



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

Diseño básico de un motor fuera borda híbrido eléctrico

**Autor: Ricardo Miranda Prado
Director: Juan de Norverto Moriñigo**

**Madrid
Junio 2016**

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Ricardo Miranda Prado, como alumno de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS (COMILLAS), DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “Diseño básico de un motor fuera borda híbrido eléctrico” (Proyecto Fin de Grado), que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al

honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

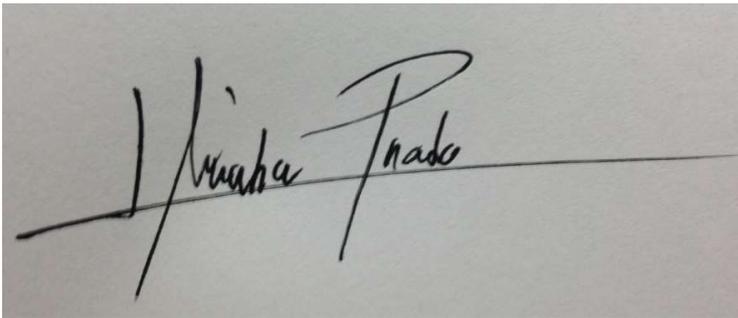
La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso

de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 26 de junio de 2016

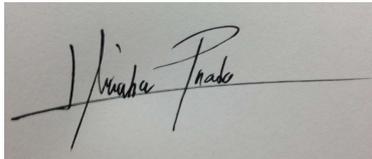
ACEPTA

A photograph of a handwritten signature in black ink on a light-colored surface. The signature is written in a cursive style and reads "Ricardo Miranda Prado". A horizontal line is drawn across the signature.

Fdo: Ricardo Miranda Prado

Proyecto realizado por el alumno:

Ricardo Miranda Prado



Fdo.:

Fecha: 26/Junio/2016

Autorizada la entrega del proyecto cuya información no es de carácter
confidencial

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Juan de Norverto Moriñigo

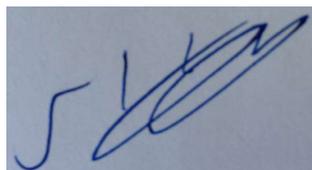


Fdo.:

Fecha: 27/Junio/2016

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fernando de Cuadra García



Fdo.:

Fecha: 27/Junio/2016

DISEÑO BÁSICO DE UN MOTOR FUERA BORDA HÍBRIDO ELÉCTRICO

Autor: Miranda Prado, Ricardo.

Director: De Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

La sostenibilidad es un tema de gran interés para la población. ¿Seremos capaces de seguir manteniéndonos con los recursos que tenemos? Algunos opinan que al ritmo al que va avanzando la tecnología cada vez se necesitan menos recursos. Otros opinan que si seguimos a este ritmo se agotarán los recursos.

El transporte acuático hoy en día tiene una dependencia casi exclusiva del petróleo. Este recurso al no ser renovable llegará un momento antes o después en el que se agote, ¿y entonces qué? Hoy por hoy es indispensable en el sector, sin embargo, esto no quiere decir que no lo podamos sustituir. Contamos con nuevas tecnologías y recursos que reúnen las características necesarias para sustituir al petróleo el día de mañana.

Este proyecto intenta comprender la situación actual y el problema que estamos generando con la alta dependencia del petróleo e intentar colaborar proponiendo una solución híbrida eléctrica para los fuera bordas que sea económicamente y medioambientalmente viable.

Se tienen dos maneras de clasificar los vehículos híbridos eléctricos. En primer lugar según su configuración dividiéndose en hibridación en serie e hibridación en paralelo. En segundo lugar se podrían clasificar según el grado de electrificación.

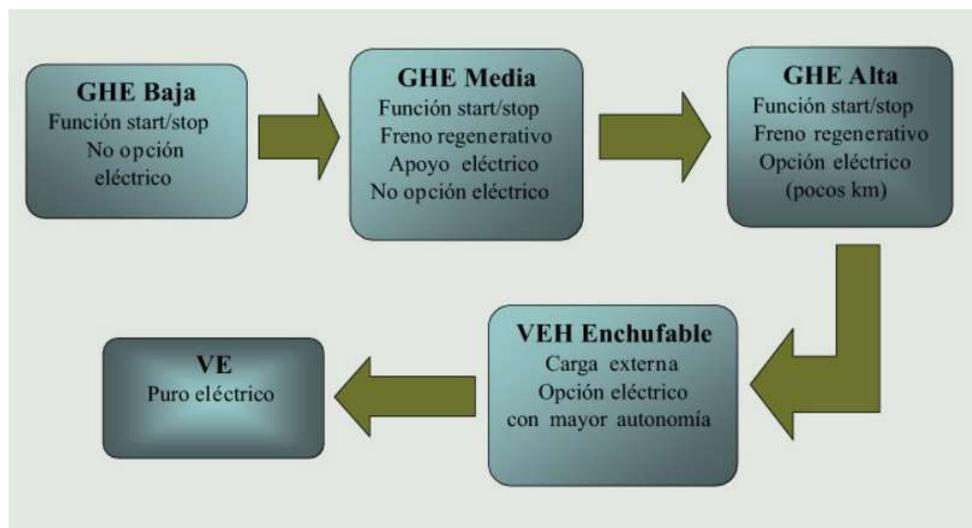


Fig. 50: Clasificación según el grado de electrificación. [1]

La elección entre un sistema en serie o en paralelo radica en el uso que va a tener dicho vehículo y el diseño óptimo para ese uso. Si lo que se busca es un vehículo eléctrico con asistencia de un motor de combustión que trabaje en unos límites aceptables y que mantenga las baterías en carga constantemente entonces se necesitaría una configuración en serie. En cambio si lo que se busca es un vehículo con todas las características que puede aportar un vehículo de combustión interna pero con menos emisiones y consumo reducido entonces de lo que se trata es de una configuración en paralelo. Atendiendo a este criterio, la configuración del motor híbrido de este proyecto es en paralelo.

Actualmente existen fuera bordas eléctricos y todo tipo de barcos híbridos y eléctricos pero todavía el mercado no dispone de ningún tipo de fuera borda híbrido. Es por ello que en este proyecto intentaremos configurar uno y ver si realmente es rentable.

En este proyecto se ha empezado por exigirle al fuera borda una serie de requisitos entre los que destaca la capacidad para recorrer cualquier puerto de España en modo totalmente eléctrico, es decir, con una velocidad máxima de 3 nudos. Además se le ha exigido al motor eléctrico la capacidad de colaborar en trayectos largos (a velocidad de crucero de 22 nudos) aportando energía a la par que aporta el motor térmico.

Primero se ha empezado por el diseño del casco de la embarcación. Puede parecer extraño pero dependiendo del tipo de casco de la embarcación, el fuera borda necesita una potencia u otra para vencer las fuerzas resistentes provocadas por el mar. Es por ello que esta parte es fundamental como base para analizar la efectividad del motor híbrido.

Una vez escogido el casco se han analizado las distintas fuerzas que pueden afectar para así escoger el motor eléctrico y el motor térmico que resulten más interesantes para cumplir con los requerimientos solicitados. Estas fuerzas se pueden clasificar en tres, la resistencia aerodinámica, la resistencia hidrodinámica y la resistencia de las olas. Sin embargo todas estas resistencias tendrán mayor o menor influencia dependiendo del número de Froude en el que nos encontremos. Un número de Froude bajo nos permite dimensionar hasta velocidades de 8 nudos y nos indica que la resistencia de las olas se puede despreciar por completo. Por lo tanto, para el análisis del motor eléctrico se ha tenido en cuenta esto además de la potencia requerida para acelerar la embarcación de 0 a 3 nudos que es lo que realmente ha determinado la potencia eléctrica solicitada (6,4 kW).

A continuación se ha dimensionado el motor térmico. Existen varios métodos para realizar la estimación de potencia de una embarcación. El método de Savitsky es un método usado para estimar la potencia necesaria para embarcaciones planeadoras. Este es el caso de nuestra embarcación por lo tanto se ha utilizado para dimensionar la potencia necesaria (184 kW).

Posteriormente se ha hecho un análisis de los distintos tipos de baterías que se encuentran hoy por hoy en el mercado.

Tipo de Batería	Litio-Ácido	Niquel-Cadmio	Ion Litio
Voltaje (V)	2.0	1.2	3.0
Densidad de potencia	Moderate	Moderate	Very high
Energía específica (Wh/kg)	30-40	50-60	130-200
Autodescarga(%per month)	4-8	20-30	1-2
Ciclos de vida	1200-1800	>3500	3000-3200
Comparación del peso para la misma capacidad.	4	2	1
Comparación del tamaño para la misma capacidad.	3.5	1.8	1
Coste	Moderate	Moderate	High

Fig. 33: Representación comparación baterías. [2]

Se ha decidido usar las baterías de ion-litio ya que son las baterías que menos pesan, presentan un tamaño más reducido, sus ciclos de vida son bastante aceptables, tienen gran densidad de potencia y son las que más tardan en descargarse. La energía total necesaria para cumplir con los requisitos solicitados es 2694Wh.

Finalmente se ha dimensionado el tanque de combustible usando las gráficas de potencia y consumo de combustible obtenidas a partir del fabricante de nuestro motor térmico. Esto nos ha llevado a un tanque de 300 litros para recorrer una distancia de 350 km a 17 nudos.

Una vez que el fuera borda está completamente diseñado se ha procedido a analizar los resultados y ver si es rentable o no. Para ello se ha analizado dos modos de funcionamiento. Primero el totalmente eléctrico para entrar y salir de un puerto de 7 km. En este caso, se ha podido observar cómo se ahorran 24 litros de combustible, 63,58 kg de CO_2 y 25 euros. En el segundo modo de funcionamiento que implica el uso del motor eléctrico y térmico en paralelo para recorrer una distancia de trayecto habitual como puede ser la distancia entre Ibiza y Formentera, se ha podido observar cómo se ahorran 7 litros de combustible, 18 kg de CO_2 y 7 euros.

Además, se ha hecho una crítica de la reglamentación náutica actual con respecto a las emisiones, en particular de los grandes buques que hoy en día son imprescindibles para el transporte de mercancías. Es necesaria una nueva regulación que proponga una nueva hoja de ruta pues de seguir por este camino se pone en peligro el bienestar de los seres humanos y del planeta.

Como conclusión final y en vista de los resultados obtenidos, se puede observar como el proyecto es favorable desde las tres perspectivas. Es decir, es favorable desde el punto de vista medio ambiental ya que se reduce considerablemente la emisión de

hidrocarburos. Es favorable desde el punto de vista del ahorro de combustible lo cuál es realmente importante ya que como comentamos al principio, el petróleo es una energía no renovable y llegará un momento en el que se agote. Finalmente, hay que destacar que en favorable en el aspecto económico a largo plazo que es lo que realmente le importa a la gente. Por todos estos motivos, y como ya se ha señalado anteriormente, la ley debería ser más estricta en el tema de la contaminación aportando incluso subvenciones para ayudar a que las grandes empresas introduzcan este tipo de motores que presentan aspectos positivos para la humanidad y el planeta tierra.

BASIC DESIGN OF AN ELECTRICAL HYBRID OUTBOARD ENGINE

ABSTRACT

Sustainability is a topic of great interest to the population. Will we be able to continue keeping with the resources we have? Some argue that at the pace at which technology is advancing fewer resources are needed. Others believe that if we continue at this rate resources will run out.

Nautical transport has an almost exclusive dependence on oil. This non-renewable resource will extinguish, and then what? Today oil is indispensable in the sector, however, this does not mean that we cannot replace it. We have new technologies and resources that meet the characteristics needed to replace it tomorrow.

This project seeks to understand the current situation and the problem based on generating high dependence on oil and try to collaborate by proposing an electric hybrid solution for outboards that is economically and environmentally feasible.

There are two ways of classifying hybrid electric vehicles. First among the configuration, it exists serial hybridization and hybridization in parallel. Second they could be classified according to the degree of electrification.

The choice between a system in series or parallel is the use that will have such vehicle and the optimal design for that use. If what is sought is an electric vehicle with assistance of a combustion engine working within acceptable limits in order to keep the batteries constantly charged what we need is a serial configuration. However, if what is sought is a vehicle with all the features that can provide an internal combustion vehicle but with lower emissions and reduced consumption then what comes is a parallel configuration. In response to this criterion, the configuration of the hybrid engine of this project is in parallel.

Currently there exists electrical outboards and all kinds of hybrid and electric boats but the market does not offer any hybrid outboard. That is why in this project we will try to set up one and see if it is profitable.

This project has begun by demanding a series of requirements for the outboard. Among this we have underlined the ability to traverse any port of Spain in all-electric mode, with a maximum speed of 3 knots. It has also been demanded the ability of becoming influent on long journeys (a cruising speed of 22 knots) providing energy to the torque provided by the engine.

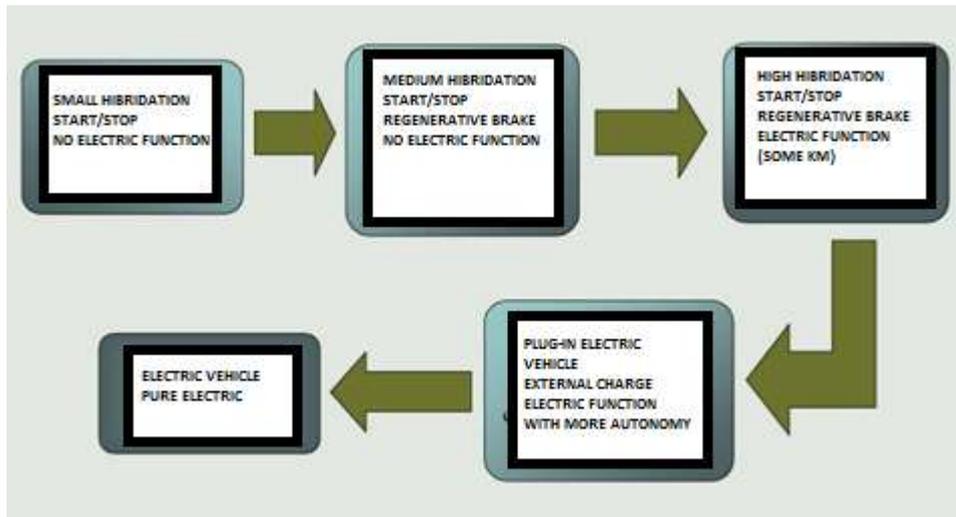


Fig. 50: Classification according to the degree of electrification. [1]

First should be designed the hull. It may seem strange but depending on the type of hull, the outboard needs a power or another to overcome the resistance forces caused by the sea. That is why this part is essential as a basis for analysing the effectiveness of the hybrid engine.

Once chosen the hull, have analysed the various forces that can affect order to choose the electric motor and the internal combustion engine that are most interesting to meet the requirements requested. These forces can be classified in three: drag, hydrodynamic resistance and the resistance of the waves. However all these resistors will have more or less influence depending on the Froude number. A low Froude number allows us to measure up to speeds of 8 knots and indicates that the strength of the waves can be neglected altogether. Therefore, for analysis of the electric motor has taken this into account in addition to the power required to accelerate the boat from 0 to 3 knots which is what actually determined the requested electric power (6.4 kW).

Below it dimensioned the engine. There are several methods for estimating boat's power. Savitsky method is a method used to estimate the power required for planing boats. This is the case of our vessel therefore has been used for dimensioning the required power (184 kW).

Subsequently made an analysis of the different types of batteries that are today in the market.

Cell type	Lead-Acid	Nickel-Cadmium	Lithium-Ion
Voltage (V)	2.0	1.2	3.0
Power density	Moderate	Moderate	Very high
Specific energy (Wh/kg)	30-40	50-60	130-200
Self-discharge (%per month)	4-8	20-30	1-2
Life cycles	1200-1800	>3500	3000-3200
Weight comparison for the same capacity	4	2	1
Size comparison for the same capacity	3.5	1.8	1
Cost	Moderate	Moderate	High

Fig. 33: Representation comparison batteries. [2]

It was decided to use lithium-ion batteries as the batteries that weigh less, have a smaller size, their life cycles are quite acceptable, have high power density and take more to download. The total energy needed to meet the requirements requested is 2694Wh.

Finally it dimensioned fuel tank using the graphs of power and fuel consumption obtained from the manufacturer of our engine. This has led us to a tank of 300 litres for a distance of 350 km to 17 knots.

Once the outboard is completely designed it has proceeded to analyse the results and see if it is profitable or not. For this we have analysed two operating modes. First all-electric to enter and exit a port 7 km. In this case, it has been observed how 24 litres of fuel, 63.58 kg of CO_2 and 25 euros are saved. In the second mode of operation involves the use of electric and combustion engine in parallel for a distance of usual route such as the distance between Ibiza and Formentera, has been observed how 7 litres of fuel are saved, 18 kg of CO_2 and 7 euros.

Moreover, it has done a review of the current nautical regulations regarding emissions, particularly of large ships which nowadays are essential for the transport of goods. A new regulation proposing a new road map is needed as to continue on this path it puts the welfare of human beings and the planet in danger.

As a final conclusion and in view of the results, you can see how the project is favourable from the three perspectives. That is, it is favourable from the environmental point of view since the emission of hydrocarbons is greatly reduced. It is favourable from the viewpoint of fuel which is really important because as discussed earlier, the oil is a non-renewable energy and there will come a time when it is depleted. Finally, it is favourable in the long-term economic aspect which is what really matters to people. For all these reasons, and as noted above, the law should be stricter on the issue of pollution

contributing even grants to help large companies introduce such engines with positive aspects for humanity and the planet Earth.

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

Diseño básico de un motor fuera borda híbrido eléctrico

Autor: Ricardo Miranda Prado
Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid
Junio 2016

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. ALTERNATIVAS ACTUALES	18
1.1.1. Biodiesel	18
1.1.2. Etanol	18
1.1.3. Biogás	18
1.1.4. Hidrógeno	19
1.1.5. Híbridos	19
1.1.6. Alternativa 100% eléctrica	19
2. OBJETIVOS	20
3. RECURSOS A EMPLEAR	20
4. MOTIVACIÓN	21
5. CLASIFICACIÓN DEL VEHÍCULO HÍBRIDO	21
5.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CONFIGURACIÓN	21
5.1.1. Configuración en serie	21
5.1.2. Configuración en paralelo	22
5.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE ELECTRIFICACIÓN	24
5.2.1. Grado de electrificación baja (Micro hybrid)	24
5.2.2. Grado de electrificación media (Mild hybrid)	24
5.2.3. Grado de electrificación alta (Full hybrid)	25
5.2.4. Vehículos híbridos enchufables (Plug-in hybrid):	25
6. MOTORES, VEHÍCULOS Y BARCOS ACTUALMENTE EXISTENTES	25
6.1. MOTOR ELÉCTRICO FUERABORDA EPROPULSION	25
6.2. TORQEEDO CRUISE	26
6.3. ODC MARINE MONO 10.4 M 25 PAX	27
6.4. ODC MARINE MONO 12 M 50 PAX	27
6.5. LUXURY SEA 675	28
6.6. STORMER PATROLBOAT 100	29
6.7. DELPHIA ESCAPE 1050 ECO	30
6.8. ARCADIA 85	30
6.9. FELLER YATCHING EVOLUTION 8.50	31
6.10. COCKWELLS RUNABOUT INTRABORDA	32
6.11. INVESTIGACIÓN FUTURA (HACIA DONDE VAMOS)	33
6.11.1. Energía Solar	33
6.11.2. Agua Salada	34
7. ELECCIÓN DEL CASCO	35
8. POTENCIA ELÉCTRICA REQUERIDA	36

9. POTENCIA TÉRMICA REQUERIDA	51
10. SELECCIÓN DE BATERÍAS	54
10.1. <i>Baterías de Plomo Ácido</i>	55
10.1.1. Baterías de plomo-ácido inundadas	56
10.1.2. Baterías de ácido reguladas por válvula	56
10.2. <i>Baterías de Níquel-Cadmio</i>	57
10.3. <i>Baterías de Ion-Litio</i>	57
11. DIMENSIONAMIENTO TANQUE DE COMBUSTIBLE	60
12. CRÍTICA A LA REGLAMENTACIÓN NÁUTICA ACTUAL	62
12.1.1. Problemática del combustible, el azufre	62
13. RESULTADOS	68
13.1. <i>Ahorro de combustible</i>	68
13.1.1. Uso exclusivo del motor eléctrico	68
13.1.2. Uso con motor eléctrico y motor térmico en paralelo	69
13.2. <i>Ahorro de emisiones</i>	71
13.2.1. Motor puramente eléctrico.	71
13.2.2. Motor térmico y eléctrico en paralelo.	72
13.3. <i>Ahorro económico</i>	72
14. CONCLUSIÓN	75
15. BIBLIOGRAFÍA	75
16. Anexos	78
16.1. <i>Anexo A: Coches</i>	78
16.1.1. TOYOTA PRIUS	78
16.1.2. VOLKSWAGEN PASSAT GTE	78
16.1.3. LEXUS RX 450H	79
16.1.4. MITSUBISHI OUTLANDER PHEV	79
16.1.5. AUDI Q7 E-TRON QUATTRO	80
16.1.6. HONDA NSX	81

1. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad es un tema que nos preocupa terriblemente. ¿Vamos a ser capaces de seguir manteniéndonos con los recursos que tenemos? Algunos opinan que al ritmo al que va avanzando la tecnología cada vez necesitamos menos recursos. Otros opinan que si seguimos a este ritmo se nos agotarán los recursos y lo peor de todo nos cargaremos el planeta. Enfocándonos más en el tema que nos ocupa, el transporte acuático hoy en día tiene una dependencia casi exclusiva del petróleo. Este recurso al no ser renovable llegará un momento antes o después en el que se agote, ¿y entonces qué? Hoy por hoy es indispensable en el sector, sin embargo, esto no quiere decir que no lo podamos sustituir. Contamos con nuevas tecnologías y recursos que reúnen las características necesarias para sustituir al petróleo el día de mañana. A continuación analizaremos las alternativas actuales.

1.1. ALTERNATIVAS ACTUALES

1.1.1. Biodiesel

Este tipo de combustible presenta una serie de ventajas muy atractivas. Para empezar, no emite azufre, siendo este nocivo para los seres humanos. Es fácilmente incorporable a los actuales motores ya que no requieren adaptación alguna y además realiza labores de lubricación. Como inconveniente la mezcla gasóleo-aceites vegetales se congela más rápidamente que el petróleo y por lo tanto no se podría utilizar en países con bajas temperaturas. De cara a su uso en un motor, el biodiesel produce un 5% menos de potencia que en el caso de utilizar gasóleo normal. Sin embargo, esta diferencia no se nota al presentar mejores propiedades de combustión y lubricación. Finalmente hay que destacar que en su combustión se generan más residuos que podrían atascar los filtros [3].

1.1.2. Etanol

Entre las ventajas del Etanol se encuentran en la reducción de la cantidad de dióxido de carbono generada a la par que el rendimiento y las prestaciones del motor aumentan. Como inconvenientes presenta características que lo hacen más volátil y corrosivo. Además requiere que se adapte el motor si se utiliza con una alta concentración. El uso del bioetanol ya aparece en ciertas gasolineras de nuestro país con un precio altamente competitivo, por debajo de un euro el litro. Cabe destacar que no se puede mantener el tanque lleno un largo periodo de tiempo con este tipo de combustible debido a que el etanol es higroscópico, es decir, que absorbe agua del ambiente.

1.1.3. Biogás

Resulta altamente ventajoso el hecho de que se pueda obtener a partir de residuos. En contra nos encontramos con el hecho de que presenta dificultades para ser almacenado y distribuido. Además, es menos eficiente de cara a la obtención de energía. Actualmente se pueden encontrar motores que utilizan el biogás, obteniendo este a partir de la fermentación de materiales orgánicos biodegradables como residuos.

1.1.4. Hidrógeno

Este elemento es altamente eficiente ya que genera más energía por unidad de volumen y tan solo emite vapor de agua. Como inconvenientes nos encontramos que su producción a partir de energías renovables aún no es viable. Los motores que utilizan este tipo de combustible generan numerosas ventajas pero cabe destacar que el catalizador que se usa en la combustión y que hace posible la reacción química esta hecho de platino lo cual provoca que se encarezca considerablemente el precio.

1.1.5. Híbridos

Este tipo de motores ya se encuentran actualmente en el mercado y aportan un ahorro considerable de la gasolina al poder funcionar en ocasiones con un motor eléctrico. En contra nos encontramos con que este tipo de motores no prescindan totalmente de la gasolina y además las baterías con las que funcionan hacen que el precio del producto se encarezca. En la actualidad podemos encontrar este tipo de motores en ciertos yates. Sin embargo, el dilema de la duración de estas baterías sigue siendo un serio problema.

1.1.6. Alternativa 100% eléctrica

Es una alternativa excelente al poseer una serie de características muy atractivas. Entre ellas cabe destacar la no emisión de humos junto con que son coches realmente silenciosos. Además su consumo es mínimo, aproximadamente de 0,50 céntimos cada 50 kilómetros, y cada vez tienen más autonomía.

Como desventaja principal nos encontramos con que España y muchos más países todavía no están dotados con la infraestructura suficiente como para dar cobertura a este tipo de vehículos. Quizá el freno al avance de estas nuevas tecnologías se encuentre en los intereses de las grandes corporaciones petrolíferas.

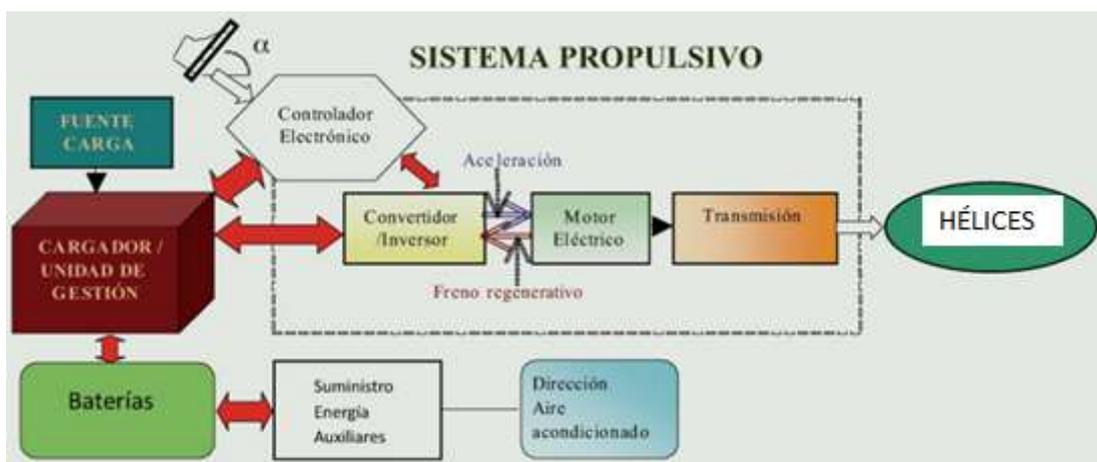


Fig. 1: Esquema conceptual de la configuración de un vehículo eléctrico.

Después de analizar el conjunto de alternativas al petróleo se obtienen varias conclusiones en claro. Actualmente hay muchas alternativas atractivas entre ellas cabría destacar el uso de motores eléctricos. Sin embargo, hay que poner los pies en la tierra y aceptar que hoy por hoy los motores 100% eléctricos tienen una serie de limitaciones en sus prestaciones que el consumidor no está dispuesto a rechazar (autonomía, estética...). Además, las grandes corporaciones petrolíferas van a frenar todo lo posible las alternativas radicales al petróleo. Es por ello que actualmente la opción híbrida es el futuro más próximo y sobre la que vamos a centrar el eje del proyecto.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es muy claro. Una vez que se sabe que el eje del proyecto radica en el diseño de un fueraborda híbrido y visto que no hay actualmente en el mercado se tiene que fabricar uno. Se pretende estimar cuál va a ser la potencia eléctrica y la potencia térmica necesaria para que una embarcación diseñada previamente cumpla ciertos objetivos. Estos consisten en que la embarcación sea capaz de ir a una velocidad de 3 nudos en puerto usando únicamente el motor eléctrico y que sea capaz de alcanzar una velocidad de crucero de 22 nudos usando ambos motores. Además se verá si es rentable fabricar un motor con estas características desde el punto de vista económico, medioambiental y del ahorro de combustible.

También se busca realizar un estudio de la reglamentación náutica actual, ya que los valores de emisión permitidos son muy elevados y están llevando a la destrucción del medio ambiente.

3. RECURSOS A EMPLEAR

Para resolver el problema del fueraborda se usarán todo tipo de conocimientos aprendidos durante la carrera. Tendremos que usar conocimientos de mecánica de fluidos para ver cómo afecta a la elección de nuestro motor la resistencia hidrodinámica del mar y aerodinámica del viento.

Además nos puede ayudar mucho la ciencia de materiales ya que uno de los grandes objetivos que tienen los fuerabordas es tener un peso reducido a la par de resistente con lo cual será importante ver qué tipo de material es más útil en cada pieza. Asimismo, esto nos lleva a un objetivo complementario que es conseguir que el conjunto del fueraborda sea lo más económico posible.

Otra asignatura que nos puede resultar muy útil de cara a la realización del proyecto es Ingeniería y Desarrollo sostenible que es básicamente uno de los motivos principales por los que vamos a realizar este proyecto. Queremos que el fueraborda sea compatible con el medio ambiente y para ello habrá que hacer un estudio de cómo están afectando actualmente los motores de combustible al medio ambiente y de qué manera se verían reducidas las emisiones y la contaminación mediante el fueraborda híbrido.

La asignatura de Máquinas eléctricas la utilizaremos para emplear los distintos modelos de máquina y ver cuál es más eficiente y cual deberíamos usar para hacer el mejor motor posible.

Por último y no menos importante tenemos que destacar la asignatura de máquinas y accionamientos en el que utilizando los diversos modelos de las máquinas eléctricas podemos simular situaciones reales como puede ser la del motor fueraborda en el mar y sacar conclusiones a partir de las gráficas que obtengamos.

4. MOTIVACIÓN

La sostenibilidad del planeta es un tema que nos compromete a todos y es bueno que cada uno ponga su granito de arena en la medida que pueda con lo cual me parece una oportunidad magnífica para contribuir. Con este proyecto se pretende aportar ideas nuevas sobre lo útil que puede llegar a ser un motor fueraborda híbrido en el futuro próximo. Otro aspecto muy interesante es el tema de mejorar la tecnología actualmente existente. Como hemos dicho anteriormente, hay motores eléctricos en el mercado pero este tipo de tecnología sería pionera y podría ayudar a los grandes fabricantes a desarrollar un nuevo mundo de posibilidades.

Otro motivo que me parece muy interesante es el tema de todos los químicos y compuestos que estamos introduciendo en el mar. Estos químicos y derivados del petróleo no solo están acabando con numerosas especies acuáticas sino que también nos afectan a nosotros. A la hora de comer pescado se han detectado sustancias tóxicas en estos animales que pueden dañar nuestro cuerpo al ingerirlos por ello no es bueno comer mucho de un solo tipo de pescado ya que podríamos estar ingiriendo mucho contenido tóxico.

5. CLASIFICACIÓN DEL VEHÍCULO HÍBRIDO

Se tienen dos maneras de clasificar este tipo de vehículos. En primer lugar según su configuración y en segundo lugar según el grado de electrificación. [1]

5.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CONFIGURACIÓN

5.1.1. Configuración en serie

Con este sistema únicamente podemos proporcionar potencia propulsiva mediante un convertidor. El motor de combustión no entra en contacto con el eje de las ruedas. En esta configuración, el motor de combustión interna genera la electricidad accionando un generador que posteriormente alimenta las baterías y estas a su vez están conectadas al motor eléctrico de propulsión. La configuración en cuestión se muestra en la figura 2. [1]

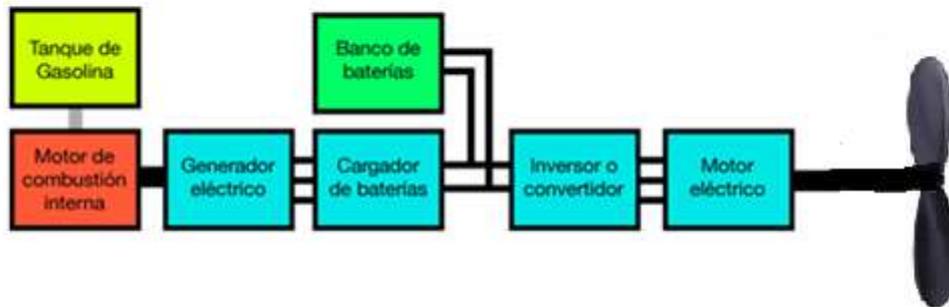


Fig. 2: Configuración de un vehículo híbrido en serie. [4]

La gracia de este tipo de configuración radica en que se puede mantener el motor de combustión trabajando todo el rato en el punto óptimo del motor a ritmo constante lo cual supone un ahorro de energía importante. Otro aspecto importante es que al estar en serie no podemos sumar la potencia de ambos motores y por lo tanto el motor eléctrico tiene que reunir las mismas características que reuniría el motor de un vehículo totalmente eléctrico. Finalmente cabe destacar que al no tener que estar el motor de combustión y el eléctrico juntos se puede distribuir mejor el peso del vehículo. [1]

5.1.2. Configuración en paralelo

Es aquel sistema en el que se puede aportar potencia propulsiva de más de una fuente de energía. En este caso el motor de combustión y el motor eléctrico se encuentran en paralelo acoplados mediante un eje mecánico, permitiendo que se sumen los pares de ambos motores. [1]

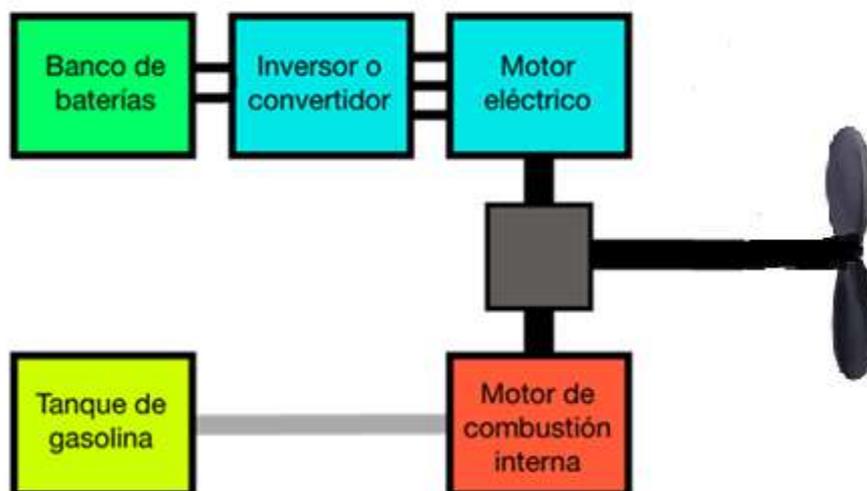


Fig. 3: Configuración de un vehículo híbrido en paralelo. [4]

Con esta configuración tanto el motor de combustión como el motor eléctrico están conectados al mismo eje mediante embragues diferentes. El motor eléctrico en este caso no requiere tanta potencia como en la configuración en serie debido a que la potencia de ambos motores se suma con lo cual no recae toda la potencia del vehículo híbrido sobre el motor eléctrico. En este tipo de sistemas la potencia propulsiva se aporta o bien mediante el motor de combustión o bien mediante el motor eléctrico o por medio de la combinación de ambos motores. Por esta razón ambos motores son más pequeños en cuanto a tamaño. Como inconvenientes de esta configuración se nos presenta que el motor de combustión interna tiene que ir acoplado al eje a diferencia del caso en serie. Además, cuando el motor eléctrico se usa como motor no se pueden cargar las baterías y tanto el control como el acoplamiento mecánico son de una gran complejidad. [1]

La elección entre un sistema en serie o en paralelo radica en el uso que va a tener dicho vehículo y el diseño óptimo para ese uso. Si lo que se busca es un vehículo eléctrico con asistencia de un motor de combustión que trabaje en unos límites aceptables y que mantenga las baterías en carga constantemente entonces se necesitaría una configuración en serie. En cambio si lo que se busca es un vehículo con todas las características que puede aportar un vehículo de combustión interna pero con menos emisiones y consumo reducido entonces de lo que se trata es de una configuración en paralelo. Atendiendo a este criterio, la configuración del motor híbrido de este proyecto será en paralelo. [1]

Existiría una tercera opción denominada configuración compleja, más comúnmente conocida como power Split. Se trata una combinación de la serie-paralelo que mediante un eje planetario conecta el motor térmico, el motor eléctrico y el generador.

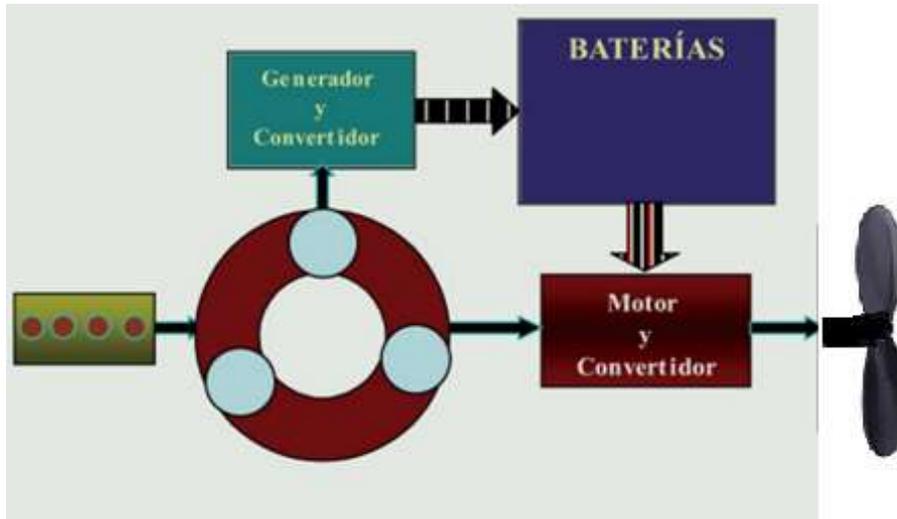


Fig. 4: Configuración compleja de un motor híbrido. [1]

De esta manera se puede trabajar únicamente con el motor eléctrico desconectando previamente el motor térmico. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones trabajan ambos motores como en la configuración en paralelo (del motor de combustión directamente al eje de las ruedas) y como en la configuración en serie (del generador al motor eléctrico y finalmente al eje de las ruedas). Este tipo de configuración permite que en algunas ocasiones se trabaje con la configuración en serie y otras en paralelo. Finalmente cabe destacar que de esta manera obtengamos los beneficios de ambas configuraciones, sin embargo, rechazamos esta opción al ser más cara y compleja. [1]

5.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE ELECTRIFICACIÓN

Como hemos comentado anteriormente, la otra manera de clasificar los vehículos híbridos es mediante el grado de electrificación.

5.2.1. Grado de electrificación baja (Micro hybrid)

Se trata del primer paso para la electrificación de los vehículos de transporte. Este tipo de electrificación consiste en dotar a los vehículos con un sistema de arranque-parada. Dicho sistema se encarga de apagar el motor de combustión cuando el vehículo para y en cuanto se pisa el pedal del acelerador vuelve a arrancarlo. Con este sistema podemos ahorrar aproximadamente hasta un 7% de combustible.

5.2.2. Grado de electrificación media (Mild hybrid)

Este tipo de electrificación sí que combustión sea más pequeño y eficiente. Además también permiten que el motor eléctrico funcione como generador aprovechando la energía de la frenada para alimentar las baterías. Con este sistema se alcanzan ahorros entre el 15% y el 20% de combustible.

5.2.3. Grado de electrificación alta (Full hybrid)

Este tipo de vehículos permiten la propulsión eléctrica a baja velocidad ya que tanto el motor de combustión como el motor eléctrico están atacando el eje de tracción. Resultan realmente útiles para el uso urbano y se ahorra hasta un 25% de combustible.

5.2.4. Vehículos híbridos enchufables (Plug-in hybrid):

Este tipo de vehículos están pensados para cargarlos en las calles conectándolos a la red eléctrica. Esto nos facilita una mayor autonomía en cuanto al modo eléctrico.

6. MOTORES, VEHÍCULOS Y BARCOS ACTUALMENTE EXISTENTES

Entre los vehículos con configuración en serie podemos encontrar los siguientes:

En cuanto a los motores eléctricos que hay en el mercado, lo más puntero en 2016 serán los siguientes (Cabe destacar que no hay fuerabordas puramente híbridos):

6.1. MOTOR ELÉCTRICO FUERABORDA EPROPULSION

Solé Diésel es la empresa encargada de distribuir en España la gama de motores eléctricos fuera borda conocidos como ePropulsion. Estos motores gozan de un rendimiento superior a los fuerabordas convencionales de gasolina. Además cuentan con una autonomía muy superior llegando a durar casi el doble que el resto de motores. La potencia de estos motores es de 1000W que es equivalente a 3 hp (horsepower). Estos fuerabordas con baterías desmontables son fácilmente recargables en casa. Destacan por su facilidad para ser transportados al ser plegables y desmontables además de no llevar escobillas, piezas que encarecen el precio del producto, se estropean con facilidad y son difíciles de cambiar. Presentan un mantenimiento muy cómodo a la par que barato al no consumir gasolina y no tener que realizar cambios de aceite... Finalmente, cabe mencionar que la batería se recarga totalmente en 7 horas y la velocidad es fácilmente modificable desde la empuñadura del mango siendo una opción perfecta para embarcaciones de pesca, paseo, auxiliares... [5]



Potencia	1000 W	Potencia equiparable	3 hp (fuera bordas gasolina)
Tensión	40,7 V	Intensidad	24,6 A
Eficiencia	50%	Empuje estático	66lb
Diámetro de hélice	11 pulgadas	Velocidad de rotación	1200 rpm
Peso del motor	16 kg	Longitud de cola	630 mm 755 mm
Batería	1000 Wh Li-po	Peso de la batería	7,5 kg

Fig. 5: Características fueraborda ePropulsion. [5]

6.2. TORQUEEDO CRUISE

Estos motores están diseñados para satisfacer las necesidades de los usuarios profesionales que necesitan navegar a diario y superar las condiciones adversas que se puedan originar. Cabe destacar la carcasa de aluminio que hace a este tipo de motores muy resistente frente a cualquier tipo de golpe. En especial la carcasa de esta gama está realizada en aluminio anodizado el cual ofrece una gran resistencia frente al agua salada y permite una vida útil mayor. Además, la serie cruise contiene un cojinete de deslizamiento auto lubricante que ayuda a la sujeción de la hélice. Finalmente, cabe mencionar que esta gama de motores son altamente resistentes al desgaste y no precisan de mantenimiento. [5]

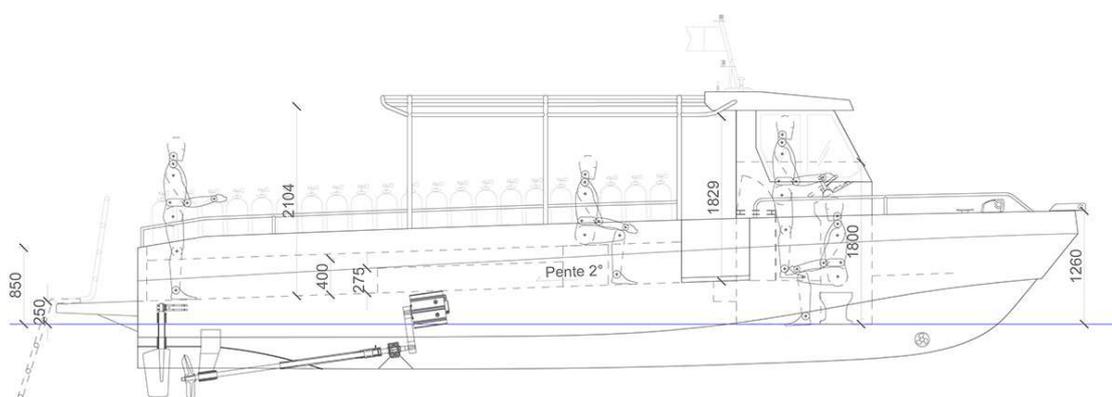


Fig. 7: Torqueedo cruise [5]

Finalmente, en cuanto a la hibridación en barcos actualmente existente:

6.3. ODC MARINE MONO 10.4 M 25 PAX

El siguiente barco de buceo tiene capacidad para 25 personas, presenta una eslora de 10,4 m, una manga de 3,5 m y un calado de 1,15 m. El barco esta hecho de aluminio y en cuanto a la propulsión está formado por un intraborda híbrido. Dicho motor tiene capacidad para 300L de combustible y utiliza baterías LiFePO4. A la entrada de la batería requiere 220 V y 20 A mientras que a la salida 388 V y 12 A. El tiempo de carga de las baterías es de 8 horas. En cuanto a la velocidad, alcanza como velocidad máxima 20 nudos y como máxima eléctrica 6,5 nudos. Finalmente, cabe destacar que presenta una autonomía navegando con el motor eléctrico de 2 horas aproximadamente con un par de 11 Nm. [6]



MONO 10.4 M 25 PAX

PIERRE DELION DESIGN
Modèle Protégé

Fig. 13: ODC Marine MONO 10.4 M 25 PAX [6]

6.4. ODC MARINE MONO 12 M 50 PAX

El siguiente barco de buceo tiene capacidad para 50 personas, presenta una eslora de 11,7 m, una manga de 4,2 m y un calado de 1,05 m. El barco esta hecho de aluminio y en cuanto a la propulsión está formado por un intraborda híbrido. Dicho motor tiene capacidad para 2 tanques de 400L de combustible y utiliza baterías LiFePO4. A la entrada de la batería requiere 380 V y 12 A mientras que a la salida 388 V y 12 A. El tiempo de carga de las baterías es de 8 horas. En cuanto a la velocidad, alcanza como velocidad máxima 20 nudos y como máxima eléctrica 6,5

nudos. Finalmente, cabe destacar que presenta una autonomía navegando con el motor eléctrico de 2 horas aproximadamente con un par de 11 Nm. [7]



Fig 14: ODC MARINE MONO 12 M 50 PAX [7]

6.5. LUXURY SEA 675

El siguiente barco tiene capacidad para 6 personas, presenta una eslora de 6,75 m, una manga de 2,5 m y un calado de 0,6 m. El barco tiene un motor LS2 con 8 cilindros en V y capacidad para 250 Litros además de incorporar un propulsor de agua Scott Hydrojet 852. En [6]cuanto a los modelos, se pueden encontrar en el mercado el Ls con 500 Cv de potencia y velocidad máxima de 45 nudos o el Lsx con 750 Cv de potencia y velocidad máxima de 65 nudos. Además este barco esta hecho de aluminio lo que permite que sea ligero a la vez que rígido y cuenta con tecnología de materiales hidrófobos lo que reduce la resistencia del mar casi a 0 lo que permite que aumente la velocidad y se consuma menos combustible. Finalmente, cabe destacar que utiliza una tecnología especial para la pintura que viene de los aviones y hace que sea ultra resistente y prevenga los rayos ultra violeta. [8]



Fig. 15: Luxury Sea 675 [8]

6.6. STORMER PATROLBOAT 100

El siguiente barco presenta una eslora de 10,15m, una manga de 3m, un calado de 0,89m y una altura de la obra muerta de 1,86m. Presenta capacidad para 12 personas y pesa en total unos 3050 Kg. Finalmente, cabe destacar que este barco con motor híbrido alcanza velocidades entre los 19 y 27 nudos. [9]



Fig. 16: Stormer Patrolboat 100 [9]

6.7. DELPHIA ESCAPE 1050 ECO

Se trata de un barco con una eslora de 10,5 m de eslora total, 9,95 m de eslora de flotación, 3,45 m de manga y 0,65 m de calado. Este barco cuenta con un peso total de 4000 Kg y está compuesto por un motor puramente eléctrico que consta de 8 baterías que permiten navegar durante 2 días sin necesidad de recargarlas. Cabe destacar que también incorpora un motor de 15 Kw con capacidad para 80 litros por si no hubiera electricidad para recargar las baterías en el puerto. [10]



Fig. 17: Delphia Escape 1050 Eco [10]

6.8. ARCADIA 85

La siguiente embarcación presenta una eslora de 25,9m, una manga de 7,15m, un calado de 1,65m. En total cuenta con 2 generadores de 20 kW y 2 motores de 730 hp. Cabe destacar la tecnología eco de estos barcos que cuentan con paneles solares de doble acristalamiento que permiten cargar las baterías durante el trayecto a la vez que aportan electricidad a todos los equipos del barco, reduciendo el uso de los generadores del barco. Debido a la eficiencia hidrodinámica que ofrece el casco del barco se reduce el consumo de combustible y las emisiones. También incorpora sistemas sofisticados que se encargan de tratar las aguas residuales y así reducir la polución. Finalmente, cabe resaltar la opción de propulsión híbrida que permite al barco alcanzar una velocidad de 8 nudos con cero emisiones y sin ningún tipo de ruido. [11]



Fig. 18: Arcadia 85 [11]

6.9.FELLER YATCHING EVOLUTION 8.50

La embarcación que se muestra a continuación presenta una eslora de 8.5m, una manga de 2,6m y un calado de 0,4m. El peso total del barco es de unos 1250 Kg y tiene capacidad para 8 personas. Utiliza 2 motores Weber MPE de 750 centímetros cúbicos y 143 hp junto con 2 motores eléctricos de 10 kW. La capacidad del tanque es de 195 litros y puede alcanzar velocidades superiores a los 40 nudos. [12]



Fig. 19: FELLER YACHTING EVOLUTION 8.50 [12]

6.10. COCKWELLS RUNABOUT INTRABORDA

Se trata de un barco con una eslora de 10,5 m de eslora total, 9,68 m de eslora de flotación, 3,4 m de manga y 0,574 m de calado. Esta embarcación alcanza los 38 nudos de velocidad máxima y está compuesto por 2 motores Steyr Hybrid SE286E40 de 286 hp con un tanque con capacidad para 1200L. [13]



Fig. 20: COCKWELLS RUNABOUT INTRABORDA [13]

6.11. INVESTIGACIÓN FUTURA (HACIA DONDE VAMOS)

6.11.1. Energía Solar

Este tipo de energía no ha cuajado bien en la industria del automóvil más allá de ciertos modelos experimentales. Como gran ventaja, se tiene que este tipo de vehículos podrían gozar de autonomía infinita en ciertos lugares del planeta, lo que llevaría a no consumir más combustible. Sin embargo, generan muchas dudas al tener una estética poco agraciada y al no saber cómo funcionarían en condiciones meteorológicas desfavorables.



Fig. 21: Ejemplo de vehículo que funciona con energía solar. Modelo stella [14]

6.11.2. Agua Salada

El futuro está en este tipo de recurso. Hay varias formas de obtener energía a partir de este recurso. La empresa nanoflowcell que ya ha diseñado el primer prototipo basado en esta tecnología se ha basado en una reacción redox. Se trata de dos tanques separados por una membrana semipermeable que contienen electrolitos ionizados. El intercambio de protones a través de la membrana es lo que produce la energía eléctrica que hace que se mueva el coche. [15]



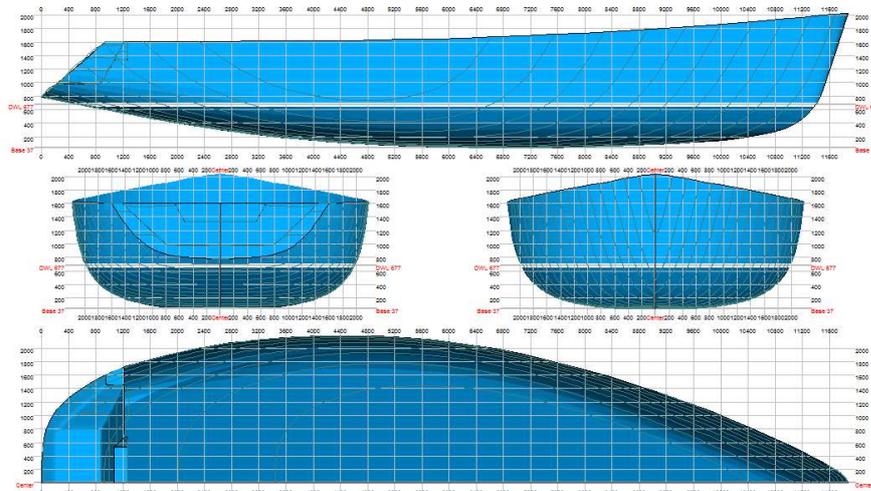


Fig. 22: Vistas casco.

El casco cuenta con las siguientes dimensiones:

- Eslora: 11.05 m
- Eslora de flotación: 10.867 m
- Manga: 4.37 m
- Manga de flotación: 3.942 m
- Calado: 0.640 m
- Volumen desplazado: 12.515 m³
- Con $\rho=1027\text{kg/m}^3$
- Desplazamiento= Vol. x $\rho=12853$ kg
- Superficie mojada: 34.384 m²

8. POTENCIA ELÉCTRICA REQUERIDA

Para saber la potencia que requiere nuestro motor, se necesita previamente realizar un estudio de todas las fuerzas que van a intervenir en el movimiento de la embarcación.

La resistencia al avance del barco es: $R_t=R_w+R_h+R_{aa}$

Dicha resistencia está descompuesta en tres términos:

- R_w es la resistencia de las olas
- R_h es la resistencia hidrodinámica
- R_{aa} es la resistencia aerodinámica

Aplicando el número de Froude podemos distinguir varios casos en los que cada término de la resistencia al avance del barco adquiere una importancia u otra:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times L}}$$

“v” es la velocidad de desplazamiento de la embarcación

“g” es la gravedad

“L” es la Eslora de flotación

Casos en función del número de Froude:

- $Fr < 0,4$ Este caso se usa para velocidades reducidas. La influencia de R_w es despreciable y R_h tiene una importancia sobre el término general del orden del 70-90%.
- $0,4 < Fr < 0,7$ Este es un caso para velocidades un poco más altas. El término R_w va cogiendo peso en su influencia sobre la resistencia total.
- $Fr > 0,7$ Es el caso en el que aparece hidroplaning. Aquí tanto R_w como R_{aa} tienen gran importancia sobre el término total.

Si se usa un $Fr < 0.4$ estaríamos en el primer caso. Veamos pues, cual es la velocidad hasta la cual nos encontraríamos en el primer caso. Para ello se usa un $Fr=0.4$ y se usan los datos de nuestro casco en particular, es decir, $L=10.867$ m y $g=9.81$ m/s². Metiendose estos datos en la ecuación de Froude se obtiene una velocidad de 4.13 m/s y sabiendo que 1 m/s son 1,94384 nudos tenemos entonces que $v= 8$ nudos. Por lo tanto por debajo de esta velocidad, se puede estudiar la resistencia que ve el barco como R_h principalmente. Esta resistencia se calcula por medio de la ley de similitud de Reynolds, siendo R_f la resistencia de frotamiento, nombre que recibe la resistencia hidrodinámica de un cuerpo frente al fluido que atraviesa.

$$R_f = 0.5 \times \rho \times S \times C \times v^2$$

$\rho = 1027$ kg/m³

S = Superficie mojada

v = velocidad relativa del cuerpo con el fluido

C = cte dependiente de Re .

$C=K_f(1+k)$, donde:

“k” es un coeficiente que indica la relación tiene la forma de la obra viva con respecto a su deslizamiento respecto al fluido. Hemos cogido un valor intermedio de 0.1.

“ K_f ” es el coeficiente de resistencia y depende del reynolds.

$$K_f = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$$

El número de Reynolds es el siguiente:

$$Re = \frac{v * L}{\nu_c}$$

“v” es la velocidad

“L” es la longitud característica (eslora de flotación)

“ ν_c ” es la viscosidad cinemática del fluido (ν_c en agua de mar es $1.1890 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

Una vez que se tienen todos estos datos el programa Free-ship nos proporciona una gráfica con Resistencia frente a velocidad.

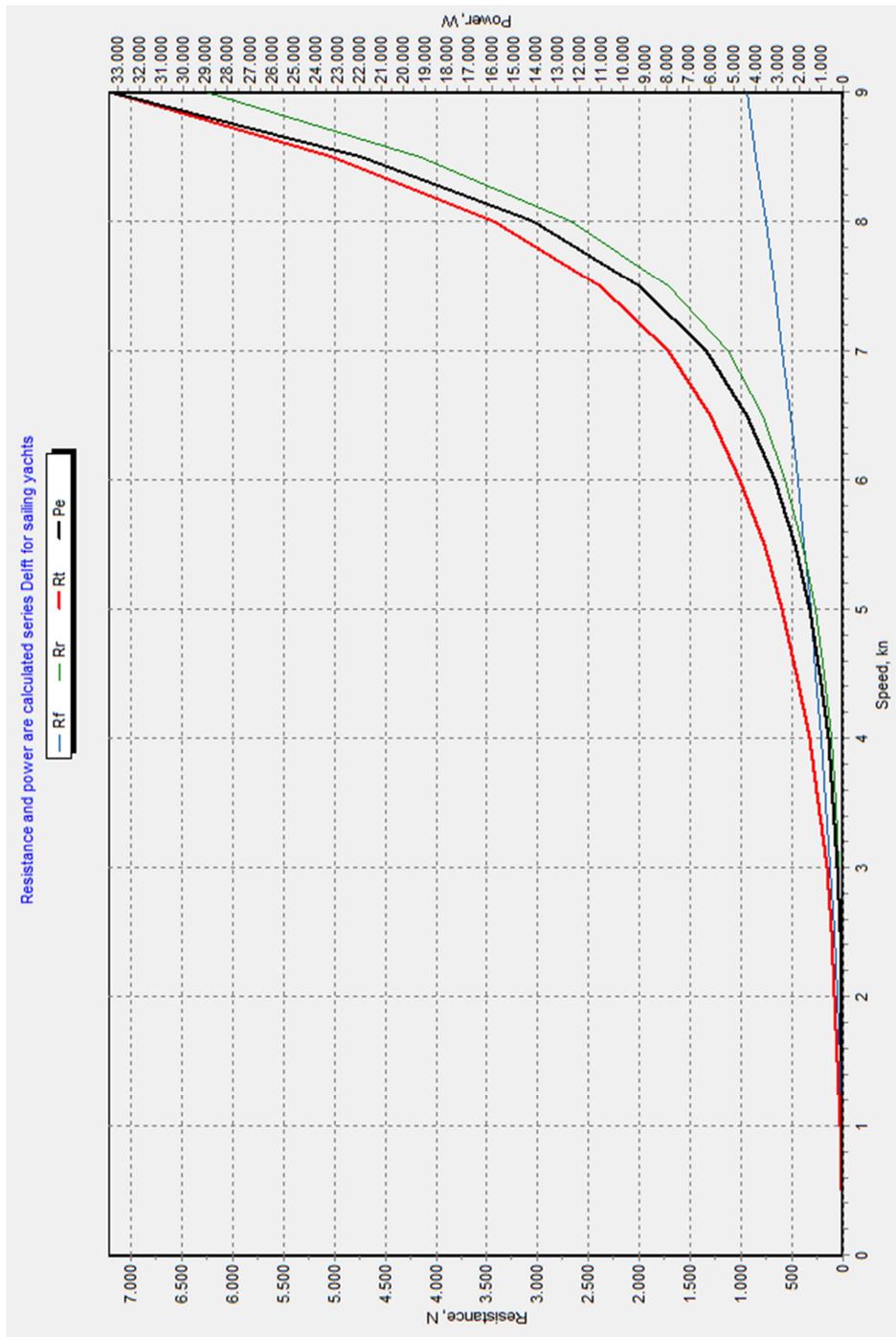


Fig. 23. Gráfica velocidad (Kn) / Resistencia (N) y Potencia (W).

Además, el programa Free-ship proporciona una tabla con los resultados de la tabla:

Final calculations of resistance by Delft

Speed [kn]	Speed [m/s]	Fr [-]	R _f [N]	R _r [N]	R _T [N]	Power [W]	Cp opt. [-]	LCB opt. [%]
0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.300	-6.000
0.50	0.26	0.025	4.9	5.9	10.8	2.8	0.900	-6.000
1.00	0.51	0.050	17.2	11.8	29.0	14.9	0.900	-6.000
1.50	0.77	0.075	35.8	17.8	53.5	41.3	0.900	-6.000
2.00	1.03	0.099	60.3	23.7	84.0	86.4	0.900	-6.000
2.50	1.29	0.124	90.6	29.6	120.2	154.6	0.900	-6.000
3.00	1.54	0.149	126.4	38.0	164.4	253.7	0.900	-6.000
3.50	1.80	0.174	167.5	75.6	243.0	437.6	0.900	-6.000
4.00	2.06	0.199	213.8	114.7	328.5	676.1	0.900	-3.400
4.50	2.32	0.224	265.3	186.0	451.3	1044.7	0.620	-3.310
5.00	2.57	0.249	321.8	273.2	595.0	1530.4	0.530	-3.040
5.50	2.83	0.274	383.3	396.6	779.9	2206.7	0.500	-2.890
6.00	3.09	0.298	449.6	565.5	1015.2	3133.5	0.510	-2.680
6.50	3.34	0.323	520.8	787.9	1308.8	4376.4	0.530	-2.950
7.00	3.60	0.348	596.8	1126.5	1723.4	6206.0	0.560	-3.250
7.50	3.86	0.373	677.5	1719.5	2397.0	9248.4	0.580	-3.430
8.00	4.12	0.398	762.9	2672.2	3435.1	14137.3	0.590	-3.500
8.50	4.37	0.423	853.0	4153.0	5005.9	21889.8	0.620	-3.350
9.00	4.63	0.448	947.6	6265.9	7213.5	33398.6	0.610	-3.060

Fig. 24: Gráfica velocidad (Kn) (m/s)/ Fr(-)/R_f(N)/R_r(N)/R_T(N)

Como se puede apreciar al observar la tabla, a medida que se aumenta la velocidad, aumenta el número de Froude como era de esperar ($Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times L}}$), también aumenta la Resistencia total (R_T) como también se espera (por las segunda ley de Newton de igualdad de las fuerzas de acción y reacción) y finalmente se puede observar como hasta los 5 nudos la resistencia total está prácticamente determinada por la resistencia hidrodinámica (R_f) pero sin embargo cada vez que se aumenta la velocidad, el resto de resistencias que componen la resistencia total (R_r) van adquiriendo más peso hasta prácticamente hacer que la R_f sea despreciable (a los 9 nudos).

Si recurrimos al Boletín Oficial del Estado nos encontramos con lo siguiente:

Estarán obligatoriamente aseguradas todas las motos náuticas, embarcaciones y objetos flotantes destinados a la navegación de recreo y deportiva propulsados a motor, así como aquellos que carezcan de motor y tengan una eslora superior a seis metros, de acuerdo con lo establecido en el R.D. 607/99 de 16 de abril, (BOE núm. 103 de 30/04/99). Debiendo llevar a bordo el justificante de la vigencia y validez del seguro obligatorio. Toda embarcación que entre, salga o transite por un puerto procederá, como máximo, a la velocidad autorizada en señalización de dicho puerto o de tres nudos o a la mínima velocidad de gobierno. Las embarcaciones no podrán navegar por estas aguas a velocidades que formen olas que puedan producir daños a terceros o situaciones de peligro. Se da el caso que la velocidad más restrictiva que no debemos superar es de 3 nudos con lo cual dimensionaremos nuestro motor eléctrico para esta velocidad. De esta manera, conseguiremos que el motor eléctrico sea capaz por si solo de propulsar la embarcación en el puerto y así conseguir reducir a 0 emisiones la contaminación en los puertos.

Hay que diferenciar 2 casos bien distintos para ver cuál de los dos requiere más potencia.

El primer caso sería para el transitorio de aceleración hasta los 3 nudos y el segundo caso sería para el régimen permanente cuando la embarcación está navegando a 3 nudos. La fuerza de aceleración hasta los 3 nudos la podemos dividir en tres términos:

$$F_{\text{transitorio}} = F_{\text{aceleración}} + F_{\text{hidrodinámica}} + F_{\text{aerodinámica}}$$

- Faceleración es la fuerza resistente relacionada con la aceleración de la embarcación ($F=m \cdot a$).
- Fhidrodinámica es la fuerza resistente que ofrece el mar a la embarcación.
- Faerodinámica es la fuerza resistente que ofrece el aire a la embarcación.

Se procede pues a calcular los distintos terminos que componen la fuerza resistente total durante la aceleración. La Faceleración por la segunda ley de Newton queda como Faceleracion = $m \times a$.

Suponemos que se alcanzan los 3 nudos (1.54 m/s) en 6 segundos.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1.54 - 0}{6 - 0} = 0.2572 \frac{m}{s^2}$$

La masa de desplazamiento es de 12853 kg por lo tanto:

$$F_{\text{aceleracion}} = m \times a = 12853 \times 0.2572 = 3305.8N$$

Asumimos que a la entrada del puerto el oleaje es prácticamente nulo con lo cual no hay que utilizar velocidades relativas para calcular los últimos dos términos que nos quedan. La Fhidrodinámica se calcula con la fórmula que se ha utilizado previamente ($F_{\text{hidrodinámica}} = 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot C \cdot v^2$) ó mirando los resultados de las gráficas que se han obtenido. Como velocidad vamos a tomar la más desfavorable durante el momento de aceleración que sería la de 3 nudos.

Con lo cual, observando la gráfica nos queda:

$$F_{hidrodinámica} = 126.4 \text{ N}$$

La Faerodinámica se va a calcular con la siguiente fórmula:

$$F_{aerodinámica} = 0.5 \times \rho \times A_x \times C_x \times v^2$$

Como velocidad tomamos un valor desfavorable obtenido a partir de la escala de Beaufort. Se toma un número seis de dicha escala que implica movimiento de las ramas de los arboles y dificultad para abrir el paraguas. La velocidad máxima de dicho viento sería de 27 nudos y sabiendo que nosotros estamos a 3 nudos la velocidad relativa entre la embarcación y el viento es de 30 nudos (15.4 m/s). La densidad del aire es de $1.2 \frac{Kg}{m^3}$. C_x es el coeficiente aerodinámico que será aproximadamente 0.5 ya que la embarcación es mas aerodinámica que la de un camión (0.4-0.6) pero menos que la de un coche (0.2-0.4).

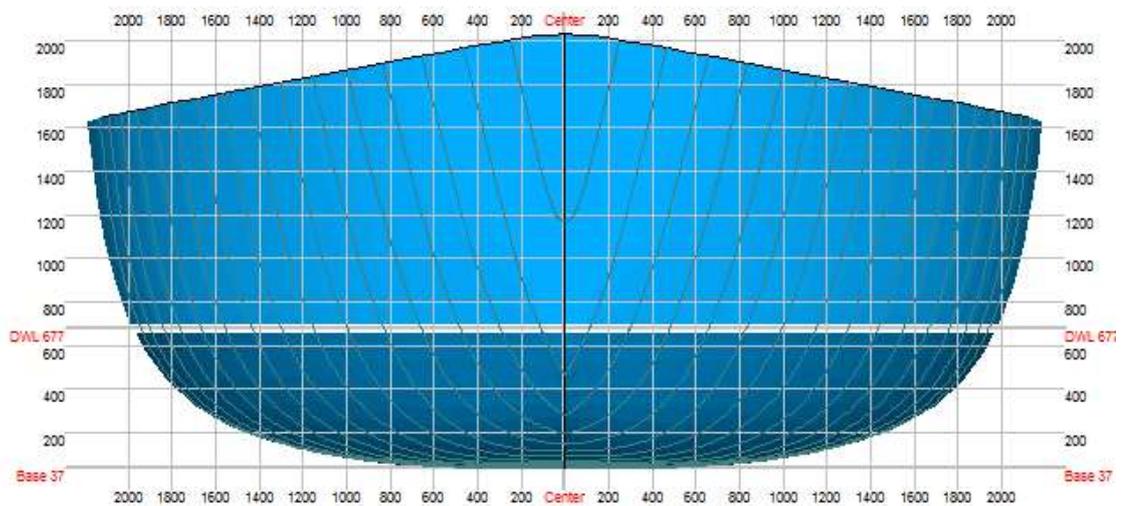


Fig. 25: Cara frontal.

Se procede a calcular el área frontal aproximada:

- Se divide la cara frontal en 2 figuras,
- Un rectángulo que mide $(1.6-0.677) \times (2.1 \times 2) = 3.9 \text{ m}^2$
- Un triángulo que mide $\frac{1}{2} (2.1 \times 2) \times (2 - 1.6) = 0.84 \text{ m}^2$
- En total queda un área de 4.72 m^2

Finalmente tenemos que:

$$F_{aerodinámica} = 0.5 \times \rho \times A_x \times C_x \times v^2 = 0.5 \times 1.2 \times 4.72 \times 0.5 \times 15.4^2 = 335.82 \text{ N}$$

Realmente, la Faerodinámica y la Fhidrodinámica son despreciables con respecto a la Faceleración y eso que se han puesto casos muy desfavorables que rara vez se encontrarán por lo tanto se va a calcular la potencia durante la aceleración solo a partir de Faceleración.

$$P_{aceleración} = \text{Faceleración} \times v = 3305.8 \times 1.543 = 5101.9 \text{ W}$$

Ahora se procede a calcular la Potencia necesaria durante la navegación a 3 nudos constantes. Está será bastante menos ya que el término de Faceleración era el más grande con respecto a los otros dos.

$$P_{3 \text{ nudos}} = (F_{aerodinámica} + F_{hidrodinámica}) \times v = (335.82 + 126.4) \times 1.54 = 713.2 \text{ W}$$

Después de calcular la potencia requerida por el motor eléctrico durante la aceleración y durante la velocidad de crucero de 3 nudos podemos concluir que lo que determina la potencia del barco es la aceleración. Esta potencia que se ha calculado sería la potencia total en el eje pero resulta que desde el motor hasta la potencia mecánica útil hay unas pérdidas que hay que tener en cuenta tanto en la hélice como en la transmisión. Suponemos que el rendimiento se encuentra en 0.8 aproximadamente con lo cual la potencia que necesita nuestro motor será la potencia calculada anteriormente partida por el rendimiento.

$$P_{motor} = \frac{P_{aceleración}}{\text{Rendimiento}} = \frac{5101.9}{0.8} = 6377.4 \text{ W}$$

Para la elección del motor eléctrico se va a usar un motor HybridMaster de la marca Mastervolt. Estos motores se caracterizan por que presentan una amplia gama de potencias eléctricas a utilizar (desde 3.5 Kw hasta 10 Kw) y se pueden combinar con un motor diésel de hasta 150 hp. Cuando el motor está navegando en modo eléctrico utiliza la energía de las baterías y cuando trabaja en modo motor carga las baterías hasta un máximo de 150 A.

Type	Capacity	Motor technology	Voltage regulator	Item #
HybridMaster 4.8	4.8 kW	PM	48V	140103000
HybridMaster 3.5 Ultra	3.5 kW	asynchronous	48V	140320350
HybridMaster 5 Ultra	5 kW	asynchronous	48V	140320500
HybridMaster 7.5 Ultra	7.5 kW	asynchronous	48V	140320750
HybridMaster 10 Ultra	10 kW	asynchronous	48V	140321000

Fig. 26: Tabla comparativa de los motores híbridos [17]

De entre los motores que tenemos a disposición con el de 7.5 KW bastaría pero se selecciona el de 10 KW para así tener mayor reserva de par y velocidad por si hiciera falta en algún momento.

Las fuerzas resistentes que se oponen al movimiento de la embarcación son las siguientes:

- La resistencia al avance del barco es: $R_t = R_w + R_h + R_{aa}$
- Dicha resistencia está descompuesta en tres términos:
- R_w es la resistencia de las olas
- R_h es la resistencia hidrodinámica
- R_{aa} es la resistencia aerodinámica

Aplicando el número de Froude podemos distinguir varios casos en los que cada término de la resistencia al avance del barco adquiere una importancia u otra:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times L}}$$

“v” es la velocidad de desplazamiento de la embarcación

“g” es la gravedad

“L” es la Eslora de flotación

Casos en función del número de Froude:

- $Fr < 0,4$ Este caso se usa para velocidades reducidas. La influencia de R_w es despreciable y R_h tiene una importancia sobre el término general del orden del 70-90%.
- $0,4 < Fr < 0,7$ Este es un caso para velocidades un poco más altas. El término R_w va cogiendo peso en su influencia sobre la resistencia total.
- $Fr > 0,7$ Es el caso en el que aparece hidroplaning. Aquí tanto R_w como R_{aa} tienen gran importancia sobre el término total.

Si se usa un $Fr < 0.4$ estaríamos en el primer caso. Veamos pues, cual es la velocidad hasta la cual nos encontraríamos en el primer caso. Para ello se usa un $Fr=0.4$ y se usan los datos de nuestro casco en particular, es decir, $L=10.867$ m y $g=9.81$ m/s². Metiendose estos datos en la ecuación de Froude se obtiene una velocidad de 4.13 m/s y sabiendo que 1 m/s son 1,94384 nudos tenemos entonces que $v= 8$ nudos. Por lo tanto por debajo de esta velocidad, se puede estudiar la resistencia que ve el barco como R_h principalmente. Esta resistencia se calcula por medio de la ley de similitud de Reynolds, siendo R_f la resistencia de frotamiento, nombre que recibe la resistencia hidrodinámica de un cuerpo frente al fluido que atraviesa.

$$R_f = 0.5 \times \rho \times S \times C \times v^2$$

$\rho = 1027$ kg/m³

S = Superficie mojada

v = velocidad relativa del cuerpo con el fluido

C = cte dependiente de Re.

$C = K_f(1+k)$, donde:

“k” es un coeficiente que indica la relación que tiene la forma de la obra viva con respecto a su deslizamiento respecto al fluido. Hemos cogido un valor intermedio de 0.1.

“ K_f ” es el coeficiente de resistencia y depende del Reynolds.

$$K_f = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$$

El número de Reynolds es el siguiente:

$$Re = \frac{v * L}{\nu_c}$$

“v” es la velocidad

“L” es la longitud característica (eslora de flotación)

“ ν_c ” es la viscosidad cinemática del fluido (ν_c en agua de mar es $1.1890 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

Una vez que se tienen todos estos datos el programa Free-ship nos proporciona una gráfica con Resistencia frente a velocidad.

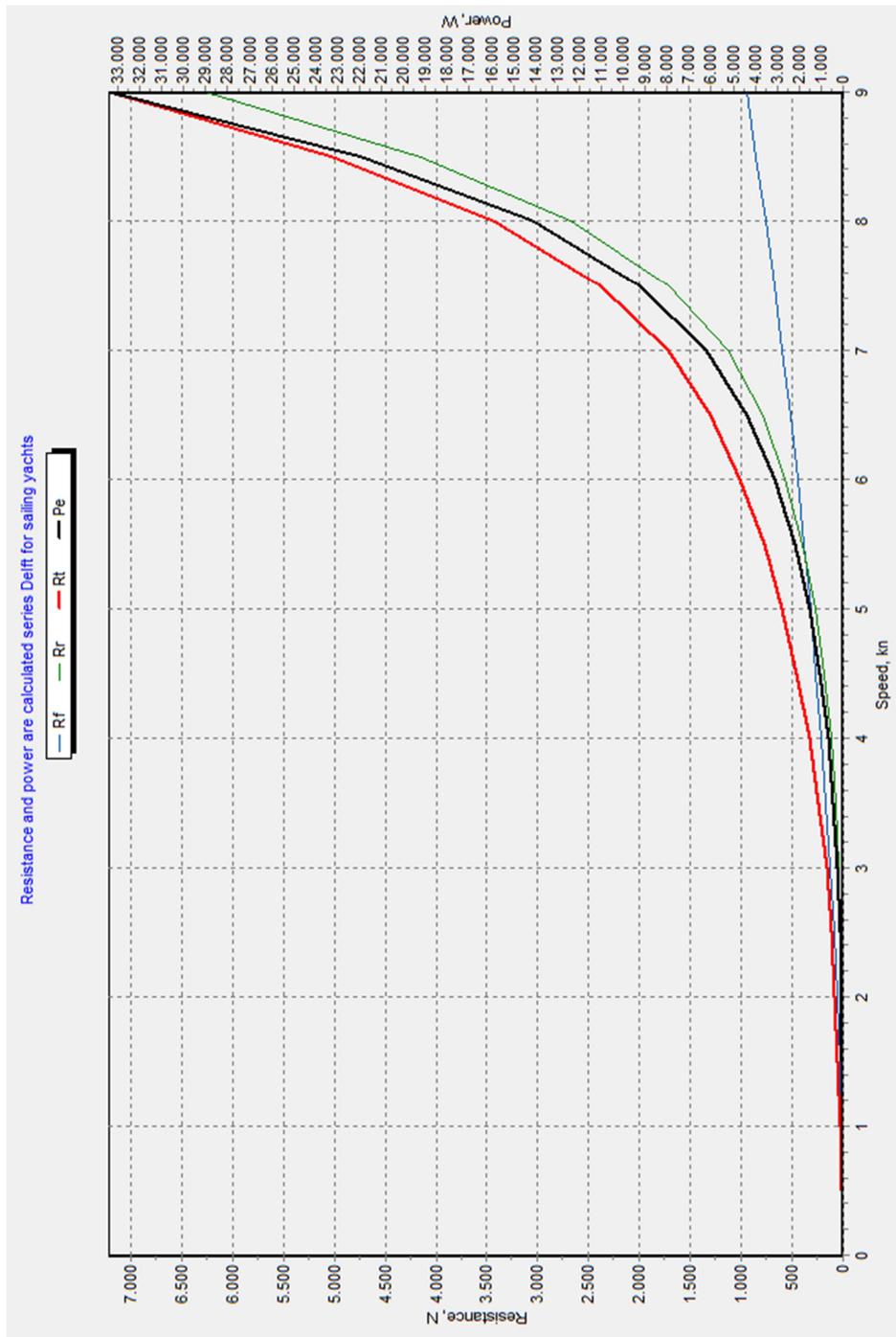


Fig. 23. Gráfica velocidad (Kn) / Resistencia (N) y Potencia (W).

Además, el programa Free-ship proporciona una tabla con los resultados de la tabla:

Final calculations of resistance by Delft

Speed [kn]	Speed [m/s]	Fr [-]	R _f [N]	R _r [N]	R _T [N]	Power [W]	Cp opt. [-]	LCB opt. [m]
0.00	0.00	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.300	-6.000
0.50	0.26	0.025	4.9	5.9	10.8	2.8	0.900	-6.000
1.00	0.51	0.050	17.2	11.8	29.0	14.9	0.900	-6.000
1.50	0.77	0.075	35.8	17.8	53.5	41.3	0.900	-6.000
2.00	1.03	0.099	60.3	23.7	84.0	86.4	0.900	-6.000
2.50	1.29	0.124	90.6	29.6	120.2	154.6	0.900	-6.000
3.00	1.54	0.149	126.4	38.0	164.4	253.7	0.900	-6.000
3.50	1.80	0.174	167.5	75.6	243.0	437.6	0.900	-6.000
4.00	2.06	0.199	213.8	114.7	328.5	676.1	0.900	-3.400
4.50	2.32	0.224	265.3	186.0	451.3	1044.7	0.620	-3.310
5.00	2.57	0.249	321.8	273.2	595.0	1530.4	0.530	-3.040
5.50	2.83	0.274	383.3	396.6	779.9	2206.7	0.500	-2.890
6.00	3.09	0.298	449.6	565.5	1015.2	3133.5	0.510	-2.680
6.50	3.34	0.323	520.8	787.9	1308.8	4376.4	0.530	-2.950
7.00	3.60	0.348	596.8	1126.5	1723.4	6206.0	0.560	-3.250
7.50	3.86	0.373	677.5	1719.5	2397.0	9248.4	0.580	-3.430
8.00	4.12	0.398	762.9	2672.2	3435.1	14137.3	0.590	-3.500
8.50	4.37	0.423	853.0	4153.0	5006.0	21889.8	0.620	-3.350
9.00	4.63	0.448	947.6	6265.9	7213.5	33398.6	0.610	-3.060

Fig. 24: Gráfica velocidad (Kn) (m/s)/ Fr(-)/R_f(N)/R_r(N)/R_T(N)

Como se puede apreciar al observar la tabla, a medida que se aumenta la velocidad, aumenta el número de Froude como era de esperar ($Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times L}}$), también aumenta la Resistencia total (R_T) como también se espera (por las segunda ley de Newton de igualdad de las fuerzas de acción y reacción) y finalmente se puede observar como hasta los 5 nudos la resistencia total está prácticamente determinada por la resistencia hidrodinámica (R_f) pero sin embargo cada vez que se aumenta la velocidad, el resto de resistencias que componen la resistencia total (R_r) van adquiriendo más peso hasta prácticamente hacer que la R_f sea despreciable (a los 9 nudos).

Si recurrimos al Boletín Oficial del Estado nos encontramos con lo siguiente:

Estarán obligatoriamente aseguradas todas las motos náuticas, embarcaciones y objetos flotantes destinados a la navegación de recreo y deportiva propulsados a motor, así como aquellos que carezcan de motor y tengan una eslora superior a seis metros, de acuerdo con lo establecido en el R.D. 607/99 de 16 de abril, (BOE núm. 103 de 30/04/99). Debiendo llevar a bordo el justificante de la vigencia y validez del seguro obligatorio. Toda embarcación que entre, salga o transite por un puerto procederá, como máximo, a la velocidad autorizada en señalización de dicho puerto o de tres nudos o a la mínima velocidad de gobierno. Las embarcaciones no podrán navegar por estas aguas a velocidades que formen olas que puedan producir daños a terceros o situaciones de peligro. Se da el caso que la velocidad más restrictiva que no debemos superar es de 3 nudos con lo cual dimensionaremos nuestro motor eléctrico para esta velocidad. De esta manera, conseguiremos que el motor eléctrico sea capaz por si solo de propulsar la embarcación en el puerto y así conseguir reducir a 0 emisiones la contaminación en los puertos.

Hay que diferenciar 2 casos bien distintos para ver cuál de los dos requiere más potencia.

El primer caso sería para el transitorio de aceleración hasta los 3 nudos y el segundo caso sería para el régimen permanente cuando la embarcación está navegando a 3 nudos. La fuerza de aceleración hasta los 3 nudos la podemos dividir en tres términos:

$$F_{\text{transitorio}} = F_{\text{aceleración}} + F_{\text{hidrodinámica}} + F_{\text{aerodinámica}}$$

- Faceleración es la fuerza resistente relacionada con la aceleración de la embarcación ($F=m \cdot a$).
- Fhidrodinámica es la fuerza resistente que ofrece el mar a la embarcación.
- Faerodinámica es la fuerza resistente que ofrece el aire a la embarcación.

Se procede pués a calcular los distintos terminos que componen la fuerza resistente total durante la aceleración. La Faceleración por la segunda ley de Newton queda como Faceleracion = $m \times a$.

Suponemos que se alcanzan los 3 nudos (1.54 m/s) en 6 segundos.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1.54 - 0}{6 - 0} = 0.2572 \frac{m}{s^2}$$

La masa de desplazamiento es de 12853 kg por lo tanto:

$$F_{\text{aceleracion}} = m \times a = 12853 \times 0.2572 = 3305.8N$$

Asumimos que a la entrada del puerto el oleaje es prácticamente nulo con lo cual no hay que utilizar velocidades relativas para calcular los últimos dos términos que nos quedan. La Fhidrodinámica se calcula con la fórmula que se ha utilizado previamente ($F_{\text{hidrodinámica}} = 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot C \cdot v^2$) ó mirando los resultados de las gráficas que se han obtenido. Como velocidad vamos a tomar la más desfavorable durante el momento de aceleración que sería la de 3 nudos.

Con lo cual, observando la gráfica nos queda:

$$F_{hidrodinámica} = 126.4 \text{ N}$$

La Faerodinámica se va a calcular con la siguiente fórmula:

$$F_{aerodinámica} = 0.5 \times \rho \times A_x \times C_x \times v^2$$

Como velocidad tomamos un valor desfavorable obtenido a partir de la escala de Beaufort. Se toma un número seis de dicha escala que implica movimiento de las ramas de los arboles y dificultad para abrir el paraguas. La velocidad máxima de dicho viento sería de 27 nudos y sabiendo que nosotros estamos a 3 nudos la velocidad relativa entre la embarcación y el viento es de 30 nudos (15.4 m/s). La densidad del aire es de $1.2 \frac{Kg}{m^3}$. C_x es el coeficiente aerodinámico que será aproximadamente 0.5 ya que la embarcación es mas aerodinámica que la de un camión (0.4-0.6) pero menos que la de un coche (0.2-0.4).

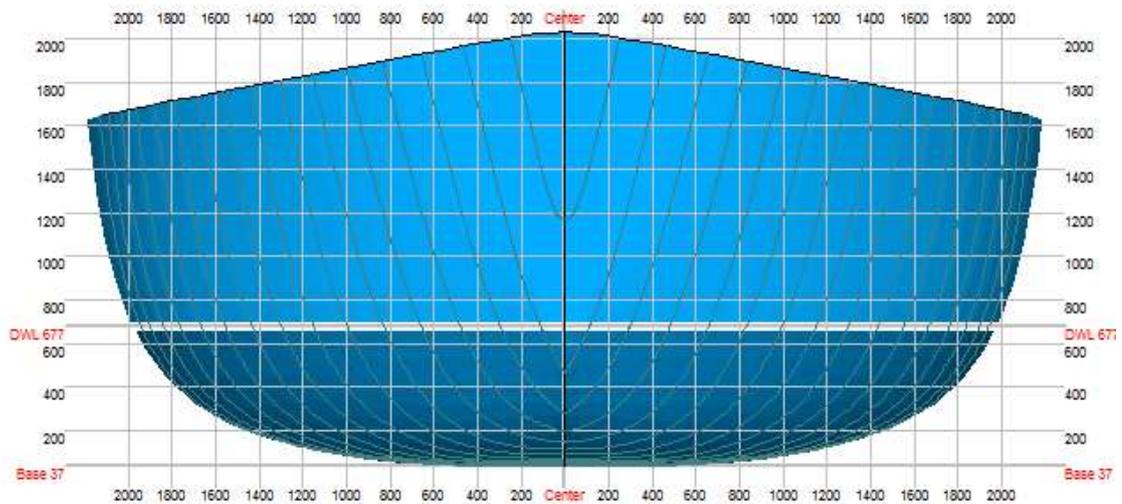


Fig. 25: Cara frontal.

Se procede a calcular el área frontal aproximada:

- Se divide la cara frontal en 2 figuras,
- Un rectángulo que mide $(1.6-0.677) \times (2.1 \times 2) = 3.9 \text{ m}^2$
- Un triángulo que mide $\frac{1}{2} (2.1 \times 2) \times (2 - 1.6) = 0.84 \text{ m}^2$
- En total queda un área de 4.72 m^2

Finalmente tenemos que:

$$F_{aerodinámica} = 0.5 \times \rho \times A_x \times C_x \times v^2 = 0.5 \times 1.2 \times 4.72 \times 0.5 \times 15.4^2 = 335.82 \text{ N}$$

Realmente, la Faerodinámica y la Fhidrodinámica son despreciables con respecto a la Faceleración y eso que se han puesto casos muy desfavorables que rara vez se encontrarán por lo tanto se va a calcular la potencia durante la aceleración solo a partir de Faceleración.

$$P_{aceleración} = \text{Faceleración} \times v = 3305.8 \times 1.543 = 5101.9 \text{ W}$$

Ahora se procede a calcular la Potencia necesaria durante la navegación a 3 nudos constantes. Está será bastante menos ya que el término de Faceleración era el más grande con respecto a los otros dos.

$$P_{3 \text{ nudos}} = (F_{aerodinámica} + F_{hidrodinámica}) \times v = (335.82 + 126.4) \times 1.54 = 713.2 \text{ W}$$

Después de calcular la potencia requerida por el motor eléctrico durante la aceleración y durante la velocidad de crucero de 3 nudos podemos concluir que lo que determina la potencia del barco es la aceleración. Esta potencia que se ha calculado sería la potencia total en el eje pero resulta que desde el motor hasta la potencia mecánica útil hay unas pérdidas que hay que tener en cuenta tanto en la hélice como en la transmisión. Suponemos que el rendimiento se encuentra en 0.8 aproximadamente con lo cual la potencia que necesita nuestro motor será la potencia calculada anteriormente partida por el rendimiento.

$$P_{motor} = \frac{P_{aceleración}}{\text{Rendimiento}} = \frac{5101.9}{0.8} = 6377.4 \text{ W}$$

Para la elección del motor eléctrico se va a usar un motor HybridMaster de la marca Mastervolt. Estos motores se caracterizan por que presentan una amplia gama de potencias eléctricas a utilizar (desde 3.5 Kw hasta 10 Kw) y se pueden combinar con un motor diésel de hasta 150 hp. Cuando el motor está navegando en modo eléctrico utiliza la energía de las baterías y cuando trabaja en modo motor carga las baterías hasta un máximo de 150 A.

Type	Capacity	Motor technology	Voltage regulator	Item #
HybridMaster 4.8	4.8 kW	PM	48V	140103000
HybridMaster 3.5 Ultra	3.5 kW	asynchronous	48V	140320350
HybridMaster 5 Ultra	5 kW	asynchronous	48V	140320500
HybridMaster 7.5 Ultra	7.5 kW	asynchronous	48V	140320750
HybridMaster 10 Ultra	10 kW	asynchronous	48V	140321000

Fig. 26: Tabla comparativa de los motores híbridos [17]

De entre los motores que tenemos a disposición con el de 7.5 KW bastaría pero se selecciona el de 10 KW para así tener mayor reserva de par y velocidad por si hiciera falta en algún momento.

9. POTENCIA TÉRMICA REQUERIDA

Ahora se procederá a realizar el cálculo del motor térmico. Para ello tenemos previamente que decidir una velocidad de crucero. En este caso se escoge una velocidad de crucero de 22 nudos. A continuación, usaremos el método de Savitsky para calcular la potencia que necesita el barco para mantener los 15 nudos de velocidad de crucero. El siguiente método se utiliza para las embarcaciones de planeo como se puede observar en la figura 25.

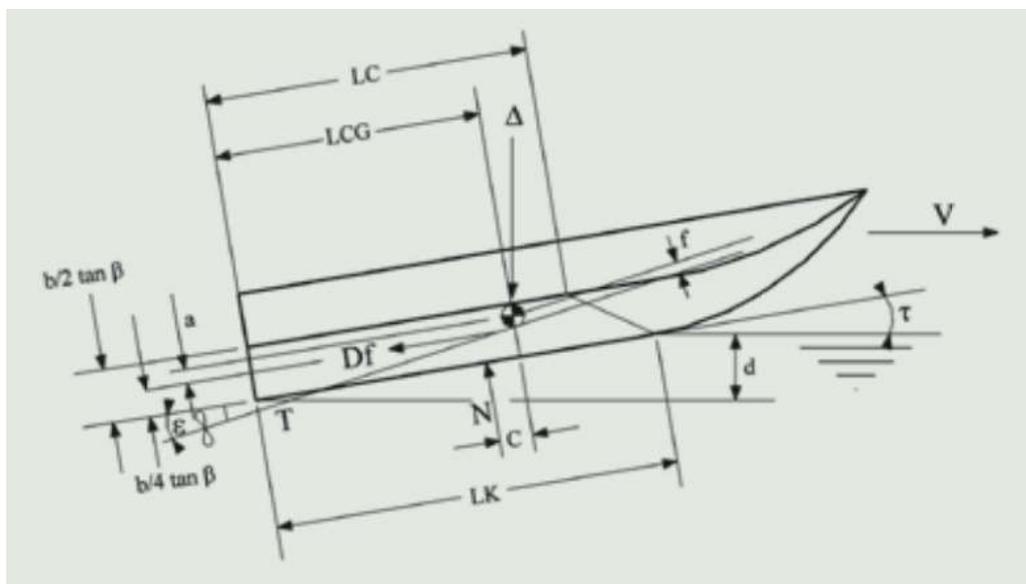


Fig. 27: Variables que intervienen en el método de Savitsky [18]

- T empuje del propulsor (libras).
- Δ peso del buque (libras).
- D_f componente viscosa de la resistencia (se supone que actúa paralelamente a la línea de la quilla, a media altura entre la quilla y el codaste) (libras).
- τ ángulo de trimado (grados).
- LCG distancia longitudinal del centro de gravedad desde la popa, medida a lo largo de la quilla (pies) CG centro de gravedad.
- ε inclinación de la línea de empuje relativa a la quilla (grados).
- N resultante de las fuerzas de presión actuando normalmente a la base (libras).
- a distancia entre D_f y CG (medida normalmente a D_f) (pies).
- f distancia entre T y CG (medida normalmente a la línea del eje) (pies).
- c distancia entre N y CG (medida normalmente a N) (pies).

- β ángulo transversal a que da lugar la astilla muerta (grados).
- b manga (pies).
- Lk longitud mojada de la quilla (pies).
- Lc longitud mojada del codaste desde la popa hasta la intersección del agua pulverizada con el codaste (pies).
- V velocidad (pies/seg).
- d calado de la quilla en la popa (pies).

Ahora con la ayuda del programa Freeship se procederá a realizar el cálculo de la potencia por medio del método de Savitsky. La gráfica que nos proporciona el programa es la siguiente:

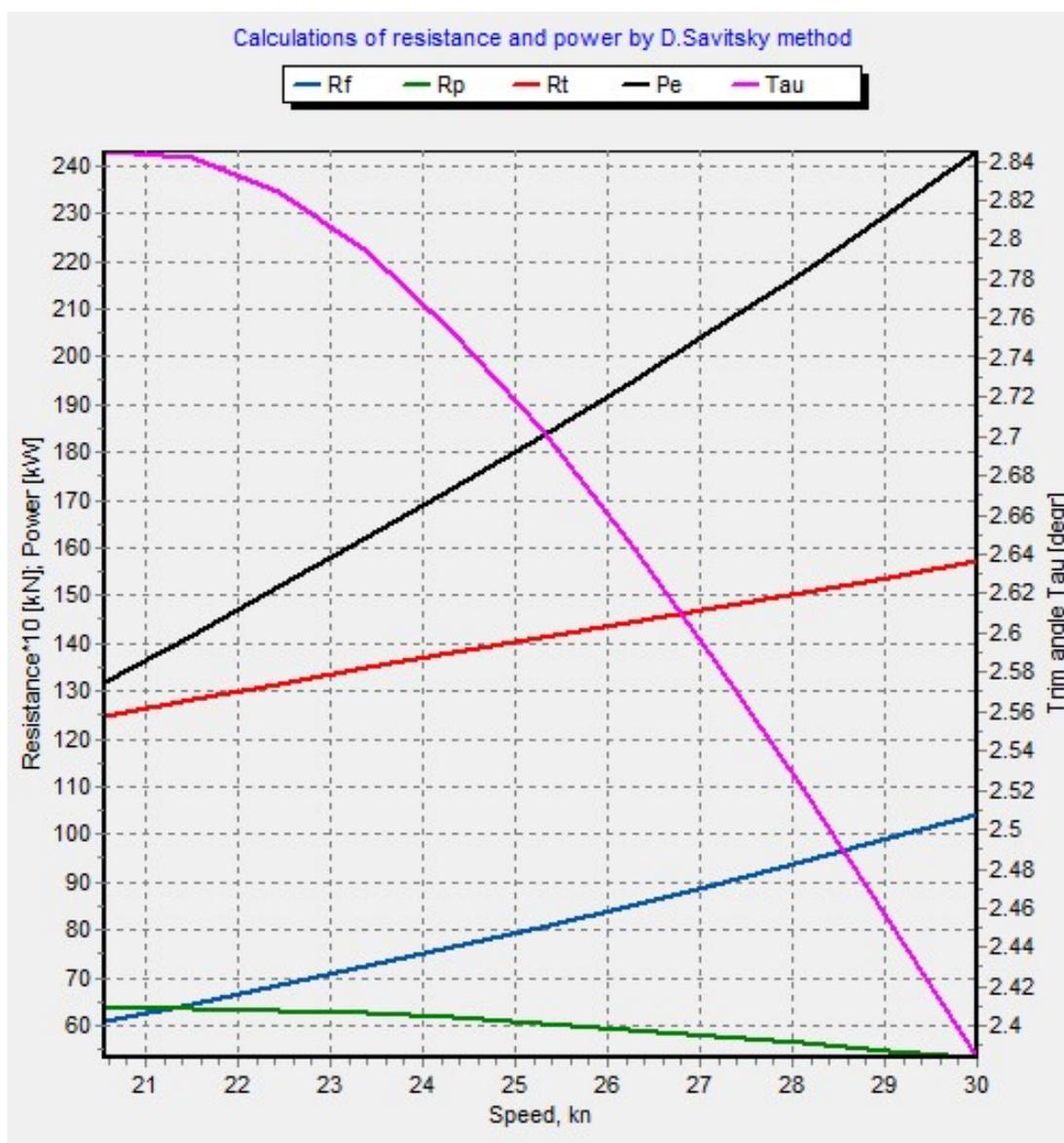


Fig. 28: Gráficas obtenidas a partir del método de Savitsky.

Los resultados obtenidos por el programa son los siguientes:

Vs	FrB	Tau	R_f	R_p	R_t	Pe
[kn]	-	[degr]	[kN]	[kN]	[kN]	[kW]
20.55	1.70	2.84	6.099	6.365	12.464	131.747
21.49	1.78	2.84	6.465	6.358	12.824	141.781
22.44	1.86	2.82	6.843	6.318	13.161	151.911
23.38	1.93	2.79	7.233	6.251	13.483	162.190
24.33	2.01	2.75	7.638	6.159	13.797	172.667
25.27	2.09	2.70	8.057	6.049	14.106	183.401
26.22	2.17	2.65	8.496	5.921	14.417	194.457
27.16	2.25	2.59	8.949	5.785	14.733	205.886
28.11	2.33	2.52	9.419	5.639	15.059	217.755
29.05	2.40	2.45	9.910	5.487	15.397	230.130
30.00	2.48	2.38	10.416	5.332	15.748	243.049

Figura 29. Resultados obtenidos a partir del método de Savitsky.

Como se puede observar en la figura 26 la gráfica de la potencia sigue aproximadamente una línea recta inclinada y como en la tabla de resultados no tenemos la potencia para 22 nudos exactos se va a realizar una interpolación lineal para las potencias entre los valores de 21.49 nudos y 22.44 nudos.

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 21.49 & y_1 &= 141.781 \\
 x_2 &= 22 & & \\
 x_3 &= 22.44 & y_3 &= 151.911
 \end{aligned}$$

Con lo cual, a partir de estos datos y después de realizar la interpolación lineal nos queda que $y_2=147.22$. Una vez que tenemos la potencia útil se tiene que pasar al lado motor dividiendo por el rendimiento total como se hizo previamente para el motor eléctrico.

$$P_{motor} = \frac{P_{\text{útil}}}{\text{Rendimiento}} = \frac{147220}{0.8} = 184024 \text{ W}$$

Se procede a seleccionar el motor que usará el fueraborda. Optamos por seleccionar un motor dentro de la marca Volvo en la gama de motores aquamatic. Marca que se distingue por realizar motores que reducen la emisión del dióxido de carbono a la par que ahorran combustible y ofrecen una gran fiabilidad y rendimiento.

En la siguiente tabla están los distintos modelos a elegir:

Motores	Eje de hélice de clasificación 4 kW / CV-rpm máx	Cigüeñal de clasificación 4 kW / CV-rpm máx	Número de cilindros	Cilindrada litros/cui
<u>D3-140</u>	98 / 133-4000 (1,2)	103 / 140-4000 (1,2)	5	2.4 / 146
<u>D3-170</u>	119 / 162-4000 (1,2)	125 / 170-4000 (1,2)	5	2.4 / 146
<u>D3-200</u>	140 / 190-4000 (1,2)	147 / 200-4000 (1,2)	5	2.4 / 146
<u>D3-220</u>	154 / 209-4000 (1,2)	162 / 220-4000 (1,2)	5	2.4 / 146
<u>D4-225</u>	158 / 215-3500 (2)	165 / 225-3500 (2)	4	3.7 / 224
<u>D4-260</u>	184 / 250-3500 (1,2)	191 / 260-3500 (1,2)	4	3.7 / 224
<u>D4-300</u>	214 / 291-3500 (1)	221 / 300-3500 (1)	4	3.7 / 224
<u>D6-300</u>	212 / 289-3500 (2)	221 / 300-3500 (2)	6	5.5 / 336
<u>D6-330</u>	233 / 317-3500 (2)	243 / 330-3500 (2)	6	5.5 / 336
<u>D6-370</u>	261 / 355-3500 (1,2)	272 / 370-3500 (1,2)	6	5.5 / 336
<u>D6-400</u>	281 / 382-3500 (1,2)	290 / 400-3500 (1,2)	6	5.5 / 336

Figura 30: Gama de motores Aquamatic [19]

A la vista de los motores entre los cuales se puede elegir se decide escoger el D6-300 por varios motivos. En primer lugar, se escoge en lugar del D4-260 ya que la potencia se queda un poco corta y conviene coger siempre potencia de más. Finalmente, cabe destacar que se escoge en lugar del D4-300 ya que al tener menos cilindros va a ir más a trompicones que con 6 cilindros con lo cual se está pensando también en la comodidad de los pasajeros.

10. SELECCIÓN DE BATERÍAS

Primero vamos a empezar por analizar que es una batería y los tipos de baterías que nos podemos encontrar en el mercado.

Una batería es una celda electromecánica que se usa para entregar o almacenar potencia. Tiene dos características que las determinan. La tensión nominal de una batería va en función del número de celdas que están conectadas en serie la capacidad de descarga que está determinada principalmente por el tamaño de la batería. Una batería es básicamente una reacción de electrólisis en la que pasan los siguientes acontecimientos. [2]

1. Una carga de corriente continua envía electrones al cátodo, donde se encuentran los iones positivos que se juntan con estos electrones.
2. Estos iones neutralizan los electrones.
3. Al mismo tiempo el ánodo manda electrones a la carga de corriente continua.
4. Los electrones siguen el circuito y continúa la reacción.

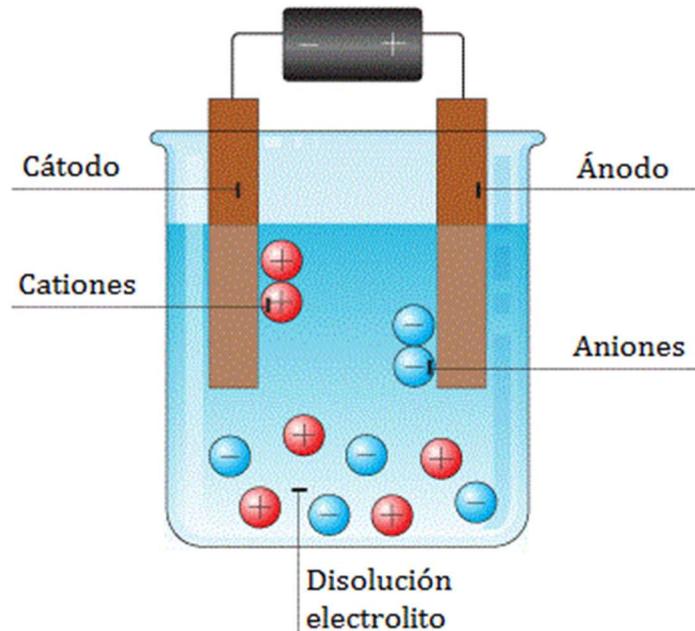


Fig. 31. Representación batería. [20]

Durante la reacción química que ocurre en una batería se produce agua, el electrolito se debilita y se forman sulfatos de plomo en los electrodos. Lo que hace que la batería se descargue. Durante la reacción, también se produce hidrógeno y oxígeno que necesitan la ventilación adecuada para retirarlos y que no se produzcan explosiones. La temperatura de las baterías es algo importante a tener en cuenta ya que cuanto más calientes estén, mostrarán una tensión mayor que cuando estén frías. La profundidad de descarga si es del 0% quiere decir que la batería está descargada, sin embargo, si es del 100% querrá decir que la batería está completamente cargada. La capacidad de almacenamiento de las baterías se mide en amperios-hora (Ah). Esta es la cantidad de energía que podemos almacenar y que entregará un amperio durante una hora. Una batería se compone de varias celdas en serie o paralelo para obtener la corriente y tensión requerida por el sistema.

El proceso que sigue la energía es el siguiente.

1. Se ajusta la corriente y la tensión para maximizar la potencia de salida.
2. Se convierte la corriente continua en corriente alterna usando un inversor.

Hay tres tipos principales de baterías dependiendo de cómo se transforma la energía química en energía eléctrica.

10.1. Baterías de Plomo Ácido

Son las baterías más antiguas. Los electrodos están hechos de plomo y de plomo oxidado y el electrolito está formado por un ácido sulfúrico diluido. Durante la descarga los electrodos se convierten en sulfato de plomo mientras que el electrolito pasa a ser agua.

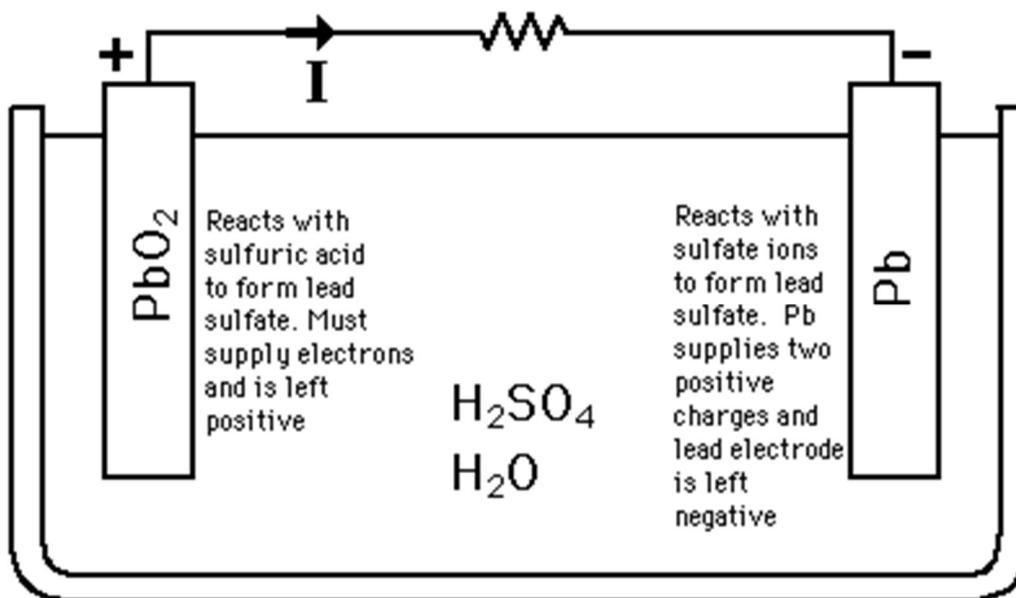


Fig. 32: Representación batería de plomo ácido [2]

Estas baterías son muy baratas y presentan una alta fiabilidad y eficiencia (75%-80%). Como desventaja presentan que sus ciclos de vida son muy cortos entre 1200 y 1800. Además, no se pueden descargar completamente ya que aparece el fenómeno conocido como sulfatación en el que el sulfato de plomo se convierte en cristalina estable y se deposita en las placas negativas. La temperatura óptima de estas baterías es de 25 grados centígrados y un aumento de 8 grados puede reducir su esperanza de vida a la mitad. [2]

Se distinguen 2 categorías de este tipo de baterías:

10.1.1. Baterías de plomo-ácido inundadas

Están hechas de plomo pero el electrodo positivo está hecho de dióxido de plomo mientras que el negativo de plomo finamente dividido. Estas baterías tienen la mayor esperanza de vida y el mínimo coste por amperio-hora. Lo malo de estas baterías es que requieren de un mantenimiento estricto pero son muy comunes al ser las primeras que llegaron al mercado. [2]

10.1.2. Baterías de ácido reguladas por válvula

Estas baterías en vez de tener un electrolito líquido contienen un electrolito de gel o AGM (Absorbed Glass Mat). No requieren de ventilación ni un mantenimiento constante. Como desventaja se tiene que estas baterías son menos robustas que las anteriores y tienen una vida útil más corta. Sin embargo su subsistema requiere ser cambiado más frecuentemente haciéndolas más caras. Estas baterías son las más utilizadas al tener la mayor densidad de potencia y la facilidad

de su uso. [2]

10.2. Baterías de Níquel-Cadmio

Este tipo de baterías utilizan hidróxido de óxido de níquel para el electrodo positivo, cadmio para el negativo y como electrolito se utiliza potasio alcalino.

Estas baterías presentan un coste más elevado que las de plomo-ácido pero sin embargo su vida útil asciende notablemente siendo mayor de los 3500 ciclos.

Tienen más resistencia a la temperatura que las baterías de plomo-ácido. Un aumento de 8 grados puede reducir su esperanza de vida en un 20%. Además las placas de estas baterías no sufren degradación debido a que el electrolito alcalino las protege de la corrosión.

Como desventajas de este tipo de baterías podemos encontrarnos con que van perdiendo carga aunque no se estén utilizando como 1% por día y tienen baja eficiencia (60%-70%).

Estas baterías están perdiendo poder debido al efecto de memoria que tienen. Esto consiste en que si por ejemplo se tiene un 60% de batería y se vuelve a cargar hasta el 100%, la batería pensará que está cargada totalmente mientras solamente estará cargada un 60%. Este efecto se debe a que el cambio en la transformación del cadmio a una forma cristalina de un tamaño pequeño a un tamaño grande. Por lo tanto estas baterías están siendo sustituidas por las baterías de Níquel e hidruro metálico. [2]

10.3. Baterías de Ion-Litio

Las baterías de ion-litio son un tipo de baterías recargables. El cátodo positivo está hecho de óxido metálico de litio mientras que el negativo está compuesto por un material de carbono. El electrolito utilizado es una sal de litio en un disolvente orgánico.

Durante la carga los iones de litio fluyen desde el electrodo positivo al electrodo negativo por medio del electrolito. En el electrodo negativo los electrones se combinan con los iones de litio haciendo que se deposite litio en dicho cátodo. El flujo de iones para cuando la batería está totalmente cargada. El mismo proceso pero en sentido contrario ocurre cuando la batería se está descargando.

Estas baterías presentan un montón de beneficios como gran densidad de energía, se cargan rápidamente, alta eficiencia (80%-90%). Además tienen una vida útil bastante larga en torno a los 3000 ciclos. Son más caras que las de NiCd pero pueden operar en una franja de temperaturas mayor. Presentan una tasa de descarga bastante menor que las de NiCd ya que es de tan solo 2% por mes.

Como desventaja principal tenemos que actualmente son baterías muy caras. Esto es debido al empaquetamiento especial que requieren y las protecciones internas que llevan los circuitos internos. Estas baterías necesitan menos volumen para generar más energía y suelen durar unos 3 años se hayan usado o no. [2]

Comparación de las distintas baterías

En esta tabla se va a comparar los tipos de baterías con sus características más importantes:

Tipo de Batería	Litio-Ácido	Niquel-Cadmio	Ion Litio
Voltaje (V)	2.0	1.2	3.0
Densidad de potencia	Moderate	Moderate	Very high
Energía específica (Wh/kg)	30-40	50-60	130-200
Autodescarga(%per month)	4-8	20-30	1-2
Ciclos de vida	1200-1800	>3500	3000-3200
Comparación del peso para la misma capacidad.	4	2	1
Comparación del tamaño para la misma capacidad.	3.5	1.8	1
Coste	Moderate	Moderate	High

Fig. 33: Representación comparación baterías. [2]

Como se puede observar, para nuestro motor vamos a usar la batería de ion-litio debido a que reúne unas características muy interesantes para un barco. Entre estas características habría que destacar que son las baterías que menos pesan, son las que presentan un tamaño más reducido, sus ciclos de vida son bastante aceptables, tienen gran densidad de potencia y finalmente, son las que más tardan en descargarse.

Ya que hemos utilizado un motor de la marca Mastervolt, se ha decidido también usar una batería de la misma marca. Dentro de que sea una batería de ion-litio tenemos 4 opciones.

1. MLI ULTRA 12/2500
2. MLI ULTRA 12/5000
3. MLI ULTRA 24/5000
4. MLS 12/80

Para saber que batería coger primero necesitamos los vatios-hora que vamos a consumir en el lado de la batería y que entrega al motor. El puerto más grande de España son 6 Km siendo este el puerto de Mahón en Menorca. Se van a seleccionar 7 Km para cubrir cualquier imprevisto y así poder usar el motor en todo los puertos de España sin problemas. Por lo tanto el motor eléctrico tiene que ser capaz de entrar y salir del puerto así que calculando una media de 10 maniobras para entrar y otras 10 para salir cogemos la potencia útil durante la aceleración a 3 nudos la dividimos entre el rendimiento de la máquina que vamos a suponer en 0.9 y la multiplicamos por 20.

$$P_{Estator} = \frac{6377.4}{0.9} = 7086 W$$

La aceleración se produce en 6 segundos con lo cual

$$E_{aceleración} = 7086W \times 5s \times \frac{1min}{60s} \times \frac{1h}{60min} \times 20 = 196.83 Wh$$

Ahora tenemos que considerar el trayecto de 7 km a velocidad de 3 nudos.

$$Tiempo = \frac{Distancia}{velocidad} = \frac{7000}{1.543} \times \frac{1}{3600} = 1.26 \text{ horas}$$

Pero como el trayecto es ida y vuelta serían 2.52 horas. La potencia para la velocidad de crucero de 3 nudos es 713.2W . Si lo pasamos al lado del estator que se consigue dividiendo esa potencia entre los rendimientos de la hélice, la transmisión y el motor eléctrico nos queda 990.56W.

$$E_{3nudos_{Estator}} = 990.56W \times 2.52h = 2496.54 \text{ Wh}$$

Con lo cual, la energía total necesaria son 2694Wh y como nuestro motor esta alimentado a 48 V necesitamos 2 baterías en serie MLI ULTRA 24/5000 con lo cual el total tendremos 10000 Wh pero como indica el fabricante para alargar la vida útil de la batería se va a utilizar al 80% de su descarga con lo cual tendremos 8000 Wh y esto quiere decir que nos van a sobrar 5306 Wh que serán realmente útiles para navegar sin ruido cuando se quiera y para no contaminar cerca de las costa cuando se esté fondeando por ejemplo.

MI MASTERVOLT | Español | f | yt | in

HOME / SISTEMAS / PRODUCTOS / REFERENCIAS / SERVICIO Y ASISTENCIA / NOTICIAS / ACERCA DE MASTERVOLT / INVERSORES SOL | búsqueda... >

ENCUENTRE SU DISTRIBUIDOR DE MASTERVOLT

Especificaciones generales

Tensión nominal de la batería	26,4 V
Capacidad nominal de la batería	180 Ah
Capacidad energética nominal de la batería	5000 Wh
Max. intensidad de corriente de descarga continua	500 A (2,8 C)
Intensidad de corriente de descarga máxima	1800 A (10 C) durante 10 seg.
Ciclo de vida	-2000 a 80 % DoD
Corriente máx. de carga	500 A (2,8 C)
Supervisión de la batería	integrado
Comunicaciones MasterBus	si
Terminales de la batería	M8
Posición de montaje	en posición vertical u horizontal
Dimensiones máx. exterior, laxanxal (incl. terminales/asas)	622 x 197 x 355 mm 24,5 x 7,8 x 14,0 pulgadas
Peso	58 kg 127,9 libras

Fig. 34: Representación especificaciones generales. [21]

 Mi Mastervolt 🇪🇸 Español f yt in																							
HOME / SISTEMAS / PRODUCTOS / REFERENCIAS / SERVICIO Y ASISTENCIA / NOTICIAS / ACERCA DE MASTERVOLT / INVERSORES SOL <input type="text" value="busqueda..."/>																							
ENCUENTRE SU DISTRIBUIDOR DE MASTERVOLT																							
<table border="1"> <tr><td>Química de la batería</td><td>fosfato de litio-hierro</td></tr> <tr><td>Grado de protección</td><td>IP65 (armario eléctrico)</td></tr> <tr><td>Conexión en paralelo</td><td>sí, ilimitado</td></tr> <tr><td>Conexión en serie</td><td>sí, hasta 10 baterías (serie equilibrar hasta 2 baterías)</td></tr> <tr><td>Protecciones</td><td>sobretensión, baja tensión, sobrecalentamiento</td></tr> <tr><td>Relé de seguridad</td><td>debe añadirse de manera obligatoria, art.nº 79007700</td></tr> <tr><td>Controles de apagado por relé</td><td>integrado</td></tr> </table>	Química de la batería	fosfato de litio-hierro	Grado de protección	IP65 (armario eléctrico)	Conexión en paralelo	sí, ilimitado	Conexión en serie	sí, hasta 10 baterías (serie equilibrar hasta 2 baterías)	Protecciones	sobretensión, baja tensión, sobrecalentamiento	Relé de seguridad	debe añadirse de manera obligatoria, art.nº 79007700	Controles de apagado por relé	integrado	<table border="1"> <tr><td>Integrado</td></tr> <tr><td>si</td></tr> <tr><td>M8</td></tr> <tr><td>en posición vertical u horizontal</td></tr> <tr><td>622 x 197 x 355 mm</td></tr> <tr><td>24,5 x 7,8 x 14,0 pulgadas</td></tr> <tr><td>58 kg</td></tr> <tr><td>127,9 libras</td></tr> </table>	Integrado	si	M8	en posición vertical u horizontal	622 x 197 x 355 mm	24,5 x 7,8 x 14,0 pulgadas	58 kg	127,9 libras
Química de la batería	fosfato de litio-hierro																						
Grado de protección	IP65 (armario eléctrico)																						
Conexión en paralelo	sí, ilimitado																						
Conexión en serie	sí, hasta 10 baterías (serie equilibrar hasta 2 baterías)																						
Protecciones	sobretensión, baja tensión, sobrecalentamiento																						
Relé de seguridad	debe añadirse de manera obligatoria, art.nº 79007700																						
Controles de apagado por relé	integrado																						
Integrado																							
si																							
M8																							
en posición vertical u horizontal																							
622 x 197 x 355 mm																							
24,5 x 7,8 x 14,0 pulgadas																							
58 kg																							
127,9 libras																							
Especificaciones técnicas																							

Fig. 35: Representación especificaciones técnicas [21]

11. DIMENSIONAMIENTO TANQUE DE COMBUSTIBLE

Se procede a calcular el tamaño del tanque de combustible a partir de las curvas que nos proporciona el fabricante. El motor usará la navegación con el motor térmico en trayectos que requieran una velocidad aproximada de 22 nudos. Con lo cual dimensionaremos el tanque para circular a esa velocidad en alta mar. Si se utiliza la gráfica potencia/revoluciones que proporciona el fabricante, a partir de la potencia que necesita el motor, 184024 W se pueden calcular fácilmente las revoluciones a las que trabajará el motor, 2520 rpm.

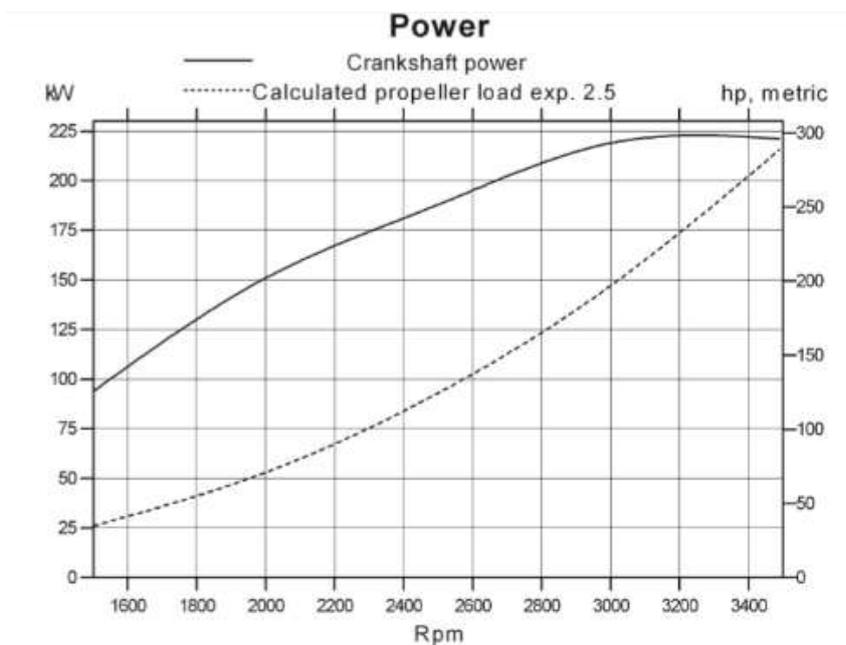


Fig. 36: Representación gráfica potencia-revoluciones. [19]

Atendiendo a la siguiente gráfica, podemos calcular el par que va a entregar el motor a 2520 rpm, siendo de 720 NM.

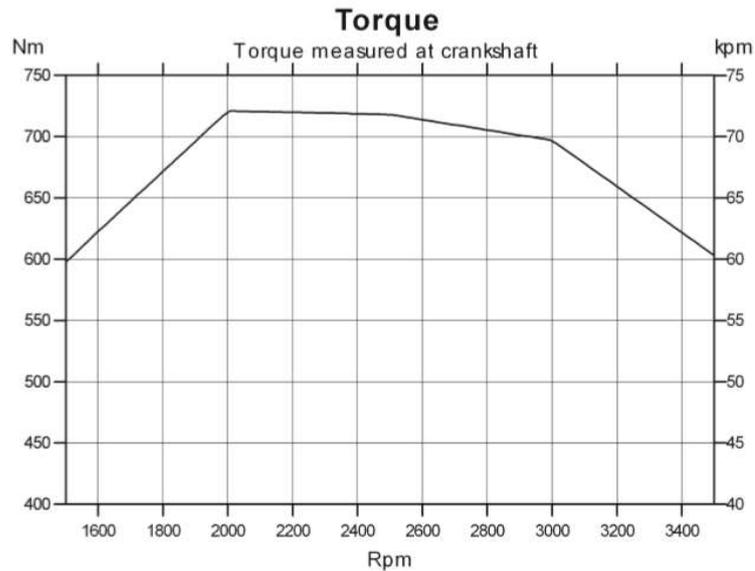


Fig. 37: Representación gráfica par revoluciones. [19]

Finalmente y el cálculo más importante que permite conocer las rpm es el consumo de litros por hora que en este caso será de 27 Litros/hora. A partir de este valor podemos dimensionar el tanque de combustible. Consideramos que un tanque de combustible tiene que abastecer como mínimo para un trayecto de 350 km. Suponiendo la velocidad de crucero de 17 nudos.

$$Tiempo = \frac{Distancia}{velocidad} = \frac{350000}{8,745} \times \frac{1}{3600} = 11,12 \text{ horas}$$

Que nos lleva a un tanque de 300 litros.

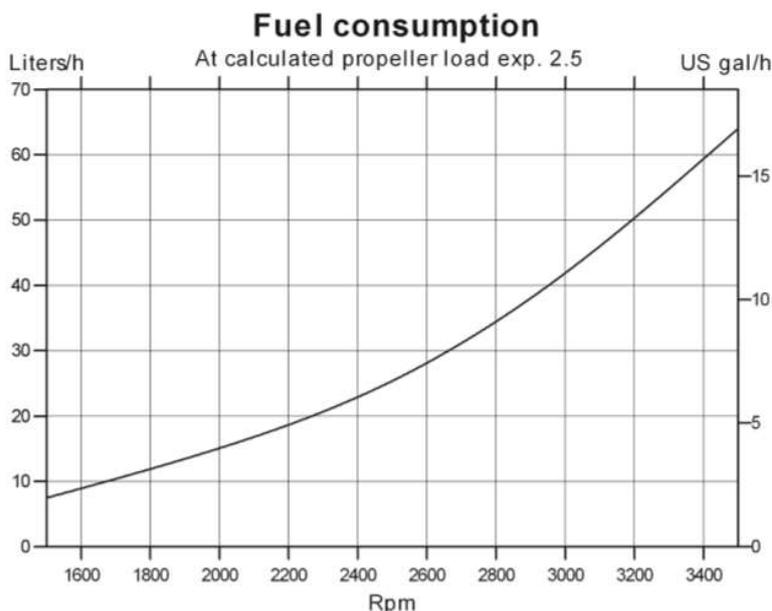


Fig. 38: Representación gráfica consumo de combustible-revoluciones. [19]

12. CRÍTICA A LA REGLAMENTACIÓN NÁUTICA ACTUAL

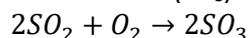
Un 51,4% de las emisiones totales en el planeta son producidas por el transporte. Yendo al tema que nos ocupa, un 5 % de las emisiones mundiales de CO_2 es responsabilidad directa del transporte marítimo. Es por ello que se ha implantado una regulación para controlar las emisiones ya que este modo de transporte es indispensable para la economía global.

Una gran cantidad del azufre generado en el planeta proviene de las plantas generadoras de electricidad (carboeléctricas y termoeléctricas), de la calcinación de los minerales de sulfuro y de la refinación del petróleo.

Sin embargo, los culpables de la mayoría de las emisiones de NO_x , SO_x y partículas en las zonas marítimas de la UE son los buques de carga. Cabe destacar que en torno al 20% de las emisiones se producen en el entorno de las 12 millas de mar territorial. [22]

12.1.1. Problemática del combustible, el azufre

Esta presencia de azufre en el combustible hace que aparezcan una serie de elementos que son perjudiciales. Entre estos, aparece el dióxido de azufre SO_2 (contaminación primaria), durante la combustión en el motor diésel. Aproximadamente entre un 3% y 5% de este dióxido de azufre se oxida dando lugar a trióxido de azufre (SO_3).



Este contaminante, al salir en los gases de escape reacciona con el vapor de agua formando ácido sulfúrico H_2SO_4 , contaminante secundario responsable de la lluvia ácida.



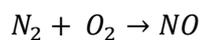
También hay que indicar otros gases de escape que son perjudiciales para la atmosfera y el medio marino como son el CO y el NO_x.

- El SO₂ es un gas tóxico para el ser humano, concentraciones de 500 partes por millón pueden acabar con la vida humana, en cambio concentraciones del orden de más de 20 ppm pueden afectar gravemente a la salud de una persona. La concentración de azufre suele ser menor de 10 partes por millón en la atmosfera. Efectos de este gas son la producción de problemas respiratorios, inhibiendo el crecimiento de las plantas, atacando a edificios y monumentos de roca caliza especialmente (ya que reacciona y se deshacen) .También acelera la corrosión de metales y enfría la atmósfera. Los sistemas acuáticos pueden sufrir a una acidificación que les conviertan en tóxicos.

- EL SO₃ es uno de los compuestos que contribuye a la formación de la lluvia acida H₂SO₄. Al igual que el dióxido de azufre, la lluvia acida impide el crecimiento de las plantas, destruye los edificios de roca caliza además de ayudar con el proceso de corrosión de metales. Además es bastante peligroso ya que puede producir problemas respiratorios.

- El CO es un gas que se forma en ausencia de oxígeno debido a la combustión incompleta de material orgánico. Este gas se produce principalmente en vehículos diésel y gasolina y puede ser realmente peligroso para el hombre ya que una vez superada cierta cantidad resulta ser tóxico. También ayuda a la creación del efecto Smog (el SO₂ también). Finalmente, debido a que contribuye a la formación de CO₂, contribuye directamente al efecto invernadero.

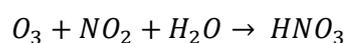
- El aire contiene nitrógeno con lo cual este reacciona con el oxígeno formando óxidos de nitrógeno. Para que ocurra esta reacción es necesaria una alta temperatura dando lugar a la formación de óxido nítrico. Este gas reacciona con los gases de la atmosfera y contribuye al smog pudiendo causar problemas oculares y pulmonares.



Posteriormente, el óxido nítrico reacciona con el ozono o el oxígeno del aire formando óxido nítrico, uno de los gases del efecto invernadero.



Finalmente, la última reacción produce HNO₃ que precipita en forma de agua ácida, que como ya hemos citado anteriormente produce efectos negativos sobre el medio ambiente y el ser humano. Además, el nitrato produce el conocido fenómeno de eutrofización, crecimiento accentuado de las algas maritimas que puede contribuir a un aumento del consumo de oxígeno y por consiguiente la falta de oxígeno para cualquier otro tipo de vida presente.



Este tipo de embarcaciones utiliza un derivado del petróleo crudo. El petróleo contiene azufre de manera natural con concentraciones desde el 1% hasta el 4% en peso. La cantidad de azufre contenido en el combustible está regulado por la ley. Al principio solo se permitía un 4% de azufre en el combustible y se ha reducido hasta el 3,5% pero se pretende seguir reduciendo estos valores.

Para tener regulada la emisión de este tipo de gases se impuso una normativa marítima en lo que se conoce como las zonas ECA. En recientes estudios se ha podido ver como la emisión de contaminantes hubiera aumentado terriblemente de no ser por las normativas. En el siguiente gráfico podemos comprobar cómo se controla la emisión.

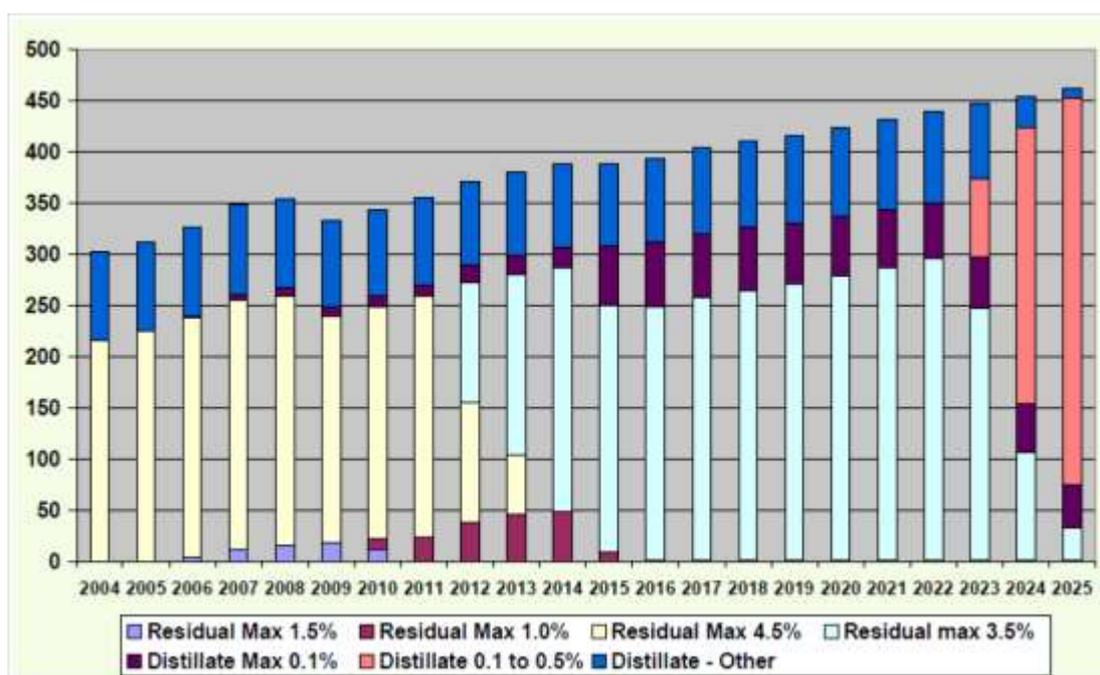


Fig. 39: Representación gráfica consumo de combustible-revoluciones. [22]

Se puede apreciar como el consumo está íntimamente relacionado con la normativa. Si nos fijamos en el año 2012 se ve claramente como el contenido en azufre está limitado al 3,5% por lo tanto el consumo es mayor. [22]

Los motores de propulsión se deben construir de tal manera que en condiciones nominales no superen los valores límite que se pueden observar en la siguiente tabla:

Tipo	(g/kWh)							Óxidos de nitrógeno NOx	Partículas PT
	Monóxido de carbono CO = A + B/PN n			Hidrocarburos HC = A + B/P N n					
	A	B	n	A	B	n			
Dos tiempos encendido por chispa.	150,0	600,0	1,0	30,0	100,0	0,75	10,0	Sin objeto.	
Cuatro tiempos encendido por chispa.	150,0	600,0	1,0	6,0	50,0	0,75	15,0	Sin objeto.	
Encendido por compresión.	5,0	0	0	1,5	2,0	0,5	9,8	1,0	

Fig. 40: Requisitos sobre emisiones de escape. [23]

En cuanto a la legislación europea referida a los vehículos, hay que fijarse en la Euro 6 o EU 6 que es la reglamentación impuesta por la Unión Europea y establece límites para las emisiones. Esta ley tiene por objetivo fijar límites más bajos para las emisiones de partículas y óxidos de nitrógeno en los vehículos. Desde Septiembre del 2014 está prohibido emitir más de 80 mg de nitrógeno por km. Este límite es bastante menor al antiguo de 180 mg por cada kilómetro. A partir del 2015 todos los automóviles que se vendan en la Unión Europea deben cumplir con la normativa referida a la Euro 6.

La norma Euro 1 que se estableció en 1993 ha conseguido que se reduzcan las emisiones sensiblemente. Además los avances tecnológicos también han contribuido fuertemente a la reducción de contaminantes como el CO₂, óxidos de nitrógeno y demás partículas. Confiando en que con la electrificación en la propulsión las emisiones se reduzcan todavía más.

A la gente le preocupa mucho el gasto pero cabe destacar que con la Euro 6, los vehículos tendrán los mismos precios que los vehículos pertenecientes a la Euro 5. Con lo cual la incorporación de esta nueva normativa no implica un problema económico.

Los motores diésel de hasta unos 1700 kg necesitan un tratamiento más perfeccionado de los gases de escape. Habrá coches que requieran un catalizador tipo SCR con Adblue. Adblue es una solución de urea inodora que convierte los óxidos de nitrógeno en vapor de agua y nitrógeno inocuo. [24]

Pero esto no es suficiente. Con la tasa de la normativa se sigue contaminando y por tanto afectando a la biomagnificación y la bioacumulación lo cual agrava perjudicialmente a la biodiversidad.

Sin embargo se pueden realizar otros métodos de control y otras medidas con las que no se contamine en absoluto. Los métodos de control pueden dividirse en dos:

- primarios: evitan la formación del contaminante
- secundarios: el contaminante se forma y después se elimina

Los métodos primarios se centran más en el combustible, es decir, en operaciones de refino del combustible pesado y desulfuración del crudo. También, dentro de los métodos primarios encontramos la posibilidad de utilizar combustibles destilados y/o alternativos. Cabe destacar, que tras varios estudios se ha descubierto que a medio plazo (5/10 años) es más rentable utilizar un método secundario (instalar un scrubber) que utilizar combustible con menor cantidad de azufre.

Los métodos primarios tratan más sobre el combustible, como por ejemplo mejorar las operaciones de refino del combustible pesado y la desulfuración del crudo. Otro ejemplo de método primario sería utilizar combustibles destilados y/o alternativos. Pero según varios

estudios se sabe que a medio plazo (5/10 años) sale más rentable utilizar un método secundario (como la instalación de un scrubber) que utilizar un combustible con bajo contenido en azufre. Por lo que al hacer un balance rápido no nos interesa utilizar estos combustibles a pesar de que conseguiríamos resolver números problemas como hemos comentado anteriormente como por ejemplo los problemas relacionados con la salud de las personas y el medio ambiente. El proceso de desulfuración es muy costoso y a las empresas de refinería no les haría mucha gracia.

Dentro de los métodos secundarios podemos diferenciar distintos sistemas.

Me gustaría analizar los distintos métodos en el caso de los buques Ro-Ro. Lo que se conoce como buques Roll on Roll off, buques de carga-descarga horizontal, especializados en la transportación de cargas.

Los trayectos de este tipo de buques rodean los 370 km (200 millas náuticas), perfectos ya que el transporte marítimo no es un competidor del transporte aéreo en trayectos de larga distancia. Gracias a las rampas, se ha reducido el proceso de carga y descarga, es decir, el tiempo de permanencia en los puertos de los buques, abaratando así los costes dejando el transporte marítimo en una nueva potencia en transporte de corta y media distancia. Un ejemplo en el que hoy en día se cumple la preferencia del transporte marítimo es el trayecto desde Denia a cualquier isla Balear, que en cualquier de los casos sale más rentable el trayecto en ferri.

Al ser trayectos cortos, la emisión de los gases de escape no solo afecta al medio marino también afecta a ciudades costeras e incluso podría contaminar a ciudades interiores (pasando mucho tiempo en la zona ECA).

Dentro de los métodos secundarios podemos distinguir dos tipos de sistemas scrubbers: el húmedo y el seco. Una de las diferencias entre estos dos tipos de sistemas scrubbers es la parte de los residuos: uno es seco y el otro húmedo, ya que el seco tiene una temperatura más elevada y se convierte en vapor. Otra diferencia se encuentra en el desprendimiento del agua de lavado (esta agua tiene propiedades contaminantes debido a su acidez y creo compuestos orgánicos inadecuados para el mar): el húmedo lo vierte al mar y el seco no.

Me he decantado por el análisis de los scrubbers cerrados en vez de los abiertos ya que son más respetuosos con el medio ambiente pero aun así hay polémica con el manejo y transporte de los residuos de la planta de reutilización.

El funcionamiento de un sistema scrubber se basa en mezclar los gases del motor con el agua marina y el calcio (Ca), que es un absorbente que junto a la alcalinidad del agua funciona muy bien, para que se forme un residuo (sulfato de calcio) absorbiendo todos los contaminantes además de eliminar los NO, los CO y las partículas materializadas. Ese residuo formado (la base para hacer yeso) se descarga en puerto y se transporta a una planta para obtener el yeso.

El rendimiento de este sistema alcanza el 99% de eliminación de la contaminación. Se podría decir que el rendimiento es prácticamente el óptimo.

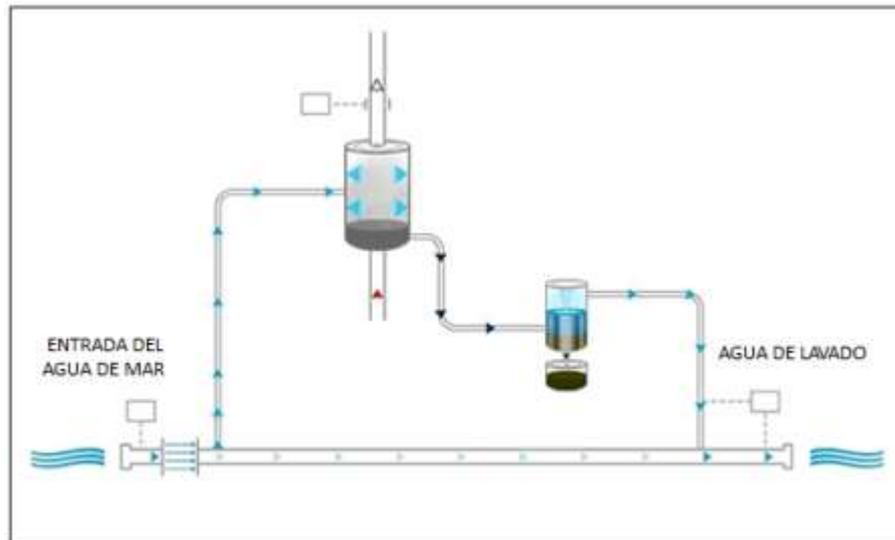


Fig. 41: Scrubber húmedo de tipo abierto. [22]



Fig. 42: Scrubber de tipo cerrado. [22]

Existen otros tipos de sistemas de impulsión (incluso auxiliares) que también podrían ser rentables. Como por ejemplo, la inclusión de paneles solares para suministrar energía fotovoltaica. El inconveniente, la sal del mar estropee las placas solares y bajan mucho su rendimiento. Como es sabido este sector está todavía en desarrollo, por lo que yo apostaría por los motores híbridos hasta llegar a lo requerido con los motores eléctricos. De momento es la mejor solución para disminuir las emisiones de contaminantes de los buques. [22]

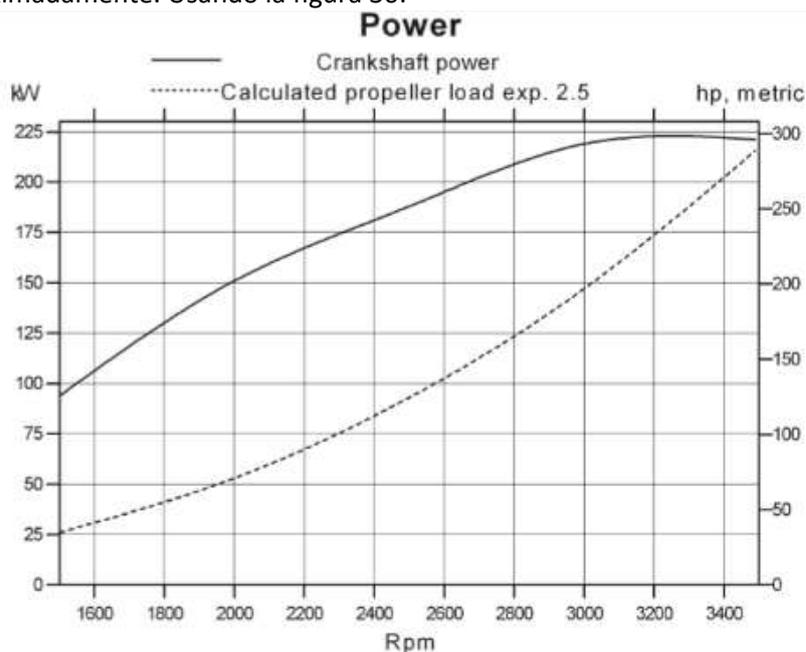
13. RESULTADOS

13.1. Ahorro de combustible

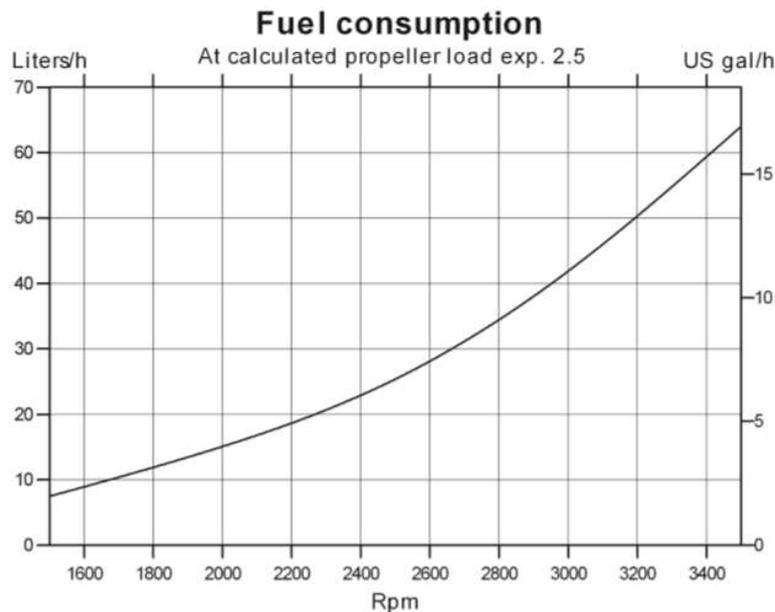
Se procede a analizar los beneficios de usar un motor híbrido en vez de un motor de combustión. Para ello hay que analizar las siguientes situaciones:

13.1.1. Uso exclusivo del motor eléctrico

Este caso se produce a la entrada y salida del puerto cuando el barco tiene que mantener la velocidad de 3 nudos durante el trayecto. Se dispone de un motor eléctrico de 10 KW y de unas baterías que proporcionan 8000 Wh. Como durante la entrada y salida del puerto la energía total necesaria son 2694Wh. Esto quiere decir que estamos utilizando un 34% de la energía que hay en las baterías, habiendo un 66% restante para su uso al atracar en calas y demás. Lo que interesa ahora es calcular cuánto combustible se ahorra durante el trayecto de entrada y salida de puerto. La potencia total necesaria sería de 6377.4 W. Si se utiliza la gráfica potencia/revoluciones que proporciona el fabricante, a partir de la potencia que necesita el motor, 6377.4 W, se pueden calcular fácilmente las revoluciones a las que trabajará el motor, 1500 rpm aproximadamente. Usando la figura 36:



Finalmente se calcula el consumo en litros por hora a 1500 rpm que en este caso será de 9,5 Litros/hora. A partir de este valor podemos ver el consumo de combustible que se ahorra en la figura 38:



Considerando que el trayecto es de 7 km a velocidad de 3 nudos.

$$Tiempo = \frac{Distancia}{velocidad} = \frac{7000}{1.543} \times \frac{1}{3600} = 1.26 \text{ horas}$$

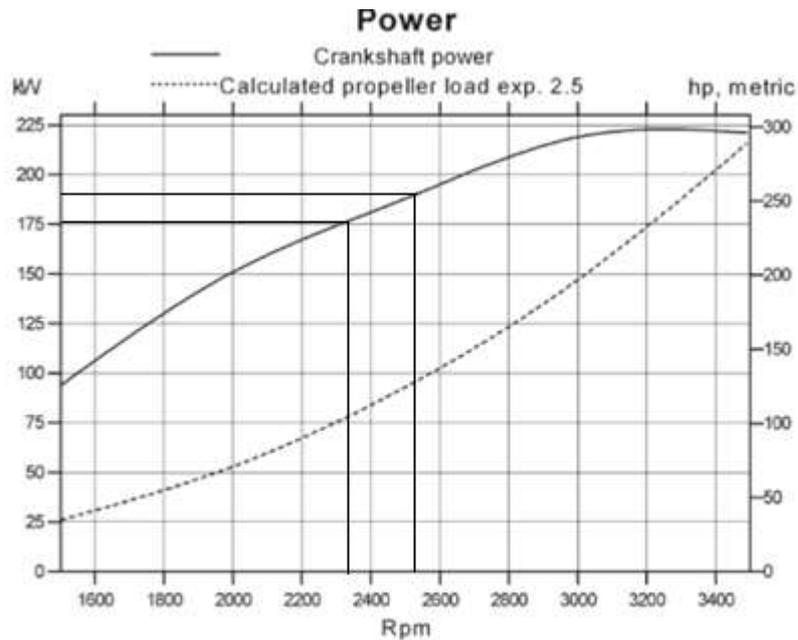
Pero como el trayecto es ida y vuelta serían 2.52 horas.

A un consumo de 9,5 Litros/hora nos queda el siguiente ahorro de combustible.

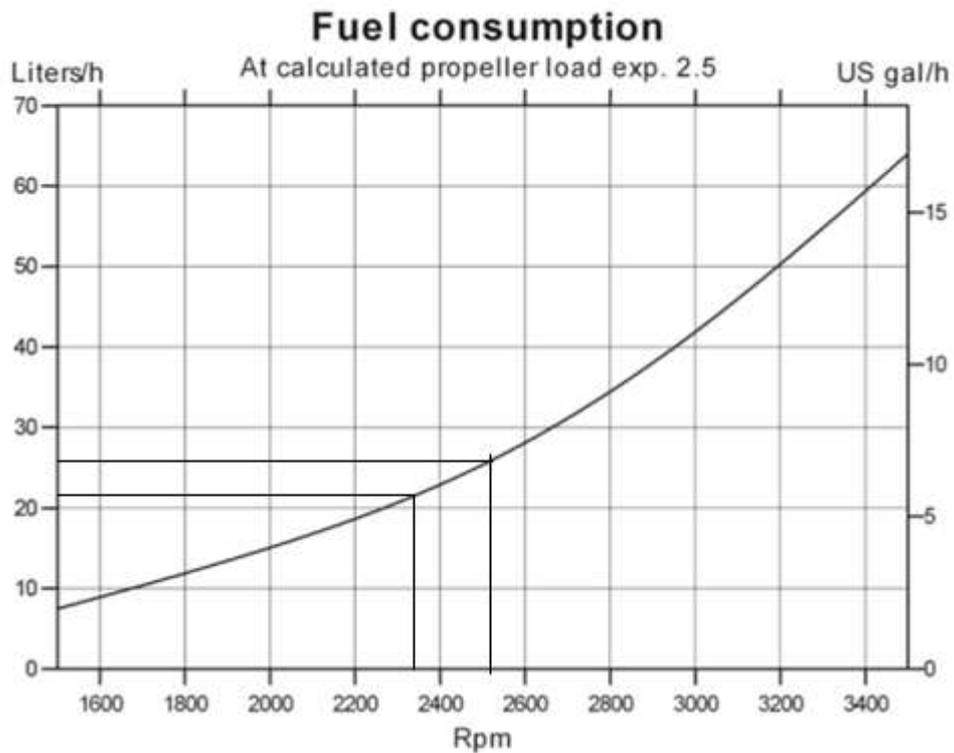
$$Ahorro \text{ total combustible} = consumo \times tiempo = 9.5 \times 2.52 = 23.94 \text{ l}$$

13.1.2. Uso con motor eléctrico y motor térmico en paralelo

En este caso es para cuando el barco está yendo a velocidad de crucero y queremos usar los dos motores a la vez. De esta manera el ahorro se calculará como el trabajo que le quita el motor eléctrico al motor de combustión y a partir de esto sacaremos los litros de combustible que ahorramos en este trayecto. El motor eléctrico lo máximo que puede aportar son 10 KW lo que quiere decir que quitando las pérdidas que hay que tener en cuenta tanto en la hélice como en la transmisión nos queda una potencia mecánica útil de 8KW. Si se utiliza la gráfica potencia/revoluciones (figura 36) que proporciona el fabricante, y nos movemos a lo largo de la curva, restándole a la potencia del motor térmico durante la velocidad de crucero (184024 W) la potencia que puede aportar el motor eléctrico (8000W) nos queda una potencia térmica de 176024W lo que hace que el motor pase de trabajar de 2522 rpm a 2333 rpm.



Si ahora entramos en la gráfica de consumo de combustible (figura 38), nos queda que a 2333 rpm se consume 21.5 Litros/hora y como antes se consumía un total de 26 Litros/hora.



Se puede apreciar como la potencia que aporta el motor eléctrico es muy pequeña en comparación con la potencia del motor térmico sin embargo se ve claramente que se consigue

reducir las revoluciones por minuto lo que se traduce en una reducción del consumo del motor térmico en 4,5 Litros/hora de combustible.

Considerando un trayecto habitual que puede realizarse en temporada de verano, 23,69km (distancia entre Ibiza y Formentera) vamos a calcular el ahorro de combustible que se produciría. Considerando que el trayecto es de 23,69 km a velocidad de 17 nudos.

$$Tiempo = \frac{Distancia}{velocidad} = \frac{23690}{8,7456} \times \frac{1}{3600} = 0,752 \text{ horas}$$

Pero como el trayecto es ida y vuelta serían 1,5 horas. A un consumo de 4,5 Litros/hora nos queda el siguiente ahorro de combustible.

$$Ahorro \text{ total combustible} = consumo \times tiempo \quad 4,5 \times 1,5 = 6,75 \text{ l}$$

Finalmente, como conclusión cabe concluir que el ahorro de combustible es mayor en el tramo puramente eléctrico que en el tramo en paralelo.

13.2. Ahorro de emisiones

Para calcular el ahorro de emisiones se procede a usar la siguiente formula que determina el CO_2 emitido por cada kilogramo de combustible consumido.

$$\frac{kg \ CO_2}{kg \ Combustible} = \frac{44}{12 + \frac{y}{x}}$$

x e y representan la cantidad de carbonos e hidrógenos respectivamente que contiene el hidrocarburo en cuestión. En este caso concreto se trata de Diesel que presenta la siguiente composición $C_{12}H_{23}$. Esto quiere decir que por cada kilogramo de combustible consumido se emiten 3.162 kilogramos de CO_2 . Durante todo el caso de estudio se ha trabajado con litros y no con kilogramos con lo cual se realizará la conversión de kilogramos a litros a partir de la densidad del combustible que resulta ser de 840 g/l. Con lo cual con una simple regla de tres obtenemos los kilogramos de CO_2 emitidos a partir de los litros de combustible.

$$\begin{array}{ll} x_1 = 1 & y_1 = 3.162 \\ x_2 = 0.840 & y_2 = ? \end{array}$$

Con lo cual, a partir de estos datos queda que se emiten 2.656 kilogramos de CO_2 por cada litro de combustible consumido. Ahora, a partir de los litros de combustible ahorrado que hemos calculado en el apartado anterior podemos calcular la cantidad de CO_2 que se ahorra.

Para ello distinguimos 2 casos diferentes.

13.2.1. Motor puramente eléctrico.

El ahorro total de emisiones durante el trayecto de ida y vuelta en el puerto de Mahón de 7 km sería el siguiente:

$$\text{Ahorr total emisiones} = \text{consumo} \times \text{litros} = 2,656 \times 23,94 = 63,58Kg$$

13.2.2. Motor térmico y eléctrico en paralelo.

El ahorro total de emisiones durante el trayecto de ida y vuelta desde Ibiza hasta Formentera que consta de 23,69 km sería el siguiente:

$$\text{Ahorr total emisiones} = \text{consumo} \times \text{litros} \quad 2,656 \times 6,75 = 17,928Kg$$

13.3. Ahorro económico

El ahorro económico está directamente relacionado con el ahorro de combustible. Esto se debe a que el KiloWatiohora que se obtiene de la red eléctrica es más económico que el obtenido a partir de combustible. Actualmente, el precio del litro de Diesel a 30 de Mayo de 2016 se encuentra en 1.17 USdollar/litro (1 USD = 0.896 Euros) [25] con lo cuál se encuentra a 1.04832 Euros/litro. A partir de los litros de combustible ahorrados que se han calculado previamente se puede obtener fácilmente la cantidad económica que se ahorra. Sin embargo, cabe destacar que a este valor hay que restarle el gasto que se produce al cargar eléctricamente las baterías. Este dato lo obtenemos a partir de la tarifa eléctrica.

El 1 de Julio de 2009 se estableció en España un sistema de tarifa eléctrica que permite dos posibilidades diferentes.

1. Tarifa de luz en el mercado libre. Este tipo de sistema permite la libre competencia de las empresas ya que el precio no lo dictamina el estado y el usuario puede escoger la oferta que más le interese.

2. Tarifa de último recurso (TUR). Es un tipo de tarifa dictaminada por el ministerio de Industria, Turismo y Comercio de manera trimestral. Mediante este sistema el cliente puede contratar esta tarifa con cualquiera de las comercializadoras. Cabe destacar que a esta tarifa solo se pueden acoger aquellos que contraten una potencia igual o menor a 10 KW con una tensión inferior a 1 KV. Esta tarifa es el precio máximo que las comercializadoras de último recurso (CUR) pueden cobrar a los clientes que la tengan contratada. Se fijan dos partes, el término de potencia contratada y el consumo de energía. El precio de la tarifa es único en España y varía según la potencia contratada y los horarios de facturación. Esta tarifa ha protegido a los usuarios pero sin embargo ha limitado la competitividad de las ofertas eléctricas. [26]

Las cinco empresas que tienen derecho a ser comercializadoras de último recurso son:

1. Endesa Energía XXI, S.L
2. Iberdrola Comercialización último recurso, S.A.U.
3. Unión Fenosa Metra, S.L.
4. Hidrocantábrico Energía Último Recurso S.A.U. (actualmente EDP HC Energía)
5. E.ON Comercializadora de Último Recurso, S.L.

Dentro de esta tarifa, los usuarios disponen de tres métodos de facturación:

1. Sin discriminación horaria
2. Con discriminación horaria (2 periodos). Dividen el día en dos franjas denominadas valle y punta. Las de valle son las más baratas y las de punta son las más caras.
3. Con discriminación horaria (3 periodos). Dividen el día en tres franjas denominadas supervalle, valle y punta. La tarifa de supervalle es la más barata, luego la de valle y la de punta es la más cara.

Tarifas*	Potencia	Término de potencia (€/kW año)	Término de energía (€/kWh mes)			
			Sin discriminación	Con discriminación		
				P1	P2	P3
Precios BOE	≤10 kW	42,043426	0,124107	0,148832	0,057995	-
Precios BOE Supervalle	≤10 kW	42,043426	-	0,150812	0,071879	0,044146

Fig. 43: Tarifas vigentes de electricidad - Resolución 31/01/2014 (BOE 01/02/2014) [27]

Como para cargar las baterías no se requiere ningún esfuerzo salvo conectarlas a la red, vamos a conectarlas en periodo de supervalle que resulta ser cuando el precio es más económico (0,044146 Euros/kWh).

Hay que distinguir los 2 casos de estudio.

1. Motor puramente eléctrico.

Para realizar el trayecto a lo largo del puerto de Mahón la energía total necesaria son 2694Wh. Esto quiere decir que el ahorro económico total durante el trayecto de ida y vuelta a lo largo del puerto de Mahón será el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{Ahorro económico total} &= \text{precio litro combustible} \times \text{litros ahorrados} \\
 &- \text{tarifa supervalle} \times \text{energía total necesaria} \\
 &= 1,04832 \times 23,94 - 0,044146 \times 2,694 = 24,98 \text{ Euros}
 \end{aligned}$$

2. Motor térmico y eléctrico en paralelo.

Para realizar el trayecto desde Ibiza a Formentera a velocidad de crucero la energía total necesaria será la siguiente:

$$\text{Energía Ibiza – Formentera} = 8000W \times 1,5h = 12000 \text{ Wh}$$

Esto quiere decir que el ahorro económico total durante el trayecto de ida y vuelta será el siguiente:

Ahorro económico total

$$\begin{aligned}
 &= \text{precio litro combustible} \times \text{litros ahorrados} \\
 &- \text{tarifa supervalle} \times \text{energía total necesaria} \\
 &= 1,04832 \times 6,75 - 0,044146 \times 12 = 6,55 \text{ Euros}
 \end{aligned}$$

Con lo cual el ahorro total de salir a navegar es de 31,53 Euros. Suponiendo que la temporada de salir a navegar es durante verano ponemos que cualquier dueño de un barco sale a navegar una media de 2 meses al año, lo que supone un ahorro de 1892 Euros al año.

Si un motor de las condiciones que requerimos por ejemplo el fueraborda Yamaha F350D se encuentra en oferta en torno a los 25.000 Euros. [28]

Para convertir el motor de combustión en uno híbrido Mastervolt ofrece un pack que sale por 24.300 Euros. Con lo cual suponiendo que la vida útil de uno de estos motores es de 20 a 30 años vamos a calcular si económicamente sale rentable. Estimamos los años de vida útil en 25. [29]

Tenemos entonces que comparar 2 casos:

1. Gasto total motor híbrido

Gasto combustible en un año

$$\begin{aligned}
 &= \text{precio litro combustible} \\
 &\times \text{litros ida vuelta}_{\text{Mahón,Ibiza-Forme}} \\
 &\times \text{número de días navegados al año} \\
 &= 1,04832 \times (23,94 + 26 \times 1,5) \times 60 = 3958,88 \text{ Euros}
 \end{aligned}$$

Gasto económico total

$$\begin{aligned}
 &= \text{inversión inicial} + \text{precio motor} + \text{años vida útil} \\
 &\times (\text{Gasto combustible un año} - \text{ahorro en un año}) \\
 &= 24300 + 24595 + 25 \times (3958,88 - 1892) = 100567 \text{ Euros}
 \end{aligned}$$

2. Gasto total motor combustión

Gasto económico total

$$\begin{aligned}
 &= \text{precio motor} + (\text{años vida útil} \\
 &\times \text{Gasto combustible en un año}) = 24300 + 25 \times 3958,88 \\
 &= 123272 \text{ Euros}
 \end{aligned}$$

Claramente se puede observar como el motor híbrido sale rentable a largo plazo, hay un ahorro de 22705 Euros.

14. CONCLUSIÓN

Como conclusión final y en vista de los resultados obtenidos, se puede observar como el proyecto es favorable desde las tres perspectivas. Es decir, es favorable desde el punto de vista medio ambiental ya que se reduce considerablemente la emisión de hidrocarburos. Es favorable desde el punto de vista del ahorro de combustible lo cuál es realmente importante ya que como comentamos al principio, el petróleo es una energía no renovable y llegará un momento en el que se agote. Finalmente, hay que destacar que es favorable en el aspecto económico a largo plazo que es lo que realmente le importa a la gente. Por todos estos motivos, y como ya se ha señalado anteriormente, la ley debería ser más estricta en el tema de la contaminación aportando incluso subvenciones para ayudar a que las grandes empresas introduzcan este tipo de motores que presentan aspectos positivos para la humanidad y el planeta tierra.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. M. L. Martínez, «Revista anales,» [En línea]. Available: http://www.revista-anales.es/web/n_21/seccion_2.html.
- [2] B. Rabadán, «2016,» *Assesment of the impact of electricity storage on power quality in distribution systems..*
- [3] «eRenovable,» [En línea]. Available: <http://erenovable.com/candidatos-a-sustituir-al-petroleo>. [Último acceso: Enero 2016].
- [4] «aficionadosalamecanica.net,» [En línea]. Available: <http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos.htm>.
- [5] A. B. Luis Bosch, «nauticayyates.com,» [En línea]. Available: <http://www.nauticayyates.com/tag/motor-electrico/>.
- [6] «ODCmarine,» [En línea]. Available: <http://www.odcmarine.com/gamme-bateaux/mono-10-4-m-25-pax-hybride/>.

- [7] «ODCmarine,» [En línea]. Available: <http://www.odcmarine.com/gamme-bateaux/mono-12-m-50-pax-hybride/>.
- [8] «Luxury Sea,» [En línea]. Available: <http://www.luxury-sea.com/#!mig675/c1e4u>.
- [9] «Nautica Expo,» [En línea]. Available: <http://www.nauticexpo.es/prod/stormer-marine-bv/product-43082-320842.html>.
- [10] «Delphia yachts,» [En línea]. Available: <http://en.delphiayachts.eu/yacht/escape-1000-eco>.
- [11] «Arcadia yachts,» [En línea]. Available: <http://www.arcadiayachts.it/en/85/1/>.
- [12] «Feller yachting,» [En línea]. Available: http://www.felleryachting.de/index.php?cat=Power&cat1=evolution_8.50_&cat2=specs_hybrid&id=79&lang=en.
- [13] «Nautica expo,» [En línea]. Available: <http://www.nauticexpo.es/prod/cockwells/product-29514-469936.html>.
- [14] «Solar Team Eindhoven,» [En línea]. Available: <http://www.solarteameindhoven.nl/>.
- [15] «El mundo,» [En línea]. Available: <http://www.elmundo.es/motor/2014/03/07/5319a231ca4741426d8b4575.html>.
- [16] «wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Pesca_al_curric%C3%A1n.
- [17] «Oriyana,» [En línea]. Available: <https://www.oriyana.com/images/Torgovlya/Mastervolt/6%20Propel.pdf>.
- [18] «Revista anales,» [En línea]. Available: http://www.revista-anales.es/web/n_13/pdf/seccion_7.pdf.
- [19] «Volvo penta,» [En línea]. Available: <http://www.volvopenta.com/volvopenta/spain/es-es/marine-commercial/High-performance-propulsion/aquamatic-sterndrive/engine-range/Pages/EngineRange.aspx>.
- [20] [En línea]. Available: <http://ies.isidradeguzman.alcala.educa.madrid.org/departamentos/fisica/temas/redux/electrolisis.html>. [Último acceso: Mayo 2016].
- [21] «Mastervolt,» [En línea]. Available: <http://www.mastervolt.es/productos/baterias-terminals/>.
- [22] R. De Ramón, «Limpieza de gases de combustión en los buques Ro-Ro,» 2016.
- [23] [En línea]. Available: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/570777-rd-98-2016-de-11-mar-requisitos-de-seguridad-tecnicos-y-de-comercializacion.html. [Último acceso: Mayo 2016].
- [24] [En línea]. Available: <http://www.abc.es/motor-reportajes/20140904/abci-norma-euro-segun-bosch-201409031842.html>. [Último acceso: Mayo 2016].

- [25] [En línea]. Available: http://es.globalpetrolprices.com/diesel_prices/ . [Último acceso: Mayo 2016].
- [26] M. Guillén, «Estudio de la evolución del precio de la energía eléctrica en España. Valorización energética de residuos.,» 2016.
- [27] [En línea]. Available: <http://www.edpenergia.es/es/empresas-y-grandes-clientes/gas-y-electricidad/precios/>. [Último acceso: Mayo 2016].
- [28] [En línea]. Available: <http://www.marinakeywest.com/motor-fueraborda-yamaha-f-350-aetu-completo-producto-112-655.html>. [Último acceso: Mayo 2016].
- [29] A. A. Peña, «Diseño de una embarcación híbrida de recreo,» 2012.
- [30] «El Economista,» [En línea]. Available: <http://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/7262306/01/16/Coches-hibridos-para-todos-las-mejores-novedades-que-llegan-en-2016.html>. [Último acceso: Febrero 2016].

16. Anexos

16.1. Anexo A: Coches [30]

Entre los vehículos híbridos más importantes durante el 2016 se tendrán los siguientes:

16.1.1. TOYOTA PRIUS

El siguiente vehículo es un clásico entre los híbridos. Sin embargo, este año se trata de la cuarta generación de este vehículo. Ofrece una línea muy futurista en cuanto al diseño exterior. En el interior cuenta con un aumento de espacio (en el maletero caben unos 502 litros). Sin embargo, en cuanto a la potencia, esta se ha visto reducida debido a que los ingenieros han buscado la máxima eficiencia. El nuevo Prius tiene 122 CV, y ofrece las mismas prestaciones que antes con un consumo de tan solo 3L/100Km. Todavía se desconoce el precio al que saldrá al mercado este modelo pero estará cerca de los 23.000 euros de partida que cuesta el modelo antiguo.



Fig. 44: Toyota Prius.

16.1.2. VOLKSWAGEN PASSAT GTE

Este modelo intenta fusionar el motor híbrido con el concepto GTI. Este vehículo ofrece grandes prestaciones y máxima eficiencia gracias a un motor de gasolina TSI de 1,4 litros y 156 CV combinado con un motor eléctrico de 115 CV. Entre las ventajas de este bólido tenemos que cuenta con una potencia total de 218 CV y un par total de 400 Nm. Además, consume aproximadamente 1,6 litros cada 100 Km gozando de una autonomía de 1.100 Km, emite unos 37 gramos de CO₂ de media y es capaz de alcanzar de 0 a 100 Km/h en 7,4 segundos. Este vehículo es capaz de circular en modo puramente eléctrico durante 50 Km y a una velocidad máxima de 130 Km/h. El único defecto que le podemos encontrar a este vehículo a pesar de su gran equipamiento tecnológico es el precio. Actualmente, en Alemania cuesta 44.000 euros y por lo tanto cuando salga en España será más caro.



Fig. 45: Volkswagen Passat GTE.

16.1.3. LEXUS RX 450H

Esta marca ha sido de las primeras en trabajar la hibridación en sus vehículos, es por ello que cuenta con una gran ventaja frente al resto de vehículos. Los clientes de los que goza esta marca provienen de grandes firmas como Mercedes o BMW atraídos por la tecnología puntera. El nuevo RX goza de un sistema de propulsión que combina un motor de gasolina 3.5 V6 junto con dos motores eléctricos. Estos tres motores, a través de una transmisión automática dan movimiento a las cuatro ruedas. Es capaz de entregar 313 CV y 335 Nm de potencia y par conjuntamente y consume unos 5,2 litros a los 100 Km.



Fig. 46: Lexus RX 450h

16.1.4. MITSUBISHI OUTLANDER PHEV

Se trata de un vehículo que ha cambiado completamente de diseño. Cuenta con nueva parrilla, grupos ópticos rediseñados, paragolpes pero no solo ha sido renovado en apariencia si no que ahora cuenta con mejoras en cuanto al tema dinámico gracias a una carrocería más rígida y a

los estabilizadores traseros que son más gruesas. En total este híbrido es capaz de ofrecer 203 CV y en cuanto a las emisiones se puede decir que se ven reducidas.



Fig. 47: Mitsubishi Outlander PHEV

16.1.5. AUDI Q7 E-TRON QUATTRO

El siguiente vehículo es el primer SUV en utilizar un motor diésel TDI de 6 cilindros. Ofrece una potencia y par totales de 373 CV y 700 Nm, acelerando de 0 a 100 Km/h en 6 segundos y consume 1,7 L a los 100 Km, siendo capaz de estar en modo totalmente eléctrico durante 56 kilómetros. Estas prestaciones se consiguen gracias a una batería compuesta por 168 celdas de ion-litio que ofrece una gran capacidad a la vez que es capaz de recargarse en un tiempo muy corto si se enchufa a una red no convencional. Además, en poco tiempo el cliente podrá gozar de un sistema de recarga por inducción libre de cables. También cabe destacar la tecnología puntera que tiene y que lo hace muy confortable y silencioso. Entre estas cosas gestiona el calor de los componentes eléctricos para usarlo en la climatización del vehículo.



Fig. 48g: Audi Q7 e-tron quattro

16.1.6. HONDA NSX

Los superdeportivos también están empezando a incorporar la hibridación en sus vehículos. La marca japonesa utiliza un motor biturbo de 6 cilindros en V junto con un motor eléctrico tras la transmisión automática de 9 velocidades. La tracción adicional aparece con dos propulsores eléctricos que se encargan de mover el eje delantero. Este bólido es capaz de alcanzar los 580 CV de potencia, alcanzando el 0 a 100 en tan solo 3 segundos y supera la velocidad de los 300 Km/h. Su precio estará en torno a los 200.000 euros.



Fig. 49: Honda NSX