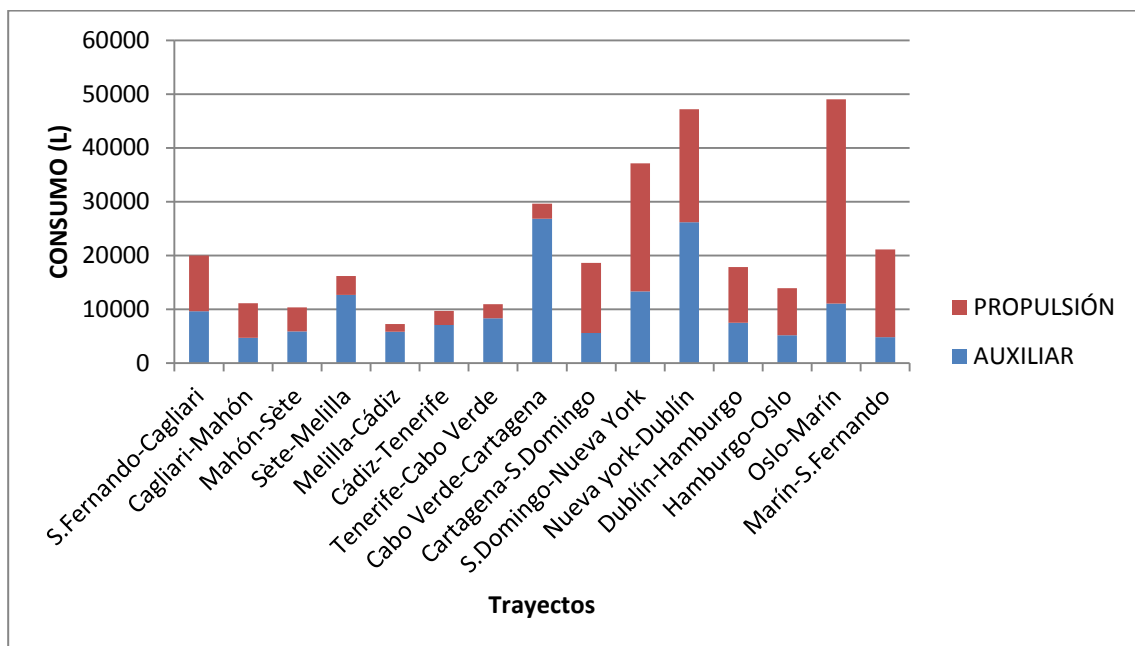


Figura 3-9 Consumo por trayecto

Como se ha dicho se tomó el trayecto Oslo-Marín como el trayecto crítico, ya que si la instalación que se dimensionó cumple los requerimientos energéticos de este tramo, podemos afirmar que cumpliría cualquiera de los otros tramos. En dicho trayecto se consumen 49000l de diésel, de los cuales son 37965l para propulsión y 11035l para los auxiliares.

Para la correcta realización del balance de energía es necesario conocer los rendimientos tanto del motor diésel de propulsión como de los diésel generadores. Debido a la imposibilidad de conocer el valor exacto de estos rendimientos se tendrán que suponer. Como norma general los motores diésel marinos tienen bajos rendimientos, se estima que el rendimiento del motor propulsor es del 35% y de los motores diésel generadores es del 45% [7] y [8]. La razón por la que se estima que el diésel generador tiene mayor eficiencia es porque trabaja a revoluciones constantes.

Por otro lado hay que tener en cuenta que de la energía de las baterías, una parte irá destinada al motor eléctrico para propulsión y otra parte para los equipos auxiliares. El motor eléctrico y el inversor tienen un rendimiento que se tuvo en cuenta, pero de la parte de energía destinada a los equipos auxiliares no se supuso ninguna pérdida de eficiencia. Es cierto que la corriente antes de llegar a los equipos auxiliares tendrá que pasar por algún cuadro eléctrico, pero no se tuvo en cuenta ya que queda fuera de este trabajo.

Se calculó el porcentaje de energía que se emplea para el motor y cuál para los auxiliares, a partir de los datos de la Figura 3-9. Se supone que la nueva instalación empleará la misma relación de consumo entre propulsión y auxiliares que la existente.

Porcentaje motor = 0,775

Porcentaje auxiliares = 0,225

Poder Calórico (diésel)=35,86MJ/l [9]

En este balance de energía se iguala por un lado la energía que consumen los equipos actuales del buque, y por otro la energía que consumirían las baterías en la nueva instalación. El objetivo es calcular la energía que tendrían que proporcionar las baterías en la nueva instalación.

$$E_{propulsión} = 37965l * 35,86 * 10^6 \frac{J}{l} = 1,36 * 10^{12}J$$

$$E_{auxiliares} = 11035l * 35,86 * 10^6 \frac{J}{l} = 0,39 * 10^{12}J$$

$$E_{propulsión} * \eta_{propulsión} + E_{auxiliares} * \eta_{auxiliar} =$$

$$= \%_{motor} * E_{baterías} * \eta_{motor\ eléctrico} * \eta_{inversor} + \%_{auxiliar} * E_{baterías} \quad (5)$$

$$1,36 * 10^{12}J * 0.35 + 0.39 * 10^{12}J * 0.45 = E_{baterías} * (0.775 * 0.963 * 0.98 + 0.225)$$

$$E_{baterías} = \frac{0.65 * 10^{12}J}{0,971} = 0,68 * 10^{12}J$$

Después de hacer los cálculos se puede ver que la energía que necesitarían aportar las baterías es menos de la mitad de la que se emplea actualmente por medio del diésel. La razón de esta drástica reducción son los rendimientos, ya que los motores de combustión interna tienen unos rendimientos muy bajos en comparación con los motores eléctricos actuales.

3.8 Baterías

En este apartado se buscó el tipo de batería que mejor se adapta a nuestras necesidades de forma razonada. Además se diseñó el grupo de baterías según las necesidades de potencia y autonomía.

Uno de los objetivos de nuestro proyecto es dimensionar una fuente de energía que cumpla los requisitos de potencia y autonomía marcados. Actualmente la tecnología de las baterías no las hace las más adecuadas ni en densidad energética ni en densidad de potencia como se puede ver en la Figura 3-10, pero la evolución lógica de la tecnología hace pensar que serán las baterías la fuente de energía del futuro. Esto es debido a su fiabilidad, seguridad y por ser una energía limpia con cero emisiones a la atmósfera.

Esta gráfica está representada en escala logarítmica el eje de ordenadas, por lo que se puede ver la superioridad energética de la fisión nuclear. También se aprecia una importante diferencia entre la

densidad energética del diésel con respecto a las baterías, esto hace pensar que no será fácil el dimensionamiento de la instalación requerida.

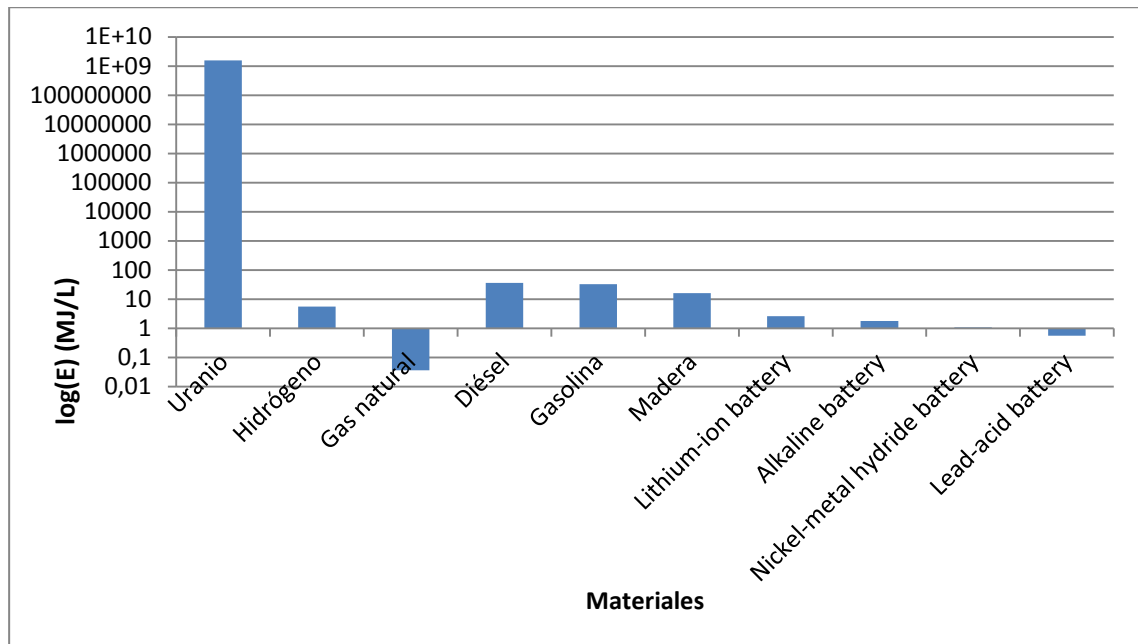


Figura 3-10 Densidad energética de diferentes materiales

Por otra parte podemos reafirmar lo que ya se ha dicho, con el diagrama llamado “Ragone Plot” (Figura 3-11) [10]. Se trata de una gráfica que representa varios métodos de almacenamiento de energía, trabaja con escalas logarítmicas en ambos ejes. El eje horizontal muestra cuanta energía está disponible, mientras el eje vertical muestra como de rápido esa energía puede ser liberada, lo que se conoce como potencia.

En el “Ragone Plot” podemos ver que existen tecnologías que superan ampliamente a las baterías en alguna característica como son los súper condensadores, que tienen una potencia mucho más alta. Pero el problema es que la aplicación que se intenta dimensionar en nuestro trabajo, no solo requiere potencia sino mantener una potencia durante mucho tiempo. Para estos requisitos se adapta mucho mejor las baterías que tienen unas características intermedias de energía y potencia.

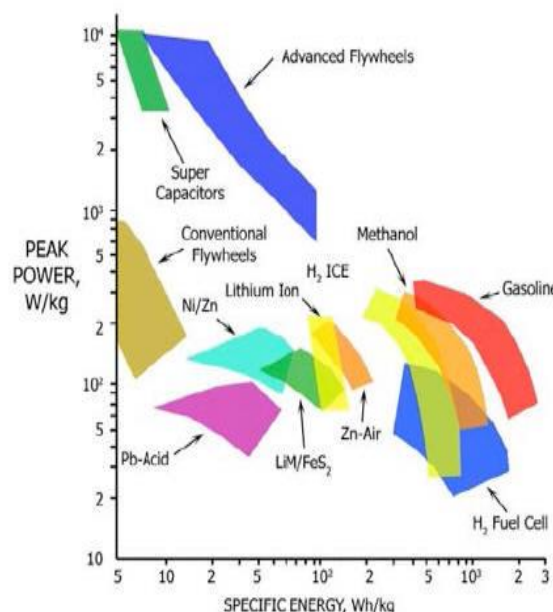


Figura 3-11 Ragone Plot

3.8.1 Elección de las baterías

Llegado a este punto se analizaron los tipos de baterías recargables que hay en el mercado, desde el punto de vista de la densidad energética y de la potencia. El factor crítico del trabajo consistió en el espacio disponible para esta instalación, por lo que el factor de densidad energética fue de vital importancia para la elección.

Se representan los tipos de baterías en un diagrama de columnas (Figura 3-12 y Figura 3-13) para poder comparar sus características.

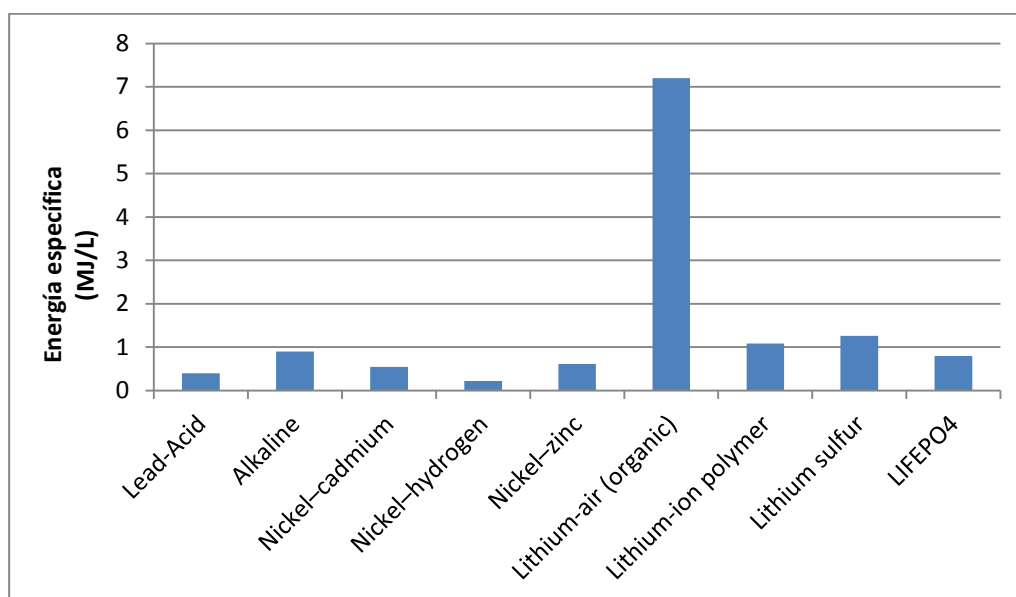


Figura 3-12 Densidad energética de baterías

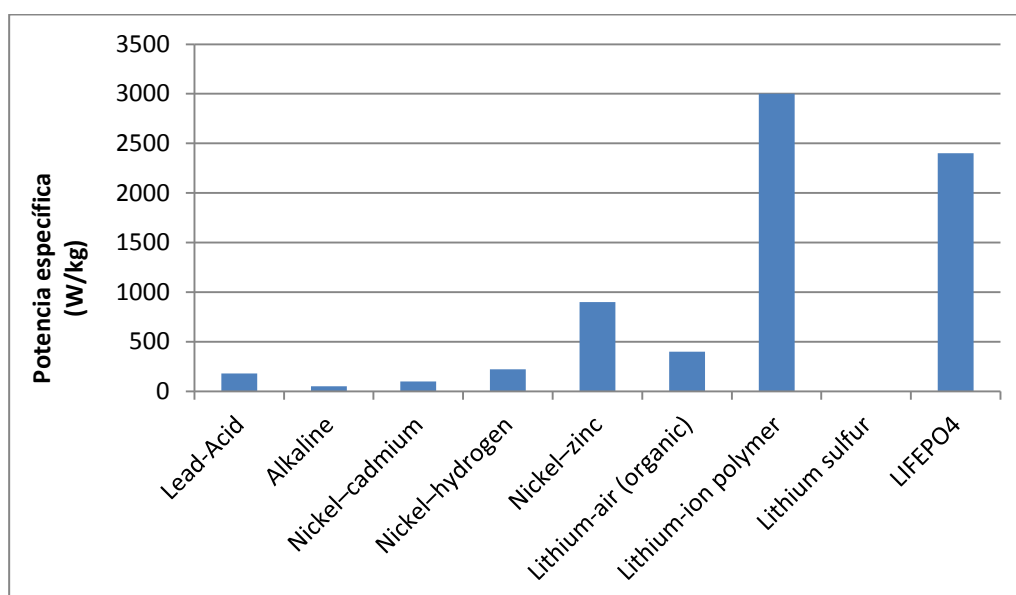


Figura 3-13 Potencia de baterías

En estos gráficos se aprecia que las baterías de Litio-aire tienen una superioridad sobre las demás según el criterio de la densidad energética. A pesar de esta superioridad, no se tendrán en cuenta para nuestro proyecto ya que las baterías recargables de este tipo están aún desarrollándose y no se comercializan.

Finalmente se tomó la decisión de escoger las baterías LiFePO_4 , aunque no son las de mayor densidad energética ni las de mayor potencia. Estas baterías tienen unas características medias aceptables, además son muy seguras en cualquier ambiente, son las que tienen mayor tiempo de vida, mantienen la potencia hasta su completa descarga, tienen unas pérdidas mínimas cuando no se usan y está ampliamente demostrada sus características, ya que se usan en el emergente mundo de los coches híbridos [11].

3.8.2 Batería SINOPOLY LIFEP04

Una vez tomada la decisión del tipo de batería se buscó en el mercado la mejor opción y se decidió por la empresa 3xE-electric cars, que ofrece este tipo de baterías (Figura 3-14). Ver anexo 3.

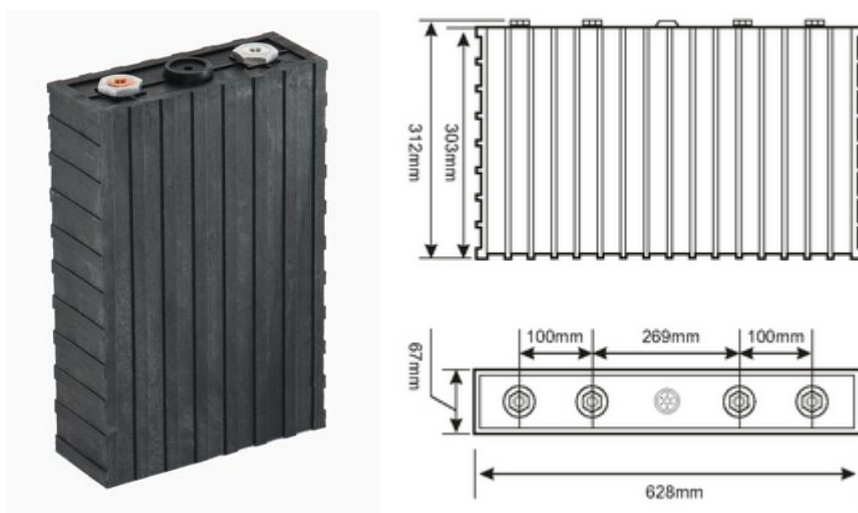


Figura 3-14 Batería LIFEP04 [12]

SINOPOLY LIFEP04 LITHIUM BATTERY		
Capacidad (A.h)	700	
Voltaje Nominal (V)	3,2	
Peso (kg)	21,9	
Precio (\$)(€)	(770) (680,5)	
Volumen (m^3)	0.013127	
Energía (W.h)(J)	(2240) ($8,06 * 10^6$)	
Densidad energética ($\frac{W.h}{Kg}$)	102,2	
Precio del W.h ($\frac{€}{Wh}$)	0,30	
Volumen del kW.h ($\frac{kW.h}{m^3}$)	170,64	
Máximo impulso de corriente (A)	3C,2100	5C,3500

Tabla 3-3 Características batería [12]

3.8.3 Dimensionamiento del grupo de baterías

En este apartado se dimensionó el grupo de baterías teniendo en cuenta la potencia de pico demandada, la tensión de trabajo del inversor de corriente y la autonomía requerida para cumplir las especificaciones del crucero.

En primer lugar se calculó el número de baterías que tienen que ir en serie para alcanzar la tensión requerida en bornes del inversor. Aunque el inversor tiene un rango de tensiones amplio (470-900V), se diseñó el grupo de baterías para la máxima tensión admisible por el inversor, ya que a mayor tensión se reducen las pérdidas. Se sabe que la tensión del grupo de baterías se consigue sumando la tensión de cada batería en serie.

$$N^{\circ}baterías\ serie = \frac{V_{inversor}}{V_{batería}} = \frac{900V}{3,2V} = 281,2 \approx 282baterías \quad (6)$$

Una vez calculado el número de baterías en serie que tiene que tener el grupo de baterías, se calcula cuantas filas de 282 baterías son necesarias para satisfacer las demás características.

Para satisfacer la potencia de pico se necesita que el grupo de baterías tenga al menos $2,73 * 10^3 A$ según la ecuación (4). Se sabe que la intensidad se suma en paralelo y que la intensidad máxima de descarga de una batería es 3500A según la Tabla 3-3.

Como se ve claramente en estos datos la fila de baterías en serie para satisfacer la tensión del inversor cumple con la potencia de pico. Como era obvio la potencia de pico no supuso ningún impedimento en nuestro grupo de baterías, ya que al dimensionar la autonomía quedó muy sobredimensionada.

3.8.3.1 Equiparación autonomía del tránsito Oslo-Marín

A continuación se dimensionó el grupo de baterías para cumplir la autonomía. Se había calculado previamente en el balance de energía con la ecuación (5) que la energía necesaria era $0,68 * 10^{12} J$. Además se conoce que cada batería nos proporciona $8,06 * 10^6 J$ según la Tabla 3-3.

$$n^{\circ}baterías = \frac{0,68 * 10^{12} J}{8,06 * 10^6 J} = 84872,5 \approx 84873baterías \quad (7)$$

Con este número de baterías se cumpliría la autonomía. Pero como se calculó anteriormente, las baterías tienen que formar un grupo con filas de 282 baterías en serie y no puede quedar una fila incompleta.

$$n^{\circ}filas = \frac{84873baterías\ totales}{282baterías\ fila} = 300,9 \approx 301\ filas \quad (8)$$

De acuerdo con lo que se ha dicho, hay que recalcular el número final de baterías del que dispondremos.

$$n^{\circ}baterías\ final = 282baterías * 301filas = 84882baterías \quad (9)$$

Esta cantidad de baterías cumpliría holgadamente los requisitos de potencia de pico y autonomía para todo el crucero del año 2014, teniendo en cuenta la posibilidad de recarga de dichas baterías durante las estancias en puerto.

El principal problema radica en la ubicación de dichas baterías a bordo del Juan Sebastián Elcano, debido a las limitaciones de espacio a bordo. Se calcula el volumen y peso total de las baterías a partir de los datos de una batería proporcionados en la Tabla 3-3.

$$V_{total} = V_{1batería} * n^o_{baterías} = 0.013127 \frac{m^3}{baterías} * 84882baterías = 1114,24m^3 \quad (10)$$

$$Peso_{total} = P_{1batería} * n^o_{baterías} = 21,9 \frac{kg}{batería} * 84882baterías = 1,85 * 10^6 kg \quad (11)$$

Ahora se distribuyó ese volumen de baterías en el espacio disponible del Elcano. Se ha considerado el espacio de los tanques de combustible, el espacio de lastres y el espacio de la cámara de auxiliares para la ubicación de dichas baterías. El espacio de la cámara de máquinas no se ha considerado, porque sigue teniendo otros equipos vitales para el buque como son los compresores, bombas de contraincendios, etc. Aunque con la nueva instalación se ahorraría espacio, debido a que el motor eléctrico es de menores dimensiones que el motor diésel y se suprimiría algún equipo auxiliar de apoyo al motor diésel como bombas de lubricación.

COMPARTIMENTO	VOLUMEN (m ³)
Cámara de máquinas auxiliares	533
Tanques de combustibles	261
Espacio de lastres	97,7
Total	891,7

Tabla 3-4 Volumen para baterías [13]

Llegado a este momento, se encontró el primer problema. El espacio disponible para la ubicación de las baterías no es suficiente para albergar las que se han calculado en función de la autonomía requerida. Este problema se podía esperar, ya que como se explicó con la Figura 3-10 y la Figura 3-11, actualmente la densidad energética que ofrecen las baterías en comparación con el diésel es mucho menor.

3.8.3.2 Limitación volumen disponible Elcano

La solución que se planteó a este problema radica principalmente en estimar las baterías que se podrían ubicar en el espacio disponible. De esta forma se tendría un déficit energético teniendo en cuenta los requisitos de autonomía. Este déficit se intentó solventar mediante el empleo de las energías renovables.

$$n^o_{baterías} = \frac{V_{total}}{V_{1batería}} = \frac{891,7m^3}{0.013127m^3} = 67928,6 \approx 67928baterías \quad (12)$$

Pero al igual que antes, este número de baterías tienen que distribuirse en un grupo de baterías con 282 baterías en serie y no puede quedar ninguna fila a medio cubrir.

$$n^o_{filas} = \frac{67928baterías}{282 en serie} = 240,8 \approx 240filas \quad (13)$$

Hay que decir que cuando se estaba calculando el número de baterías para cumplir con la autonomía, se aproximaba siempre a una batería o fila más, para que siempre cumpliera el requisito. Ahora se está trabajando con un espacio fijo, por lo que hay que se aproxima por abajo para que siga entrando en dicho espacio.

Al igual que antes, se calculó el número exacto de baterías para completar el grupo de baterías.

$$n^{\circ}baterías\ final = 282baterías * 240filas = 67680baterías \quad (14)$$

En estos cálculos se consideró la totalidad del espacio de los compartimentos para la colocación de baterías. Esto es una consideración bastante ideal, ya que es necesario algún espacio para el cableado, reparaciones y mantenimientos. Se ha considerado reducir el volumen disponible en un 15% para hacer una aproximación más real del espacio disponible.

$$V_{real} = 0,85 * V_{total} = 0,85 * 891,7m^3 = 757,9m^3 \quad (15)$$

Hay que repetir los cálculos para diseñar el grupo de baterías adecuado para el nuevo volumen. Manteniendo la consideración de que dicho grupo de baterías deba estar formado por 282 baterías en serie para alcanzar la tensión requerida por el inversor de corriente.

$$n^{\circ}baterías = \frac{V_{real}}{V_{1batería}} = \frac{757,9m^3}{0,013127m^3} = 57739,4 \approx 57739baterías$$

$$n^{\circ}filas = \frac{57739baterías}{282\ en\ serie} = 204,7 \approx 204filas \quad (16)$$

$$n^{\circ}baterías\ final = 282\ en\ serie * 204filas = 57528baterías$$

Se sabe que el grupo de baterías finalmente diseñado no cumple con la autonomía requerida en todo el crucero del año 2014. Pero ¿hasta dónde podríamos llegar con estas baterías? ¿Cómo podemos suplir ese déficit? A continuación se intenta resolver ambas cuestiones.

Primero se calculó la energía que proporciona este grupo de baterías:

$$E_{total} = E_{1batería} * n^{\circ}baterías = 8,06 * 10^6 \frac{J}{batería} * 57528baterías = 0,46 * 10^{12}J \quad (17)$$

Como se puede ver, la energía total que proporcionan las baterías es menor que la necesaria para cumplir la autonomía del crucero. Por lo que se genera un déficit energético.

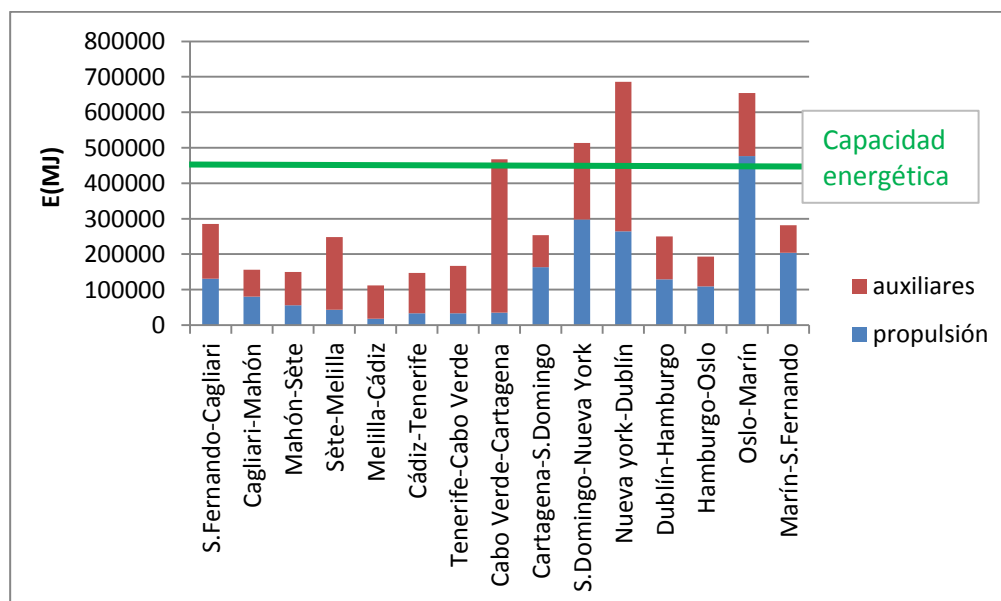


Figura 3-15 Necesidades energéticas por tramo

En este gráfico (Figura 3-15) se representaron las necesidades energéticas que requirió el crucero del año 2014. Además se representó con una línea verde la capacidad de almacenamiento del grupo de baterías que se diseñó acorde con el espacio disponible a bordo del buque.

Gráficamente se puede ver que hay cuatro trayectos que no se podrían hacer con la nueva instalación que se diseñó. Este déficit se podría corregir haciendo trayectos de menos tiempo, lo que reduciría el consumo de auxiliares, que es constante cada día. Otra forma sería teniendo más flexibilidad de fechas para llegar al destino, así se podría navegar más a vela y reducir el consumo de la propulsión. Además se consideró el uso de energías renovables para corregir este déficit.

3.9 Energías renovables

En este apartado se consideró la posibilidad del empleo de energías renovables para suplir el déficit energético que tenemos, se analizó el peor de los casos, es decir el trayecto Oslo-Marín. Se había considerado el empleo de energía solar, energía eólica y energía hidrodinámica. Pero finalmente solo se consideró la energía solar fotovoltaica ya que es la única de la que se disponen datos para un cálculo fiable.

La energía eólica sería muy difícil estimarla, ya que depende del viento relativo (es la suma vectorial entre el viento real y el movimiento del buque) y tiene demasiadas variables: como son el rumbo y velocidad del barco y del viento real, que es cambiante según la época del año y la situación geográfica. Por estos motivos se desestimó la energía eólica, por la imposibilidad de hacer un cálculo fiable.

La energía hidrodinámica, generada por la hélice con el motor eléctrico en modo generador o la generada por dispositivos portátiles dedicados para ese uso, tiene algún factor que nos impide la realización exacta del cálculo. Esto es debido a que no se dispone de las curvas de agua del casco del Juan Sebastián Elcano, para estimar como le afectaría a la resistencia hidrodinámica de estos dispositivos, es decir, no se puede calcular si generaría más potencia de la que se pierde por el aumento de la resistencia hidrodinámica. Por estos motivos se descarta el uso de la hidrogenación.

En cambio con la energía solar se puede hacer un cálculo bastante real. Ya que como se amplía más adelante, existen mapas que muestran la potencia media de radiación solar. Además se conocen los rendimientos al que pueden llegar las tecnologías fotovoltaicas.

En primer lugar se estimó el valor exacto del déficit energético que se tiene en la instalación. Se había calculado previamente las necesidades energéticas (5) y la energía que aportan el grupo de baterías (17). Se recuerda que estos cálculos se han hecho de acuerdo al trayecto de mayor consumo. Este déficit es el que se intenta suplir con las energías renovables.

$$\text{Déficit} = E_{\text{necesaria}} - E_{\text{disponible}} = 0,68 * 10^{12}J - 0,46 * 10^{12}J = 0,22 * 10^{12}J \quad (18)$$

3.9.1 Energía solar fotovoltaica

Como se ha explicado en el apartado anterior, la energía solar fotovoltaica es con la que vamos a trabajar para intentar suplir el déficit energético que se tiene. En este apartado se estimó la potencia fotovoltaica media necesaria para suplir el déficit. Lo que es equivalente a estimar la superficie de paneles solares necesarios.

3.9.1.1 Radiación solar media

La radiación solar es un dato necesario para poder estimar la potencia fotovoltaica. Este valor es muy variable, ya que depende de factores como la nubosidad del día, la hora, el día del año y la situación geográfica. Aunque es muy difícil estimar con exactitud, muchos autores consideran que para

un día totalmente despejado y durante las horas centrales del día la potencia solar es de unos 1000W/m^2 . Pero esta potencia varía a lo largo del día o según la nubosidad del mismo.

La solución a este problema se encontró en el mapa de Mathias Loster (Figura 3-16) que representa la potencia solar media sobre la tierra. Este mapa representa la media de potencia solar durante tres años, se ha tenido en cuenta los periodos nocturnos y diurnos. Este mapa resulta muy útil ya que no necesitamos estimar las horas de sol de cada día de navegación.

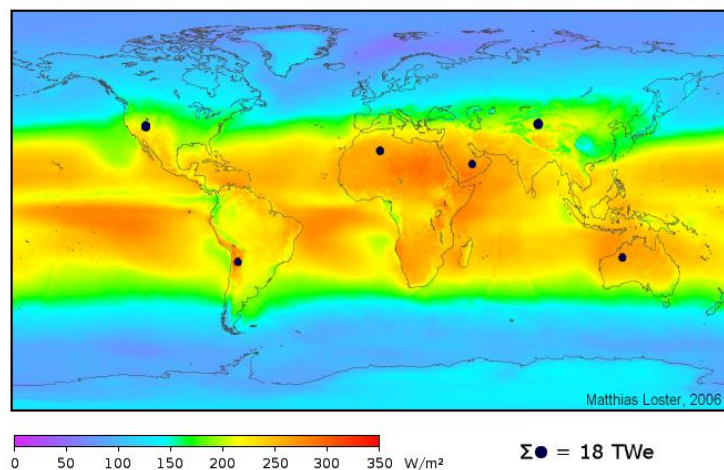


Figura 3-16 Potencia solar (Recuperado de www.ez2c.de)

Para estimar la potencia solar media que se aplicó a los cálculos, se representa el trayecto Oslo-Marín en el mapa (Figura 3-17). Como se puede ver se navega por zonas con rango de potencia solar entre 100 y 150W/m^2 . Se consideró el valor de 150W/m^2 para hacer los cálculos desde el punto de vista del sobredimensionamiento.

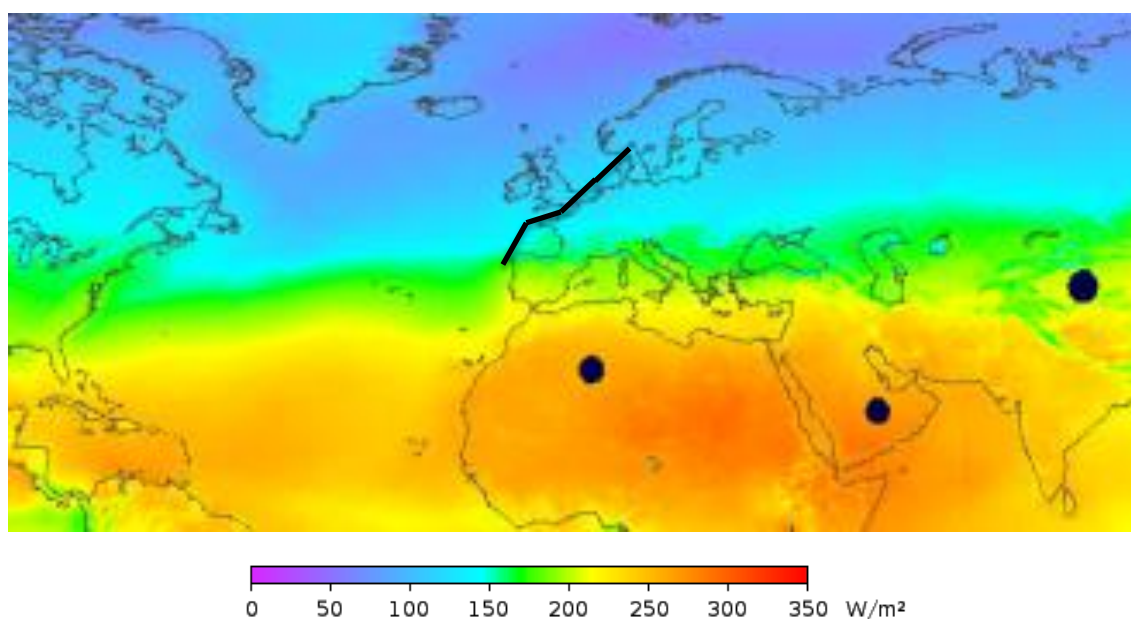


Figura 3-17 Radiación trayecto Oslo Marín

3.9.1.2 Rendimiento fotovoltaico

Este es un valor necesario para saber qué porcentaje de la potencia solar se puede aprovechar por los paneles solares para la generación eléctrica. En la actualidad existen diversas tecnologías fotovoltaicas cada una con rendimientos diferentes. Esta diversidad de tecnologías se puede ver en el diagrama (Figura 3-18) que realizó la agencia americana National Renewable Energy Lab (NREL), dónde se representa como fue evolucionando la eficiencia de estas tecnologías desde el año 1975 hasta la fecha. Este diagrama muestra el firme crecimiento de estas tecnologías durante los años. La eficiencia de las tecnologías implantadas está un paso por debajo de las que se desarrollan en los laboratorios, pero puede que en unos años las tecnologías de laboratorio se apliquen al mundo real.

Para hacer los cálculos se consideró la eficiencia alcanzada en una tecnología ya aplicada, obviando las tecnologías de laboratorio por ser experimentales. La tecnología seleccionada es la célula de silicio monocristalino que puede alcanzar hasta un 26,6% de rendimiento.

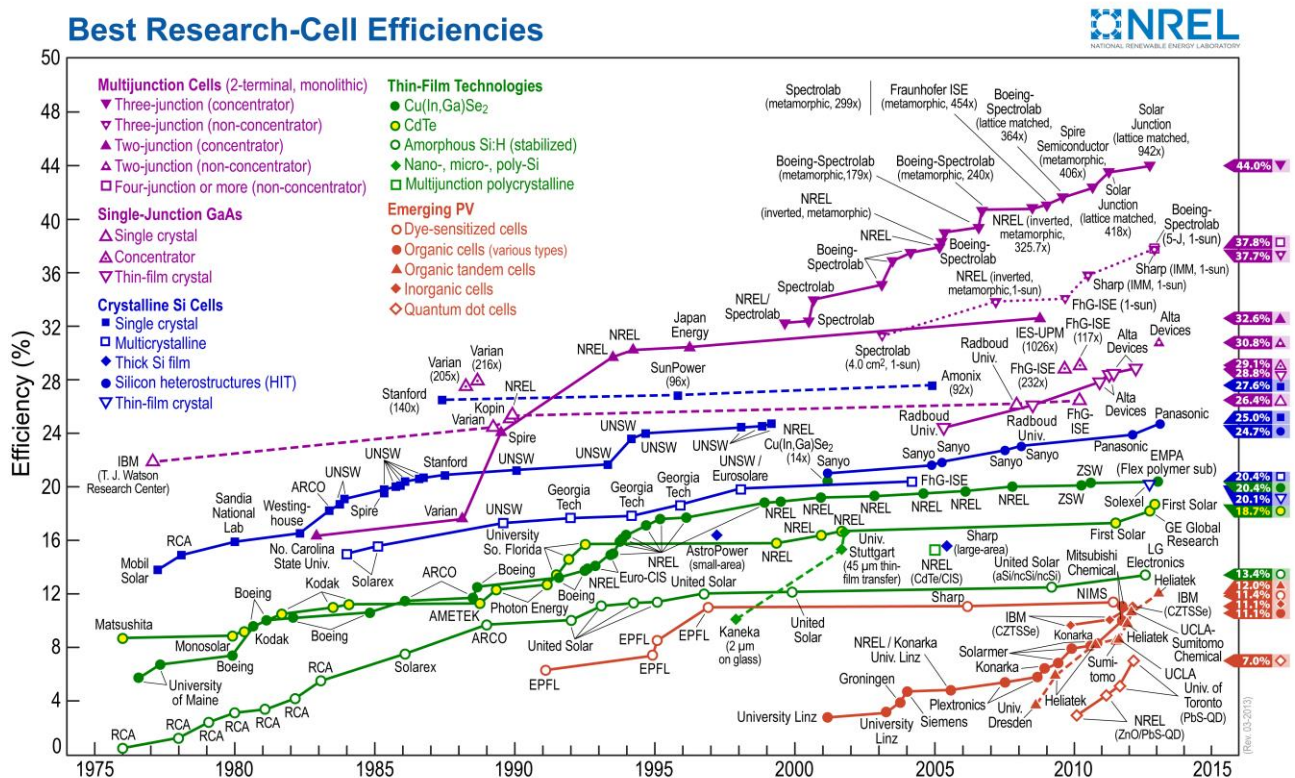


Figura 3-18 Diagrama NREL (Recuperado de www.solarplaza.com)

3.9.1.3 Superficie de paneles solares

Una vez explicados los datos que se van a utilizar, se puede empezar a calcular la potencia fotovoltaica necesaria para suplir el déficit y por consiguiente la superficie de paneles solares necesarios. Para calcular la potencia media a partir de la energía de déficit, se necesita el tiempo de duración del trayecto que se está analizando. Este trayecto se realiza en 220,7 horas de navegación (anexo IV).

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Déficit}} &= E_{\text{renovables}} \\
 E_{\text{renovables}} &= P_{\text{renovables}} * \Delta t \\
 P_{\text{fotovoltaica}} &= \frac{0,22 * 10^{12} J}{220,7h * \frac{3600s}{h}} = 0,27 * 10^6 W \\
 P_{\text{fotovoltaica}} &= \eta_{\text{panel}} * P_{\text{solar}} * A_{\text{paneles}} \\
 A_{\text{paneles}} &= \frac{0,27 * 10^6 W}{0,266 * 150 \frac{W}{m^2}} = 6,96 * 10^3 m^2
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Una vez se calculó la superficie necesaria de paneles fotovoltaicos para suplir el déficit energético, se comprueba si es posible la instalación de esa cantidad de paneles en el Juan Sebastián Elcano. Se supuso que se puede hacer la instalación en toda la superficie de cubierta y en la superficie de todas las velas. Este supuesto no es real, porque no toda la superficie es propicia para tal instalación y además la tecnología de velas fotovoltaicas, como se puede ver en la revista “Mar abierto” [14], tienen menos rendimiento que el estimado en el apartado anterior.

Para calcular la superficie de la cubierta del B/E Juan Sebastián Elcano, se utilizó una función que estima esta superficie, partiendo de los datos de eslora y manga (longitud y ancho) del buque [15].

SUPERFICIE DISPONIBLE (m^2)	
CUBIERTA	916
VELAS	3151
TOTAL	4067

Tabla 3-5 Superficie disponible

En este momento se puede ver que a pesar de que se estaba sobredimensionando la superficie de la instalación de paneles y la potencia de estos, no hay suficiente espacio para poder suplir el déficit energético. Este es un problema importante porque con la nueva instalación no se podría realizar el crucero como se estaba haciendo. Estos problemas se discutirán más adelante para intentar encontrar la mejor solución.

3.9.1.4 Adaptación de la energía solar a la realidad del buque

En este apartado, una vez conocida la imposibilidad de suplir el déficit con la energía solar, se pretende hacer la mejor aproximación posible a la instalación de paneles solares. Es decir, se calcula la máxima potencia media que se puede conseguir con las características del buque. Se parte de la superficie disponible y se obtiene la potencia que produciría esa superficie cubierta con paneles solares. Para ser más estrictos se consideran diferentes rendimientos según el tipo de célula fotovoltaica que se instale en cada caso.

Se considera la superficie calculada en el apartado anterior (Tabla 3-5), pero se hace una diferenciación según qué tipo de superficie es para la instalación de los paneles. Para la superficie de la cubierta, se rellena con células monocristalinas de silicio. En cambio, para la superficie de las velas se utilizará tejido fotovoltaico, que se conoce como Thin-Film Technologies (Figura 3-18). Estas tecnologías tienen un rendimiento máximo respectivo de 26,6% y 20,4%.

$$P_{fotovoltaica} = \eta_{thin-film} * A_{vela} * P_{solar} + \eta_{SIcells} * A_{cubierta} * P_{solar} \quad (20)$$

$$P_{fotovoltaica} = (0,204 * 3151m^2 + 0,266 * 916m^2) * 150 \frac{W}{m^2} = 0,13 * 10^6 W$$

3.9.2 Aportación de las energías renovables

En este apartado se discute la utilidad de la instalación de las energías renovables para suplir el déficit energético que se tiene. Se calcula la energía que proporcionaría la instalación solar diseñada durante la navegación Oslo-Marín, que es la que se está analizando. A continuación se compara con la energía del déficit (18) para saber qué porcentaje de este se reduce.

$$E_{fotovoltaica} = P_{fotovoltaica} * \Delta t = 0,13 * 10^6 W * 220,7h * \frac{3600s}{1h} = 0,10 * 10^{12} J \quad (21)$$

$$\frac{E_{fotovoltaica} * 100}{E_{déficit}} = \frac{0,10 * 10^{12} J * 100}{0,22 * 10^{12} J} = 47,86\%$$

Como se puede ver el empleo de células fotovoltaicas cubriendo la superficie de la cubierta y de las velas, permite reducir el déficit a casi la mitad. Ahora se calcula como afecta el aumento de la capacidad energética del buque para cumplir los diferentes trayectos del crucero.

$$E_{total} = E_{baterías} + E_{fotovoltaica} = 0,46 * 10^{12} J + 0,10 * 10^{12} J = 0,57 * 10^{12} J \quad (22)$$

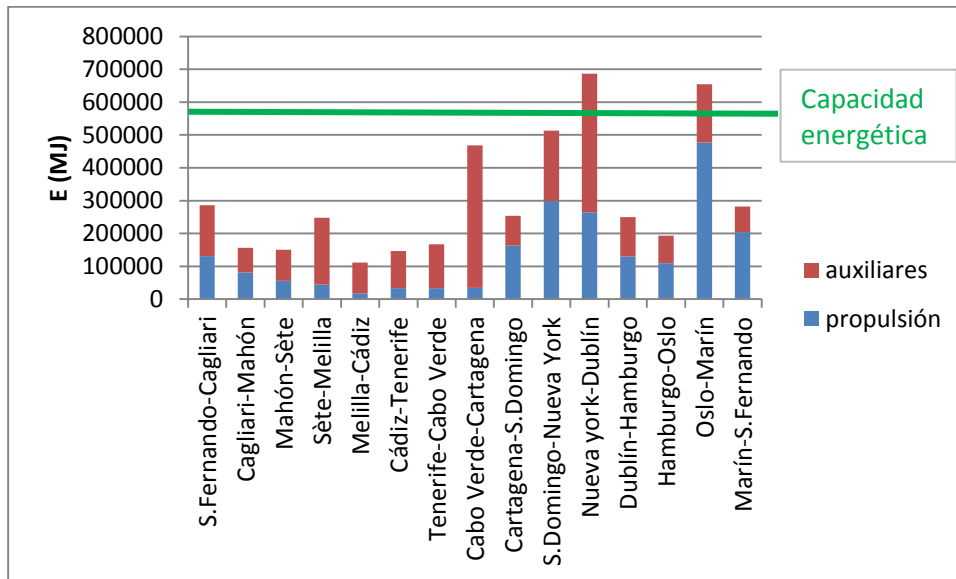


Figura 3-19 Necesidades energéticas por tramo

Como se puede ver en la gráfica (Figura 3-19), al emplear las energías renovables se pueden realizar dos trayectos más, quedando únicamente dos sin cubrir. Pero vale la pena la inversión que hay que realizar para la instalación de las energías renovables para la mejora que se ha conseguido. Más adelante se estudia la viabilidad económica del proyecto, para finalmente decantarse por la mejor opción en las conclusiones.

3.10 Resumen instalación eléctrica

En este apartado se representa como quedaría la nueva instalación. En el apartado de cuadro eléctrico no se entra en su diseño porque queda fuera del trabajo. Aun así es importante mencionar que ese cuadro eléctrico tiene que alimentar a todos los equipos auxiliares, los cuales pueden ser de corriente continua o corriente alterna y de diferentes tensiones.

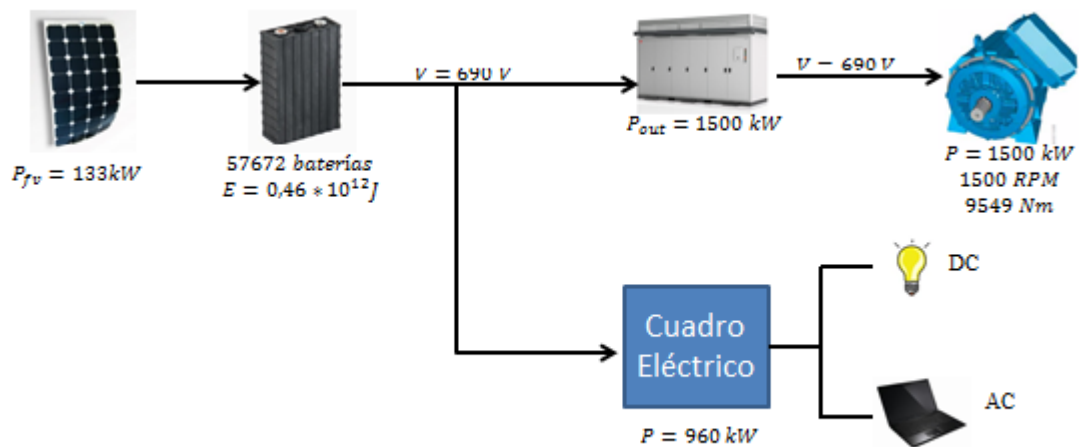


Figura 3-20 Instalación eléctrica

4 RESULTADOS

4.1 Introducción

En este apartado se estudió la autonomía que se puede alcanzar con la nueva instalación. Además se estudió las instalaciones diseñadas desde el punto de vista de costes y pesos. Tras esto se estudió la viabilidad económica del proyecto, es decir en cuantos años se desquitaría la inversión inicial. Además se calcula la variación de desplazamiento (peso) del buque debido a la nueva instalación, ya que es un factor importante en los buques y se tendrá en cuenta a la hora de la decisión final.

4.1.1 Autonomía

En el apartado de desarrollo del TFG se calculó que las necesidades energéticas según un trayecto concreto (Oslo-Marín), de un crucero concreto (2014). En este apartado se realizó este cálculo de forma genérica, para conocer que autonomía tendría la nueva instalación y como se podría diseñar un futuro crucero de instrucción con la nueva instalación. Se siguieron los siguientes pasos:

- Para la realización de los cálculos se partió de la autonomía que tiene actualmente el buque, teniendo en cuenta su capacidad total de almacenamiento de diésel (261000 litros). Esta autonomía es de 10500 millas náuticas (19446km), se calculó a una velocidad constante de 6 nudos (11km/h).
- Con estos datos, se calculó que se emplea 1750 horas para realizar toda la autonomía a dicha velocidad.
- Se conoce el consumo medio de los equipos auxiliares, que es de 50 l/h. Esto dio como resultado un consumo 87500l de diésel, dedicados únicamente para auxiliares.
- Dado que conocemos los litros totales y los litros que se utilizarían para los auxiliares, se pudo calcular los 173500l dedicados a la propulsión.
- A continuación se hizo un balance energético para conocer que energía útil que se aprovecha de estos litros de diésel. Se utilizaron los mismos rendimientos que en el apartado 3.7.

$$E_{\text{útil}}^{\text{diésel}} = 173500l * 35,86 \frac{MJ}{l} * 0,35 + 87500l * 35,86 \frac{MJ}{l} * 0,45 = 3,58 * 10^{12}J \quad (23)$$

- Por otro lado se calculó la energía útil que nos proporcionan las baterías, a partir de la capacidad energética que proporciona el grupo de baterías (17). Se tuvo en cuenta los rendimientos del motor eléctrico e inversor como en el apartado 3.7. Además se conoce

que porcentaje de energía se gasta en la propulsión (66,4%) y cual en los equipos auxiliares (33,6%), estas consideraciones se cumplen para la condición de 6 nudos de velocidad.

$$E_{\text{útil}}_{\text{baterías}} = 0,664 * 4,63 * 10^{11} J * 0,96 * 0,98 + 0,336 * 4,63 * 10^{11} J = 4,45 * 10^{11} J \quad (24)$$

- Llegados a este punto se pudo comparar la energía útil del diésel con la de las baterías y así se estimó la nueva autonomía.

$$Autonomía = \frac{10500NM * 4,45 * 10^{11} J}{3,58 * 10^{12} J} = 1303 \text{ millas náuticas} \quad (25)$$

- En el cálculo de la autonomía no se tuvo en cuenta las energías renovables de nuestra instalación, porque la energía que producen los paneles solares es directamente proporcional al tiempo de navegación. Ahora sí se pudo estimar la energía que aportan las renovables porque a 6 nudos empleamos 218 horas en recorrer las 1303 millas náuticas. La potencia fotovoltaica se había calculado en la ecuación (20).

$$E_{fv} = \Delta t * P_{fv} = 218h * 0,13 * 10^6 W = 1,04 * 10^{11} J \quad (26)$$

- Se repitieron los cálculos de la autonomía, sumando la aportación de las energías renovables.

$$Autonomía = \frac{10500NM * 5,49 * 10^{11} J}{3,58 * 10^{12} J} = 1608 \text{ millas náuticas} \quad (27)$$

Hay que puntualizar que el cálculo de la autonomía se hizo considerando únicamente la propulsión a motor. El uso de la propulsión a vela siempre va a mejorar los resultados de la autonomía, pero no se puede hacer un cálculo genérico de ello, porque la aportación de la propulsión a vela depende de muchos factores que no se pueden controlar. En la Figura 4-1 se representa que área cubre como mínimo dicha autonomía.

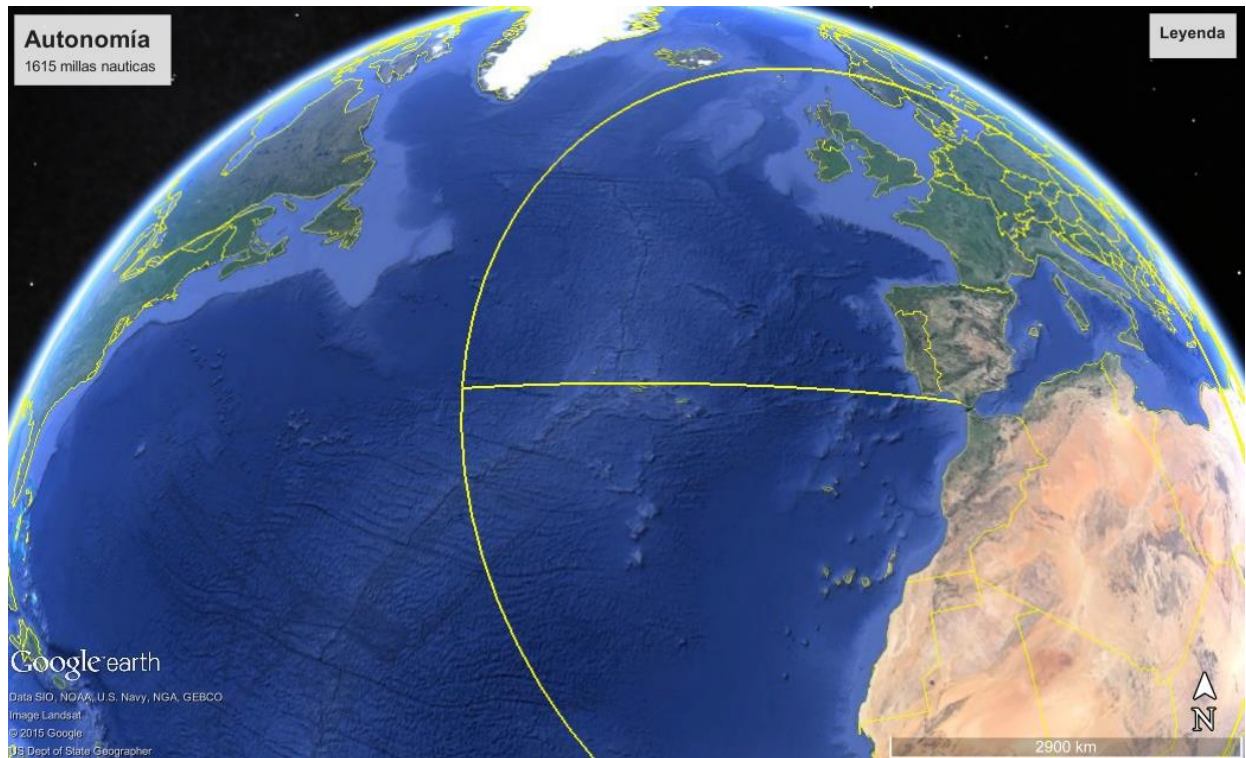


Figura 4-1 Autonomía nueva instalación

4.1.2 Instalación diésel

Esta es la instalación que tiene actualmente el buque, entonces para el estudio económico no se tuvo en cuenta los costes fijos. Los costes variables que le afectan son los de mantenimiento y el coste del diésel. Para el cálculo del desplazamiento se tendrá en cuenta los equipos que dejarían de usarse en la nueva instalación.

4.1.2.1 Peso

En este caso se reduce el peso del motor principal y generadores diésel que quedarían obsoletos en la nueva instalación, así como el peso del diésel y de la parte del aceite que se dedica a este uso. Es importante mencionar que solo se tendrá en cuenta el peso de los equipos de los que dispongamos información, hay otros equipos asociados a esta instalación como sistemas de lubricación, refrigeración, arranque, etc. Esto se compensa por el peso de equipos de la nueva instalación que no se consideran en este trabajo como reductora, adaptador de frecuencia, transformador de corriente, cableado, etc.

Los pesos del motor principal y de los generadores diésel se encuentran especificados en el manual de máquinas del buque. Para el caso del diésel y el aceite simplemente se multiplicó los litros existentes por su densidad. Los litros de aceite expresados en la Tabla 4-1 son únicamente los que se emplean para el motor principal y para los generadores diésel. El aceite que se emplea en los compresores de aire, osmotizadores, chumaceras, equipos hidráulicos...no está recogido en esta tabla porque se seguiría usando en la nueva instalación.

$$Peso_{diésel} = 261983l * 0,832 \frac{kg}{l} = 217,96 * 10^3 kg \quad (28)$$

$$Peso_{aceite} = 14950l * 0,884 \frac{kg}{l} = 13215kg \quad (29)$$

REDUCCIÓN DE PESO (kg)	
Motor principal	$40 * 10^3$
Generadores diésel	$4,52 * 10^3$
Diésel	$217,97 * 10^3$
Aceite 15W40	$13,21 * 10^3$
TOTAL	$275,7 * 10^3$

Tabla 4-1 Peso instalación diésel

4.1.2.2 Coste

Como se ha mencionado se estudia el coste de la instalación diésel. Esta instalación no tiene costes fijos debido a que ya está implantada a bordo. Los costes que se tendrán en cuenta son los de mantenimiento (Tabla 4-2 y Tabla 4-3) y los del combustible diésel. Además los costes de mano de obra no se tienen en cuenta, ya que los realiza la dotación del buque. Los cálculos, como se lleva haciendo en este trabajo, se hicieron con respecto al crucero del 2014.

Debido a la imposibilidad de conocer los costes reales de mantenimiento se utilizó el precio de venta al público (PVP) del diésel y del aceite 15W40. Para el coste total del diésel se tuvo en cuenta los litros totales consumidos. Y para el coste del aceite se tuvo en cuenta los litros de aceite que se dedican a propulsión, y como indica la hoja de mantenimientos es necesario su sustitución anual.

MANTENIMIENTO MOTOR PRINCIPAL
Cambio de aceite cada 2000 horas, normalmente una vez al año
Cambio de filtros de gasoil cada 400 horas
Limpieza de filtros de aceite cada 300 horas
Lavado de la turbosoplante cada 24 horas
Cambio de electrógenos enfriadores cada 200 horas

Tabla 4-2 Mantenimientos motor principal

MANTENIMIENTO GENERADORES DIÉSEL
Controlar la tensión de las correas trapezoidales cada 200 horas
Mantenimiento del filtro de aire cada 200 horas
Cambiar filtro de combustible a las 1000 horas
Sustituir el líquido refrigerante cada 2 años
Limpiar purificadores de combustible cada 200 horas

Tabla 4-3 Mantenimiento generadores diésel

COSTES INSTALACIÓN DIÉSEL ANUAL (€)	
Combustible	246 207,5
Cambio de aceite	51 278,5
TOTAL	297 486

Tabla 4-4 Costes instalación diésel

4.1.3 Instalación eléctrica

En esta sección se estudia la instalación eléctrica, desde el punto de vista económico, considerando los costes fijos y variables de la instalación. Además se considera la variación del peso que sufriría el buque con la nueva instalación.

4.1.3.1 Peso

En este caso se consideran los nuevos pesos que se añadirían al buque con la instalación eléctrica, así se puede hacer una comparativa con la instalación actual y comprobar que resultado tendría el cambio. Los pesos que se consideran son únicamente el motor eléctrico, el inversor y las baterías, ya que se obvian los equipos que quedan fuera de este trabajo.

El peso del motor eléctrico aparece en las especificaciones técnicas del mismo (Tabla 3-1). Por otro lado el peso de las baterías se calcula multiplicando el número de estas baterías (16) por el peso de cada una de ellas (Tabla 3-3).

$$Peso_{baterías} = 57672baterías * 21,9 \left(\frac{kg}{baterías} \right) = 1,26 * 10^6 kg \quad (30)$$

VARIACIÓN DE PESO (kg)	
Motor eléctrico	$4,41 * 10^3$
Inversor	$5,5 * 10^3$
Baterías	$1263 * 10^3$
TOTAL	$1270 * 10^3$

Tabla 4-5 Peso instalación eléctrica

4.1.3.2 Coste

Como se ha dicho, ahora se calcula el coste total de la instalación eléctrica. El coste fijo los forman el motor eléctrico, inversor y las baterías, es decir la inversión inicial que tenemos que hacer para adquirir estos equipos. Por otro lado se considera coste variable el gasto de combustible, en este caso se calcula a partir del precio del kWh.

El precio del motor eléctrico (Tabla 3-1) lo proporcionó el fabricante. El precio de las baterías se obtiene de multiplicar el número de baterías, obtenido en la ecuación (16) por el valor de cada una de las baterías (Tabla 3-3).

$$P_{baterías} = 57672baterías * 680,5 \left(\frac{€}{batería} \right) = 39\,245\,796€ \quad (31)$$

COSTE FIJO INSTALACIÓN ELÉCTRICA (€)	
Motor eléctrico	90 000
Baterías	39 245 796
Inversor	274600
TOTAL	39 610 396

Tabla 4-6 Coste fijo

Para el cálculo del coste variable, es decir el consumo, se necesita repetir el balance de energía, únicamente cambiando los litros consumidos en el trayecto Oslo-Marín por el total de litros de diésel consumidos en todo el crucero 2014.

$$E_{propulsión} = 165435l * 35,86 * 10^6 \frac{J}{l} = 5,93 * 10^{12}J$$

$$E_{auxiliares} = 154315l * 35,86 * 10^6 \frac{J}{l} = 5,53 * 10^{12}J$$

$$E_{propulsión} * \eta_{propulsión} + E_{auxiliares} * \eta_{auxiliar} =$$

$$= \%_{motor} * E_{baterías} * \eta_{motor\ eléctrico} * \eta_{inversor} + \%_{auxiliar} * E_{baterías}$$

$$5,93 * 10^{12}J * 0,35 + 5,53 * 10^{12}J * 0,45 = E_{baterías} * (0,775 * 0,963 * 0,98 + 0,225)$$

$$E_{baterías} = \frac{4,56 * 10^{12}J}{0,971} = 4,70 * 10^{12}J$$

Ahora se calcula el precio de esa cantidad de energía. Aunque el buque tuviera que recargar las baterías en diferentes países, se considera el precio de España para realizar los cálculos. Como en España no hay un precio constante se toma el valor de la empresa Endesa que es de 0,109203 €/kWh.

$$P_{energía} = 4,70 * 10^{12}J * \frac{1kWh}{3,6 * 10^6J} * \frac{0,109203€}{kWh} = 142\ 570€$$

Este precio se supone constante cada año para poder calcular la amortización de la inversión.

4.1.4 Instalación eléctrica con renovables

Ahora se repite el cálculo del apartado anterior considerando el uso de las energías renovables que se han estimado con anterioridad. Hay que tener en cuenta que el precio fijo de la instalación aumenta, debido al coste de los paneles solares. En cambio el coste variable disminuye porque la energía que producen estos paneles es gratis, por lo que se reduce la cantidad de energía que se necesita recargar. Como en los casos anteriores se considera la variación de peso que se produce.

4.1.4.1 Peso

La variación de peso de esta instalación es la misma que en el caso de la instalación eléctrica, pero se suman los paneles solares. Hay que diferenciar los dos tipos de paneles, células de silicio y thin-film, porque tienen pesos diferentes.

Para estimar el peso de la instalación de las células monocristalinas de silicio, que ocupan una superficie 916m² (Tabla 3-5), se ha buscado una empresa que trabaje con ellas. Los paneles de la casa

solbian pesan 2kg y tienen unas dimensiones de 1,49m de alto por 0,546m de ancho. Se calcula el peso por unidad de superficie, para poder estimar el peso total.

$$Peso/m^2 = \frac{2kg}{1,49m * 0,546m} = 2,45 \frac{kg}{m^2} \quad (34)$$

$$Peso_{si\ cells} = 916m^2 * 2,45 \frac{kg}{m^2} = 2\ 251kg$$

Para estimar el peso de los paneles Thin-Film el proceso es el mismo. La casa “powerfilmsolar” trabaja con unos paneles de 1,816 kg de peso, con unas dimensiones de 2,185m de alto por 0,663m de ancho. En este caso la superficie que se rellena de estos paneles es 3151m².

$$Peso/m^2 = \frac{1,816kg}{2,185m * 0,663m} = 1,25 \frac{kg}{m^2} \quad (35)$$

$$Peso_{si\ cells} = 3151m^2 * 1,25 \frac{kg}{m^2} = 3950kg$$

VARIACIÓN DE PESO (kg)	
Motor eléctrico	4,41 * 10 ³
Inversor	5,5 * 10 ³
Baterías	1263 * 10 ³
Células monocristalinas de silicio	2,25 * 10 ³
Thin-Film	3,95 * 10 ³
TOTAL	1270 * 10³

Tabla 4-7 Variación de peso con renovables

4.1.4.2 Coste

Ahora se estudia el coste de esta instalación. Para el coste fijo se calcula el precio de los paneles solares, el resto de costes fijos están calculados para la instalación eléctrica. Para el coste variable se calcula la energía que producirían estos paneles en el crucero de 2014, teniendo en cuenta la potencia media fotovoltaica (20). Luego hay que restar esta energía a la total que se emplea en el caso de la instalación eléctrica, para poder calcular el nuevo precio del consumo.

Como se está diseñando la instalación fotovoltaica desde un punto de vista genérico, sin entrar en productos específicos, se considera el coste medio del vatio establecido por SunShot (U.S. Energy Department) (Figura 4-2).

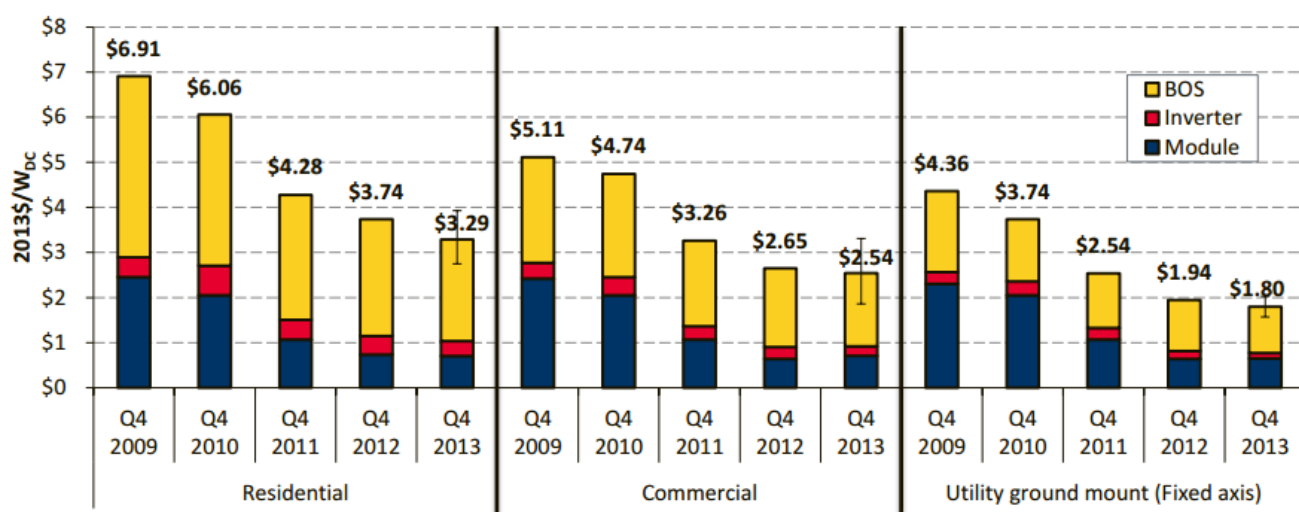


Figura 4-2 Precio del Watio fotovoltaico

Se calcula el coste de la instalación, que cumpla la potencia fotovoltaica que se ha calculado en la ecuación (20).

$$Precio_{cells} = 0,13 * 10^6 W * \frac{2,54\$}{W} = 330200\$ = 310386€ \quad (36)$$

COSTE FIJO INSTALACIÓN ELÉCTRICA (€)	
Motor eléctrico	90 000
Baterías	39 245 796
Células fotovoltaicas	310 386
Inversor	274 600
TOTAL	39 920 782

Tabla 4-8 Coste fijo con renovables

Ahora se calcula el coste variable de la instalación, para ello es necesario estimar que energía producirían los paneles solares en todo el crucero, para restársela a la que se necesitaría comprar en la instalación eléctrica normal. Para el cálculo de esta energía se utiliza la potencia fotovoltaica calculada (20), durante el periodo completo del crucero, sin diferenciar si se está navegando o en puerto porque producirían igual, lo que hace un total de 6 meses de duración.

$$E_{fv} = Pot_{fv} * \Delta t = 0,13 * 10^6 W * 6meses * \frac{30días}{1mes} * \frac{24h}{1día} * \frac{3600s}{1h} = 2,06 * 10^{12} J$$

$$E_{comprar} = E_{necesaria} - E_{fv} = 4,7 * 10^{12} J - 2,06 * 10^{12} J = 2,63 * 10^{12} J \quad (37)$$

$$P_{energía} = 2,63 * 10^{12} J * \frac{1kWh}{3,6 * 10^6 J} * \frac{0,109203€}{1kWh} = 79 857€$$

4.1.5 Balance de pesos

En este apartado se calcula cual sería el resultado final de pesos si se llevara a cabo el cambio en la instalación. Es decir, si el buque aumenta o disminuye su desplazamiento. Este es un factor importante en los buques porque afecta a la estabilidad del mismo. Se tiene en cuenta los cálculos ya realizados en cada instalación (Tabla 4-1, Tabla 4-5 y Tabla 4-7).

$$\text{Variación de peso} = 1,27 * 10^6 \text{ kg} - 275,7 * 10^3 \text{ kg} = 1,0 * 10^6 \text{ kg} \quad (38)$$

Como se puede ver hay un aumento considerable del desplazamiento del buque. Este aumento variaría la estabilidad del buque.

4.1.6 Amortización de la instalación

En este apartado se calcula en cuantos años sería viable la nueva instalación (Figura 4-3). Se estudian dos casos; la instalación eléctrica y la instalación eléctrica con energías renovables. Este factor será muy importante para las conclusiones y la decisión final. Se ha considerado el precio del diésel y del kW fijos durante el tiempo, para poder hacer el cálculo.

$$N^{\circ} \text{ años} = \frac{\text{Coste}_{\text{fijo eléctrica}}}{(\text{Coste}_{\text{var diésel}} - C_{\text{var eléctrica}})} = \frac{39610396}{(297486 - 142570)} = 256 \text{ años} \quad (39)$$

$$N^{\circ} \text{ años renovables} = \frac{\text{Coste}_{\text{fijo elec+renov}}}{(\text{Coste}_{\text{var diésel}} - C_{\text{var eléc+renv}})} = \frac{39920782}{(297486 - 79857)} = 183 \text{ años}$$

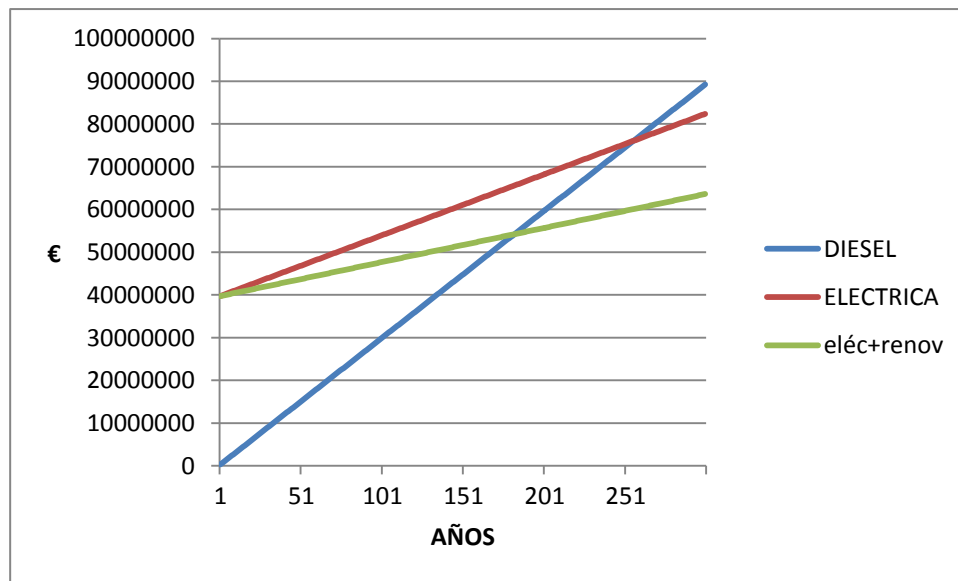


Figura 4-3 Amortización

Como se puede ver en la gráfica, la instalación diésel (línea azul) no tiene costes fijos, ya que es la que tiene actualmente el buque. Como costes variables se han considerado el precio del diésel y el coste de los mantenimientos. En cambio las otras dos instalaciones eléctricas, tienen como costes fijos la inversión inicial que sería necesaria para llevar a cabo la instalación.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Introducción

En este apartado se presentan las conclusiones obtenidas y la viabilidad de llevar a la realidad este TFG. Además se comentan las posibles líneas de futuro que mejoren el TFG presentado.

5.2 Conclusiones

Después de realizar los cálculos y obtener los resultados lo que más llama la atención es la amortización de la nueva instalación. Tanto la instalación únicamente eléctrica como la instalación con energías renovables, tienen una amortización de cientos de años. Como es obvio, y visto la edad actual del Juan Sebastián Elcano, es impensable llevar a cabo la propuesta planteada en el TFG teniendo en cuenta el criterio económico.

Pero no es un problema puramente económico, ya que no se ha cumplido el objetivo de que el buque mantenga sus funcionalidades. Ya que con la tecnología empleada no se pudo cumplir con la autonomía de los trayectos del crucero 2014, quedando un déficit energético sin cubrir.

Por otro lado con las nuevas propuestas de instalación el buque aumentaría su desplazamiento en unas mil toneladas. Teniendo en cuenta que actualmente el desplazamiento del buque a plena carga es de 3600 toneladas, supondría el aumento de este en casi un 30%. Esto supondría una modificación de la estabilidad. Además le haría aumentar el consumo de la propulsión y la reducción de la velocidad.

Pero no todo son desventajas, si se deja a un lado el punto de vista económico, la instalación planteada tiene muchos puntos a su favor. Desde el punto de vista medioambiental, se elimina por completo las emisiones contaminantes a la atmósfera. Por otro lado la reducción de ruidos, humos y vibraciones sería casi completa, por lo que el confort y calidad de vida aumentaría significativamente.

La solución al problema del déficit energético modificaría ligeramente los cruceros de instrucción. Hay dos soluciones posibles, una radica en hacer trayectos más cortos, así se reduciría el consumo de auxiliares, que son constantes en el tiempo. Otra opción es flexibilizar las fechas de entrada en puerto, esto permitiría navegar más a vela reduciendo el consumo de la propulsión.

5.3 Líneas futuras

Como ya se ha dicho con anterioridad, la propulsión diésel tiene los días contados. Todo parece indicar que la propulsión eléctrica apoyada por las energías renovables marcarán las marinas del futuro. Por este motivo el TFG está perfectamente encaminado, el problema principal por lo que los resultados no sean los óptimos, radica en las tecnologías actuales. Aunque se está trabajando en el desarrollo de estas tecnologías y están sufriendo una mejora continua, aun no es suficiente.

A día de hoy las formas de almacenamiento de energía eléctrica (Figura 3-12), están muy por debajo del diésel. Por este motivo, para almacenar en baterías la misma energía que se genera con el diésel de abordaje se necesitarían varios buques. Este fue el factor crítico de este trabajo, ya que nos impidió cumplir con la autonomía del buque e incrementó de sobremanera la inversión inicial.

En cuanto a las energías renovables, han sufrido una increíble evolución desde el punto de vista del incremento del rendimiento (Figura 3-18) y de la reducción de costes (Figura 4-2). Por este motivo la instalación con energía solar redujo el tiempo de amortización en casi un 50% (39). Se puede aventurar a que las energías renovables y en concreto la energía solar serán la energía del futuro. Aun así tienen que seguir mejorando los rendimientos de los captadores.

Para el futuro se podría enfocar este TFG con otras tecnologías. Por ejemplo las baterías zinc-air tienen la densidad energética más alta, aunque una baja potencia energética. Es decir proporcionan gran autonomía pero poca aceleración. Aunque no han llegado al mercado, pueden alcanzar de forma teórica una densidad energética de 35 MJ/l . Esta densidad energética es la misma que la del diésel por lo que se eliminaría el problema del espacio.

Otra tecnología son las baterías de Li-air, su densidad energética teórica supera a la del diésel. Aun no se ha llevado a la práctica, pero se está estudiando de forma seria su aplicación en vehículos eléctricos.

Otro posible enfoque podría ser el hidrógeno, no alcanza la densidad energética del diésel, pero dobla la capacidad energética de las baterías LiFePO_4 que se estudiaron para esta instalación. Además tiene la ventaja que es más económico. Aunque tendría la desventaja de las infraestructuras necesarias para el abastecimiento de hidrógeno. En cambio la electricidad está presente en todo puerto que se visita.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Apuntes de máquinas y motores, (2013).
- [2] «Diariodenautica,» (2014). Available:
<http://www.diariodenautica.com/ship-year-2014-el-ferry-electrico-zero-cat-120/>.
- [3] Manual de máquinas B/E "Juan Sebastián Elcano", (2004).
- [4] «Fondear,» (2013). Available:
http://www.fondear.org/infonautic/barco/Motores_Helices/Par_Motor/Par_Motor.htm.
- [5] «Unit_Converter,» Available: http://unit-converter.org/en_power.html.
- [6] «Lista de precios,» Available:
<http://www.jhroerden.com/solar/descargas/lista%20de%20precios.pdf>.
- [7] R. diésel. Available:
http://www.fondear.org/infonautic/barco/Motores_Helices/Motor_Rendimiento/Motor_Rendimiento.htm.
- [8] R. diésel. Available:
<http://www.comoconsumirmenos.com/2012/08/el-consumo-especifico-del-motor.html>.
- [9] P. calorífico. Available: <http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm>.
- [10] «ScienceDirect,» Available:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775300004742>.
- [11] «Electropedia,» Available: <http://www.mpoweruk.com/lithiumS.htm>.
- [12] «3xE-electric cars,» Available: <http://3xe-electric-cars.com/get-into-store/lithium-battery-lifepo4/sinopoly-700ah-lifepo4-lithium-battery-detail>.

- [13] Libro de Maniobra del Juan Sebastián Elcano, 2013.
- [14] «Mar abierto,» (2014) Available: <http://www.marabierto.eu/equipamiento/noticias/solar-cloth-system-celulas-fotovoltaicas-ultima-generacion-integradas-tejido-v>.
- [15] «Depinturas,» (2014). Available: <http://www.depinturas.com/blog/calcular-la-superficie-a-pintar-de-la-embarcacion/>.
- [16] C. E. J. Muñoz, *Breve historia de la propulsión naval*.

ANEXO I: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR ELÉCTRICO

Technical Specification

Position	1500 kW, 0-1500 rpm
Description	AC Induction Machine
Type	AMI 450L4L BAFMH
Machine Category	Process Performance
Quantity of identical units	1
Standards	IEC ABS
Potentially Hazardous Atmosphere	No
Max. Ambient Temperature	45 °C
Max. Altitude	1.000 m a.s.l.
Supply Type	ACS800 -type converter
Output	1.500 kW
Speed	1.500 rpm
Supply	690 V / 3 ph / 50,4 Hz
Temperature Rise Class	B-class
Duty Type	S1
Mounting / Protection / Cooling	IM 1001 / IP 55 / IC 81W
Insulation Class	F, vacuum pressure impregnated
Direction of Rotation	Clockwise
Bearings	Standard ball bearings
Bearing Insulation	Insulated NDE only
Terminal Box	Standard air insulated IEC main terminal box
Quality Assurance	ISO 9001 and ISO 14001
Colour	Standard blue Munsell 8B 4.5/3,25

Documentation

- Connection diagram (Main)
- Dimension drawing of machine (one covering all identical units)
- Documentation in English language
- Machine Performance data sheet (one covering all identical units)
- Maintenance and instruction manual (one covering all identical units)
- Maintenance instructions of water cooler
- Marine certificate (one covering all identical units)
- Only final version of documents in defined language
- Rating and Lubrication plates in English
- Rotor drawing (one covering all identical units)
- Safety instructions and warning labels in English
- Test procedure (one covering all identical units)
- Test report

Tests and Certificates

- Type test according to ABB standard procedure

Painting and corrosion protection

- Surface treatment C3 - Standard industrial environment

Accessories

- EMC designed low voltage machine
- Design for ACS converter drive
- Standard vibration acc. to IEC 60034-14 Grade A
- Air-to-water double-tube cooler, inner Cu90/Ni10, outer Cu
- Insulated antifriction bearing construction, NDE only
- Standard air insulated IEC main terminal box
- Cable entry with ROXTEC modules, EMC
- RTD's (Pt-100) in stator windings, 6 pcs, 4-wire, unshielded, safe and hazardous areas
- RTD's (Pt-100) in antifriction bearings, 1 pc / bearing, 4-wire, shielded, safe areas
- RTD's (Pt-100) in warm and cold cooling air, 4-wire, shielded, safe areas
- Space heater for stator winding, 1 ph ()
- SPM nipple for shock pulse measuring in each antifriction bearing
- Leakage detector for safe area, level switch -type, aluminium
- Location of ATB for instrumentation: Acc. To MDD
- Terminal box for accessories 1
- Fabricated copper rotor
- Slide packing - horizontal

Notes, comments and deviations:

Driven equipment: Not known

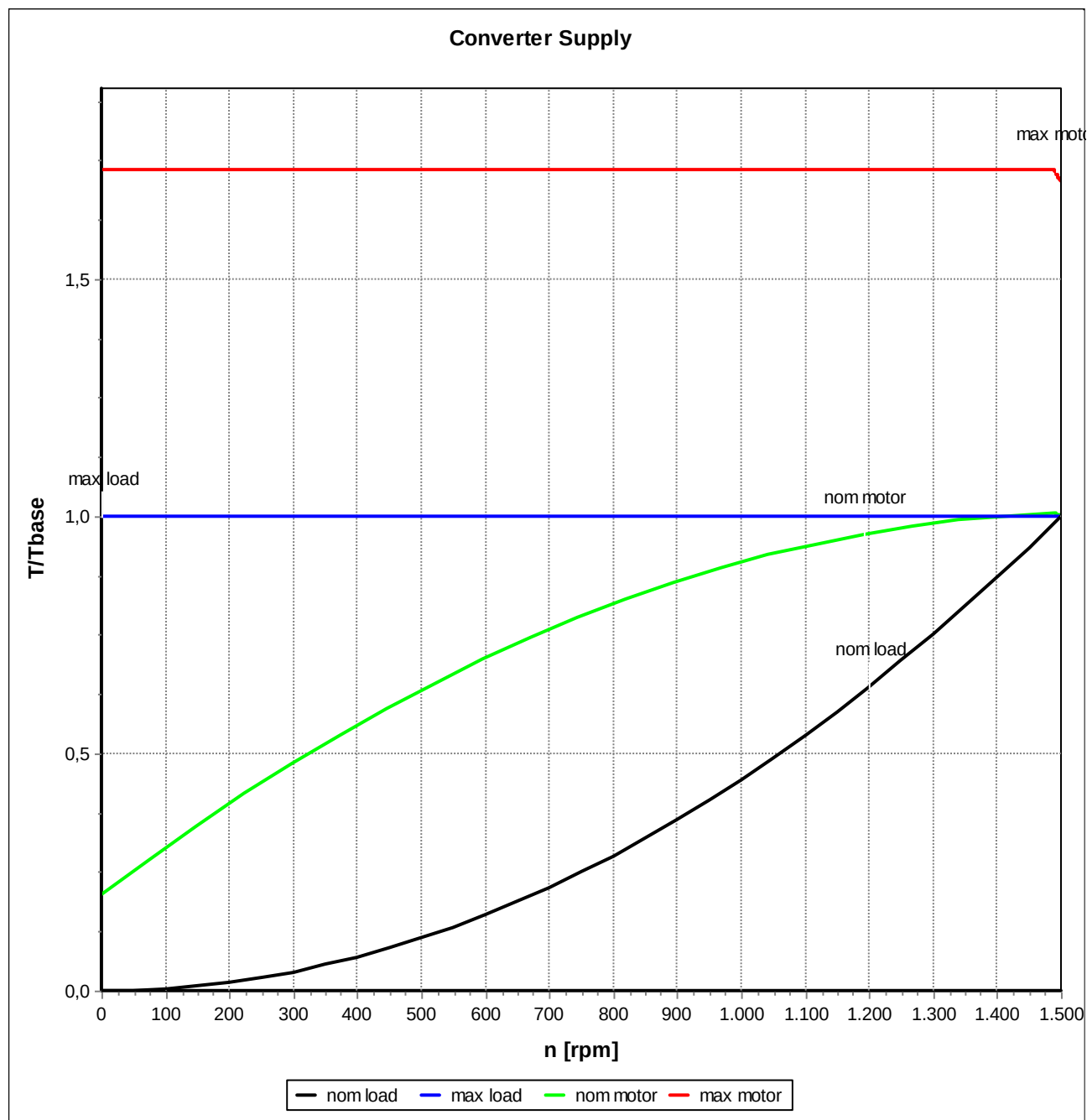
Motor type code	AMI 450L4L BAFMH
Motor type	Squirrel cage Motor
Mounting designation	IM 1001
Protected by enclosure	IP 55
Method of cooling	IC 81W
Insulation	Class F
Standards	IEC
Classification	ABS
Ambient temperature, max.	45 °C
Cooling water temp	35 °C
Altitude, max.	1000 m.a.s.l.
Converter supply	ACS 800
Duty type	S1
Temp. rise	Class B (RES)
Connection of stator winding	Star
Rated output	0 - 1500 kW
Voltage	0 - 690 V
Frequency	0 - 50,4 Hz
Speed	0 - 1500,0 rpm
Current	0 - 1470 A
Power Factor	0 - 0,88
Efficiency	0 - 96,3 %
Relat. maximum torque	0 - 2,2
Rated torque	0 - 9549 Nm
Weight of rotor	1120 kg
Total weight of Motor	4410 kg
Inertia rotor	Approx. 33 kgm ²

All Motor data is subject to tolerances in accordance with IEC.

Efficiency based on typical additional load losses acc. measurements.

Motor type code: AMI 450L4L BAFMH

Rated output	1500 kW	Power Factor	0,88
Voltage	690 V	Rated torque	9616 Nm
Frequency	50 Hz	Relat. starting current	5,7
Speed	1490 rpm	Relat. starting torque	0,57
Current	1473 A	Relat. maximum torque	2,2

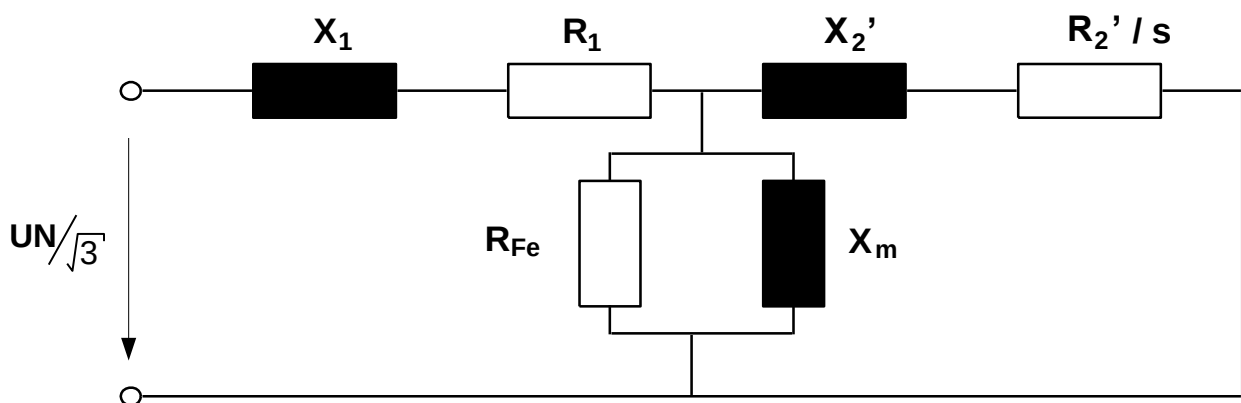


Motor type code: AMI 450L4L BAFMH

Rated output	1500 kW	Power Factor	0,88
Voltage	690 V	Rated torque	9616 Nm
Frequency	50 Hz	Relat. starting current	5,7
Speed	1490 rpm	Relat. starting torque	0,57
Current	1473 A	Relat. maximum torque	2,2

Equivalent circuit between phase and neutral (equivalent star)

Running			
Stator resistance R_1 (125 °C)	0,00236 Ω	Rotor resistance R_2' (115 °C)	0,00202 Ω
Stator reactance X_1	0,0379 Ω	Rotor reactance X_2'	0,0241 Ω
Magnetizing reactance X_m	0,93 Ω	Iron loss resistance R_{Fe}	0,05 k Ω



ANEXO II: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVERSOR DE CORRIENTE

Solar inverters

ABB central inverters
ULTRA-750/1100/1500
750kW to 1560kW



ABB's utility-scale ULTRA inverters combine high efficiency with a wide input voltage range and multiple maximum power point trackers.

The inverters can be configured with up to four independent, high-speed maximum power point trackers (MPPT).

Each precise MPPT accommodates one of the widest input voltage ranges in the market (470 to 900Vdc) to generate more energy and maximize the return on investment.

The ULTRA inverter is a flexible and efficient platform.

Modular design increases uptime and reduces service and maintenance costs. The low cost of ownership, higher energy production and ease of maintenance combine to make the ULTRA inverter the ideal choice for utility-scale solar projects.

ULTRA inverters are rugged.

The liquid-cooled, corrosion-resistant ULTRA inverters are certified by CSA to UL50E type 4X (meets NEMA 4X) and ideally suited for any environmental condition.

ULTRA inverters are durable for long life.

ABB ULTRA inverters utilize an advanced closed-loop liquid cooling system that limits both component temperatures and temperature cycling. ULTRA inverter film capacitors have longer life expectancy than traditional electrolytic capacitors. Generous component derating guidelines are followed. The combination of design and ABB commitment to service ensures the inverter will provide a long-term return on investment.

Highlights:

- The ULTRA inverter operates at high efficiency (98.4% peak, up to 98% CEC).
- The wide input voltage range maximizes energy production.
- Liquid cooling increases reliability of critical components.
- ULTRA inverters are compatible with all types of PV technologies.
- The enclosure is certified to UL50E type 4X (NEMA 4X).
- The inverter output is 690 Vac, three-phase, DELTA configuration.
- The ULTRA inverter operates with up to four MPPT connections.
- ULTRA inverters are certified by CSA to UL1741.

*Inverter shown with optional sunshade and louvers.

Power and productivity
for a better world™ **ABB**



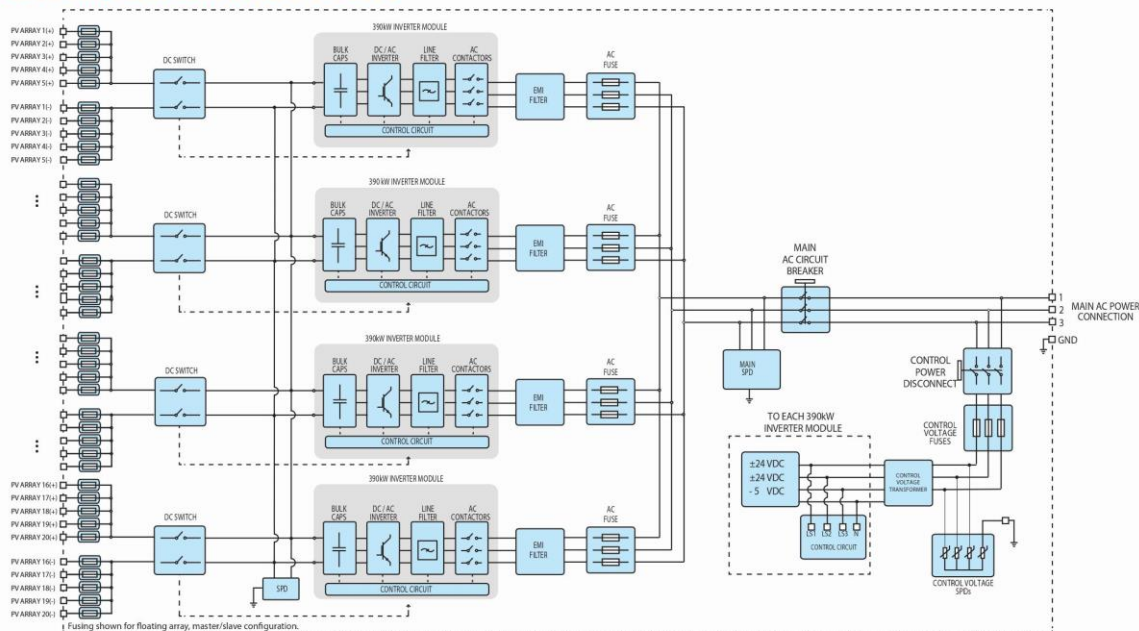
Technical data and types

Type code	ULTRA-750-TL-OUTD-X-US-690				ULTRA-1100-TL-OUTD-X-US-690				ULTRA-1500-TL-OUTD-X-US-690			
X =	-1	-2	-3	-4	-1	-2	-3	-4	-1	-2	-3	-4
Rated output power (Pac) (active)	780kW	750kW	780kW	750kW	1170kW	1000kW	1170kW	1000kW	1560kW	1500kW	1560kW	1500kW
Rated output power (apparent)	780kVA				1170 kVA	1115 kVA	1170 kVA	1115 kVA	1560kVA			
Input side (DC)												
Absolute maximum voltage					1000Vdc							
MPPT voltage range					470-900Vdc							
MPPT range at full power (89°F/ 30°C)	585-850Vdc				585-850 Vdc	540-850 Vdc	585-850 Vdc	540-850 Vdc	585-850Vdc			
MPPT range at full power (120°F/50°C)					650-850Vdc							
Maximum current per 390kW inverter module					700A							
Maximum combined current	1400A				2100A				2800A			
Number of independent MPPT (multi-master)	2				3				4			
Number of independent MPPT (master-slave)	1				1				1			
Number of DC inputs	10				15				20			
DC Connections (Cu or Al)	Cu; 1 x1000 MCM or 2 x 300 MCM, max.				Al; 1 x 1000 MCM or 2 x 400 MCM, max.							
Array Grounding					Negative or positive							
DC cable entry					Bottom							
Inverter output side (AC)												
Rated voltage					690Vac (3 Phase / 3 Wire)							
Operating range ¹					607-759Vac (3 Phase / 3 Wire)							
Grid frequency (adjustment range)					59.3-60.5Hz (57-63Hz)							
Maximum output current	655A				983A	932A	983A	932A	1310A			
Power factor control range					1.0 Nominal (adjust ±0.90 to ±0.99)							
Total harmonic distortion (@ rated output power)					<3%							
AC cable size (Cu or Al)	Up to 6 cables per phase (maximum 1000 MCM), 90°C terminals, 3/8" threaded stud											
AC cable entry					Bottom							
Input protection devices												
Reverse polarity protection					Yes							
Overvoltage protection type					SPD (Class II)							
DC switch per 390kW inverter					1000A / 1000V							
Fuse size on each input					(125-400A) / 1000V							
PV array isolation control					According to NEC							
Output protection devices												
Anti-islanding protection					IEEE 1547							
Overvoltage protection					SPD (Class II)							
AC fuse per 390kW inverter module					Yes							
AC circuit breaker (adjustable)	800				1200				1600			
Night time disconnect					Automatic							

¹ The active / reactive power output varies as a function of output voltage

2 ABB Solar Inverters | Product flyer for ULTRA-750/1100/1500

Block diagram of ULTRA-1500 -TL-OUTD

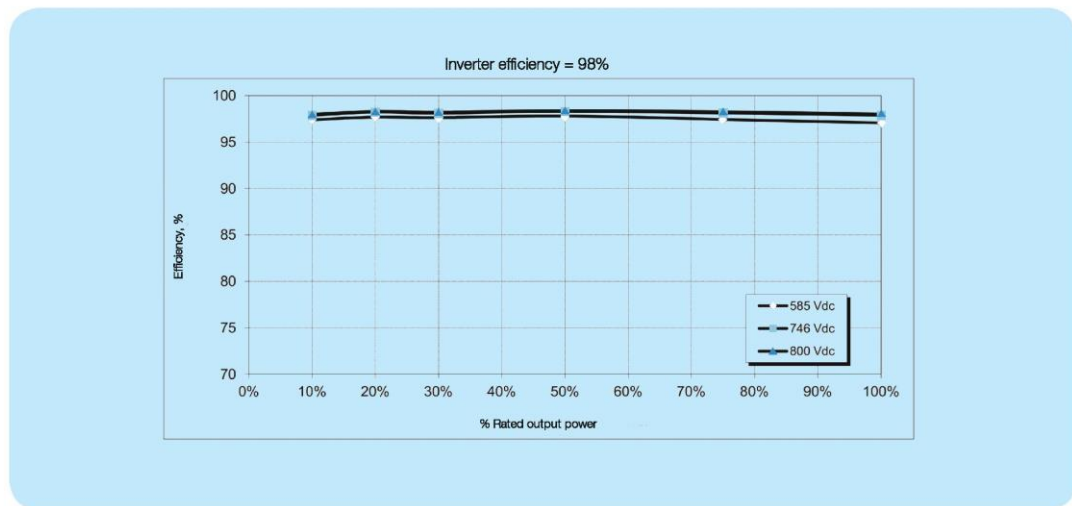


Technical data and types

Type code	ULTRA-750-TL-OUTD-X-US-690				ULTRA-1100-TL-OUTD-X-US-690				ULTRA-1500-TL-OUTD-X-US-690			
X=	-1	-2	-3	-4	-1	-2	-3	-4	-1	-2	-3	-4
Efficiency												
CEC efficiency	97.5%	97.5%	98.0%	98.0%	97.5%	97.5%	98.0%	98.0%	97.5%	97.5%	98.0%	98.0%
Maximum efficiency	98.4%											
Operating performance												
Stand-by consumption/night-time power loss	302W	302W	347W	347W	329W	329W	382W	382W	374W	374W	430W	430W
Auxiliary power supply connection type	690Vac / 3 Phase											
Inverter internal power consumption	<0.50%				<0.40%				<0.50%			
Environmental												
Ambient temperature range, operating	-4°F to 140°F (-20°C to 60°C) with derating above 122°F (50°C)											
Noise emission level at 1m (EN62109)	<78dBA											
Maximum operating altitude without derating	6560ft (2000m)											
Relative humidity	0-100%, condensing											
Communication												
Communication protocol	RS-485, Modbus RTU, Modbus TCP (optional), Ethernet IP (optional)											
User-interface	5.7" touchscreen LCD											
Monitoring system	AURORA Universal, PVI-AEC-EVO											
Mechanical Specifications												
Environmental protection rating	UL50E Type 4X (NEMA 4X)											
Seismic	IBC 2012 (ASCE 7-10), Sds = 2.0g, Risk Category I and II											
Cooling	Liquid cooled with on-board heat exchanger											
Dimension (Height x width x depth)	115in x 118in x 58in (2912mm x 3003mm x 1470mm)				115in x 146in x 58in (2912mm x 3703mm x 1470mm)				115in x 173in x 58in (2912mm x 4403mm x 1470mm)			
Unit weight (approximate)	9000lbs (4100kg)				10500lbs (4800kg)				12000lbs (5500kg)			
Swappable 390kW power conversion module weight	>121lbs (55kg)											
Safety												
Marking	CSA _{US} UL1741											
Safety and EMC standards	IEEE1547, IEEE1547.1, NERC PRC-024-1, WECC, BDEW											
Utility interconnect standards	IEEE1547, IEEE1547.1, NERC PRC-024-1, WECC, BDEW											
Warranty												
Standard warranty	5 years											
Extended warranty	10, 15, 20 years											

1. The active / reactive power output varies as a function of output voltage

Maximize yields with high efficiency and advanced grid support



Maximum energy and return on investment

ABB ULTRA inverters have industry-leading peak and weighted efficiencies. Optimized and accurate system control, an industry-leading MPPT algorithm, and a high-efficiency power converter design ensure that maximum energy is delivered to the power distribution network from the PV modules. For plant owners this translates into a high rate of return.

Proven components

The inverters comprise proven and reliable components, with a long track record of performance in demanding applications and harsh environments. Equipped with extensive electrical and mechanical protection, the inverters operate reliably for the life of the plant.

Multi-stage modular design

ULTRA inverters have a two-stage modular architecture for maximum design flexibility. The two-stage topology results in a wide MPPT window and a high (690Vac) output voltage. The modular design (390kW blocks) allows the integrator to choose an inverter with a master-slave or multimaster configuration. This allows integrators to optimize production for each site and reduces installation and service times.

Effective connectivity to the power distribution network

ABB's transformerless ULTRA inverters enable system integrators to design a PV power plant using the optimum combination of different inverter power ratings. Inverters are connected to the medium voltage (MV) power distribution network either centrally or in a distributed architecture, depending on the plant design and size.

Advanced grid support features

ABB ULTRA inverters include all the latest grid support and monitoring features including active/reactive power curtailment, low/high voltage ride through, power factor and reactive power control.

All these features can be accessed through a supervisory control and data acquisition (SCADA) system. Voltage and frequency droop functions can be enabled for specific applications.

ANEXO III: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BATERÍAS LIFEPO4

SinoPoly

<http://www.sinopolybattery.com>

HK Head Office

Tel: (852) 3104 2803

Fax: (852) 2877 0628

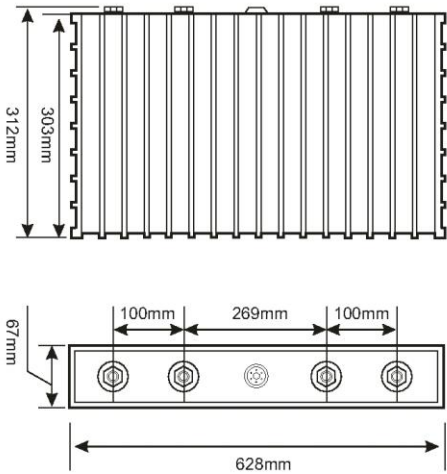
E-mail: sales@sinopolybattery.com

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-LFP700AHA



技术参数 SPECIFICATION

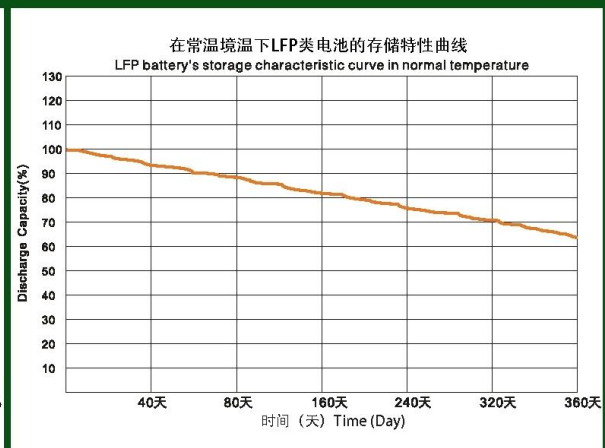
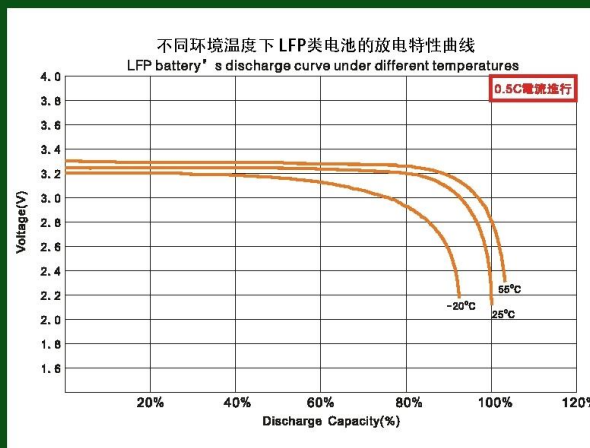
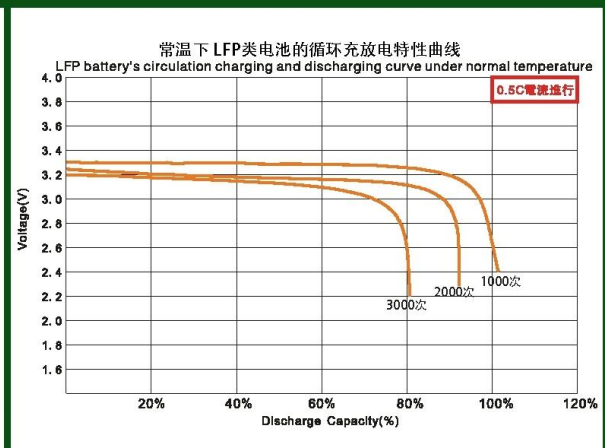
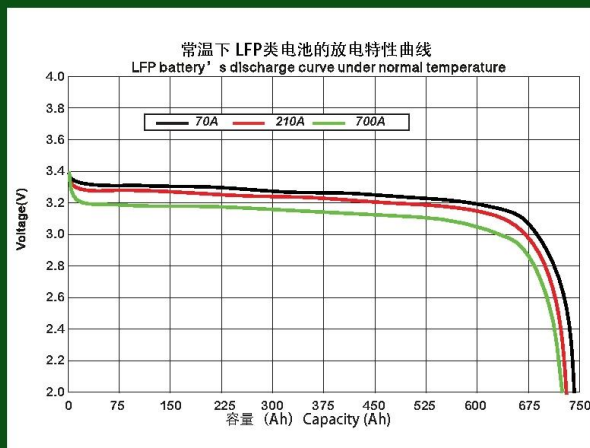
型号(MODEL):SP-LFP700AHA

标称容量 Nominal Capacity	700Ah,2240Wh	
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	21.9±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,210A	0.3C,210A
最大恒电流 Max Constant Current	3C,2100A	3C,2100A
最大脉冲电流(10秒) Max Impulse Current (10s)	3C,2100A	5C,3500A
工作温度 Operating Temperature	0°C ~ +70°C	-20°C ~ +70°C



SP-LFP700AHA型电池的充放电特性 SP-LFP700AHA CHARGE & DISCHARGE CHART



ANEXO IV: DATOS JUAN SEBASTIÁN ELCANO

AÑO	Nº Tramo	Salida	Llegada	h.Vela	h.Motor	h.Mixta	h.Totales
2014	1	San Fernando	Cagliari	86,8	87,5	17,6	191,9
2014	2	Cagliari	Mahón	24,8	2,5	65,9	93,2
2014	3	Mahón	Sète	79,8	16,5	20,7	117
2014	4	Sète	Melilla	97,8	55	100,3	253,1
2014	5	Melilla	San Fernando	53,3	61,7	1,6	116,6
2014	6	Cádiz	Tenerife	97,2	7,2	36,4	140,8
2014	7	Tenerife	Praia	134,2	13	18,9	166,1
2014	8	Praia	Cartagena	529,9	3,5	3	536,4
2014	9	Cartagena	S.Domingo	9,8	42,1	60	111,9
2014	10	S.Domingo	Nueva York	154	76	36,6	266,6
2014	11	Nueva York	Dublín	358,5	134,1	30,1	522,7
2014	12	Dublín	Hamburgo	32	93	24,5	149,5
2014	13	Hamburgo	Oslo	48	31,6	23,9	103,5
2014	14	Oslo	Marín	84,9	81,3	54,5	220,7
2014	15	Marín	Cádiz	64,5	31,8	0	96,3

Dist.Vela(NM)	Dist.Vela(km)	Dist.Motor(NM)	Dist.Motor(km)	Dist.Mixta(NM)	Dist.Mixta(km)	Dist.Total(NM)	Dist.Total(km)
522,1	966,9	379,8	703,3	100,1	185,3	1.002,0	1.855,7
76	140,7	13	24	311	575,9	400	740,8
237,4	439,6	70,6	130,7	98,5	182,4	406,5	752,8
307,5	569,5	188	348,1	472,5	875	968	1.792,7
146	270,3	361	668,5	7	12,9	514	951,9
572	1059,3	28	51,85	225	416,7	825	1.527,9
788,9	1461	87,1	87,1	153	283,3	1029	1.905,7
3428,4	6349,3	8	14,8	20,7	38,3	3457,1	6.402,5
30	55,5	268,3	496,8	362,7	671,7	661	1.224,2
865	1601,9	559	1035,2	284	525,9	1708	3.163,2
2224	4118,8	935	1731,6	224	414,8	3383	6.265,3
118	218,5	646	1196,6	184	340,7	948	1.755,7
137	253,7	224	414,8	184	340,7	545	1.009,3
503	931,5	567	1050,8	386	714,8	1456	2.696,5
289	535,2	248	459,2	0	0	537	994,5

Vel.Vela max(kn)	Vel.Vela max(kmh)	Vel.Vela med(kn)	Vel.Vela med(kmh)	Vel.Motor med(kn)
10,1	18,7	6,1	11,3	4,3
11,5	21,3	3,1	5,7	5,2
7,6	14,1	3,0	5,6	4,3
10,5	19,4	3,1	5,7	3,4
6,5	12,0	2,7	5,0	5,9
12,0	22,2	5,9	10,9	3,9
11,8	21,9	5,9	10,9	6,7
12,7	23,5	6,5	12,0	2,3
6,5	12,0	3,1	5,7	6,4
10,0	18,5	5,6	10,4	7,4
12,4	23,0	6,2	11,5	7,0
5,6	10,4	3,7	6,9	6,9
5,4	10,0	2,9	5,4	7,1
7,8	14,4	5,9	10,9	7,0
6,2	11,5	4,5	8,3	7,8

Vel.Motor med(kmh)	Vel.Mixta med(kn)	Vel.Mixta med(kmh)	Vel.Media(kn)	Vel.Media(kmh)
8,0	5,7	10,6	5,2	9,6
9,6	4,7	8,7	4,3	8,0
8,0	4,8	8,9	3,5	6,5
6,3	4,7	8,7	3,8	7,0
10,9	4,4	8,1	4,4	8,1
7,2	6,2	11,5	5,9	10,9
12,4	8,1	15,0	6,2	11,5
4,3	6,9	12,8	6,4	11,9
11,9	6,0	11,1	5,9	10,9
13,7	7,8	14,4	6,4	11,9
13,0	7,4	13,7	6,5	12,0
12,8	7,5	13,9	6,3	11,7
13,1	7,7	14,3	5,3	9,8
13,0	7,1	13,1	6,6	12,2
14,4	0,0	0,0	5,6	10,4

AÑO	CONSUMO (litros)		
	PROPULSIÓN	AUXILIARES	TOTAL
2008	218180	157220	375400
2009	230418	152765	383183
2010	229875	154330	384205
2011	153035	95565	248600
2012	100450	99150	199600
2013	119250	110950	230200
2014	165435	154315	319750

TRAYECTO	CONSUMO (litros)			CONSUMO (MJ)		
	PROPULSIÓN	AUXILIARES	TOTAL	PROPULSIÓN	AUXILIARES	TOTAL
S.Fernando-Cagliari	10405	9595	20000	130593,16	154834,52	285427,67
Cagliari-Mahón	6440	4660	11100	80828,44	75198,42	156026,86
Mahón-Sète	4450	5850	10300	55851,95	94401,45	150253,40
Sète-Melilla	3495	12655	16150	43865,75	204213,74	248079,48
Melilla-Cádiz	1420	5830	7250	17822,42	94078,71	111901,13
Cádiz-Tenerife	2660	7040	9700	33385,66	113604,48	146990,14
Tenerife-Cabo Verde	2645	8305	10950	33197,40	134017,79	167215,18
Cabo Verde-Cartagena	2780	26820	29600	34891,78	432794,34	467686,12
Cartagena-S.Domingo	13005	5595	18600	163225,76	90286,52	253512,27
S.Domingo-Nueva York	23770	13330	37100	298337,27	215106,21	513443,48
Nueva york-Dublín	21065	26135	47200	264386,82	421740,50	686127,31
Dublín-Hamburgo	10325	7475	17800	129589,08	120624,08	250213,15
Hamburgo-Oslo	8725	5175	13900	109507,48	83508,98	193016,45
Oslo-Marín	37965	11035	49000	476498,72	178071,80	654570,51
Marín-S.Fernando	16285	4815	21100	204393,04	77699,66	282092,69