

2014

Autor: Pablo García Garcerán  
Director: D.Federico López-Cerón de Lara

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

Departamento: Procesos de Ingeniería de Materiales y Fabricación.



# AUDITORÍA ENERGÉTICA EN BUQUES PESQUEROS DE $L < 24M$



*A mi familia, a mi novia, a mis amigos y a mis profesores por la confianza depositada de manera incondicional y por el ánimo y el aliento recibido a lo largo de estos años.*



## CONTENIDO

1. Objetivos.....	4
2. Introducción.....	4
2.1. Marco introductorio legal.....	5
2.1.1. Marpol 73/78.....	5
2.2. Marco Legislativo actual.....	12
2.2.1. Normativa relativa a la seguridad y prevención de la contaminación de los buques pesqueros.....	12
2.2.2. Sociedades de Clasificación.....	13
2.3. Comité de Protección del Medio Marino. Normativa medioambiental.....	15
2.3.1 Índice de Eficiencia Energética.....	16
2.3.2 Índice de Eficiencia Energética de Operación.....	23
2.4. Eficiencia energética en el buque de pesca.....	26
2.5. El sector pesquero en España.....	27
3. El buque pesquero: producción, operación y consumo energético.....	30
3.1. Descripción operacional de las diferentes artes de pesca.....	30
3.1.1. Artes pasivos.....	30
3.1.2. Cerco.....	32
3.1.3. Arrastre.....	33
3.1.4. Pesca de bonito.....	34
3.1.5. Pesca artesanal.....	35
3.1.6. Conclusión.....	35
3.2. Tipos de propulsión y combustibles más utilizados.....	38
3.2.1. Motores fuera borda.....	38
3.2.2. Motores diesel intraborda.....	40
3.2.3. Propulsión diesel-eléctrica.....	40
3.3. Propulsión. Influencia de las dimensiones y estado de operación.....	42
3.4. Propulsión. Influencia del tren propulsivo.....	45
3.5. Consumidores principales y motores auxiliares.....	51
3.6. Requisitos energéticos según la condición de operación.....	55
3.6.1. Estado de operación en los buques pesqueros.....	55
3.6.2. Variación de generación eléctrica según la condición de navegación.....	57
3.7. Alternativas de ahorro energético.....	59
3.7.1. Aprovechamiento del calor residual.....	59



3.7.2. Ahorro energético en la habilitación.....	61
3.7.3. Equipos de frio.....	61
3.7.4. Otros equipos.....	62
3.8. Experiencias innovadoras.....	63
3.8.1. Utilización de combustibles alternativos. Combustibles gaseosos (GLP + GNL).....	63
3.8.2. Propulsión mediante velas y cometas.....	64
3.8.3. Propulsión diesel-eléctrica.....	66
4. Medidas técnicas. eficiencia energética.....	68
4.1. Protocolo de auditoría energética.....	68
4.2. Trabajo previo a la definición de posibles mejoras.....	69
4.2.1. Obtención de la documentación técnica.....	69
4.2.2. Reconocimiento a Flote/Carena del buque.....	69
4.2.3. Análisis de la información.....	70
4.2.4. Análisis Hidrodinámico del comportamiento (CFD).....	70
4.2.5. Determinación de las condiciones de trabajo del equipo propulsor.....	70
4.2.6. Análisis de la gestión de energía a bordo.....	71
4.2.7. Estudio de viabilidad económica.....	71
4.2.8. Herramientas útiles para la evaluación previa.....	72
4.3. pruebas de mar de los buques.....	76
4.3.1. Prueba de velocidad en navegación libre.....	76
4.3.2. Prueba de tiro a punto fijo.....	77
4.3.3. Equipos empleados en las pruebas de mar.....	78
4.4. medidas técnicas aplicables.....	79
4.4.1. Análisis hidrodinámico.....	79
4.4.2. Análisis propulsivo.....	82
4.4.3. Gestión energética.....	87
4.4.4. Actuaciones sobre habilitación y cubiertas.....	91
4.4.5. Combustibles Alternativos y aprovechamiento de energías alternativas.....	93
5. Conclusión.....	97
5.1. Reglas para el Ahorro y la Eficiencia en embarcaciones y buques de pesca. (CETPEC).....	99
6. Bibliografía.....	101
Anexo I. Protocolo de auditoría energética.....	102
A1.1. Datos generales.....	102
A1.1.1. Datos generales de la embarcación.....	102



A1.1.2. Datos empresa auditor. ....	103
A1.2. Datos de funcionamiento interno. ....	103
A1.2.1. Gastos e ingresos. ....	103
A1.3. Datos técnicos y energéticos de la embarcación. ....	104
A1.3.1. Consumos por condición de navegación y marea. ....	104
A1.3.2. Consumos totales por marea. ....	125
A1.4. Ratios de operación. ....	125
A1.5 Recomendaciones. ....	126



## 1. OBJETIVOS.

El proyecto tiene como objetivo ser un manual didáctico que sirva como orientación en la auditoría energética de los buques pesqueros de eslora inferior a 24 metros. Estas medidas tratarán las posibles fugas energéticas que se produzcan tanto en aspectos técnicos (formas del buque, potencia del motor instalada, iluminación, etc.) como en aspectos logístico-económicos (velocidad de navegación, operación de maquinaria, condición de navegación, etc.).

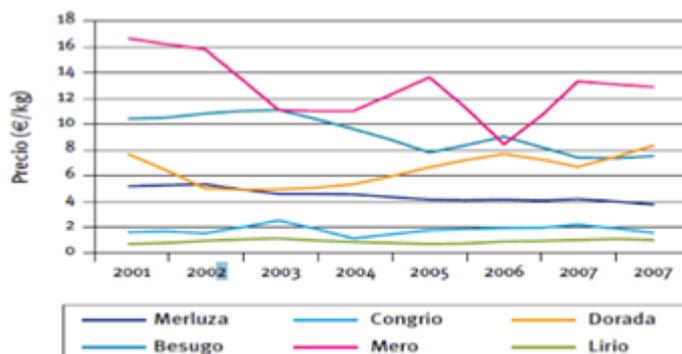
## 2. INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas han surgido nuevos retos a los que ha de enfrentarse el sector pesquero y que se pueden resumir en tres puntos fundamentales:

- Reducción o limitación de las capturas.
- Incremento del precio del combustible.
- Mayores requerimientos medioambientales.

De entre ellos, son los dos primeros los que se presentan como las principales dificultades para la rentabilidad del sector a corto plazo. Puesto que el volumen de capturas está ligado a factores externos, tales como limitaciones medioambientales o la imposición de cuotas, es en el consumo de combustible donde se puede actuar en primer lugar.

El incremento en el precio del crudo en los últimos años ha sido de un 351%, con el consiguiente incremento en los costes de explotación ligados al combustible. Esto último, unido a la contención de los precios en origen de las capturas, que se mantienen prácticamente constantes, y a la reducción o estabilización de las mismas, ha hecho que los beneficios del sector se hayan visto reducidos en gran medida.



*Evolución del precio de las capturas de distintos tipos de pescado.  
(Informes Estadísticos da Plataforma Tecnolóxica da Pesca de Galicia. 2008. Consellería de Pesca e Asuntos Marítimos. Xunta de Galicia)*

Por otro lado, la aparición de nueva legislación medioambiental más restrictiva, implica la introducción de cambios en la forma de operación y los sistemas utilizados en los buques pesqueros para poder cumplir con la misma.

Ante estas nuevas necesidades, son las medidas de ahorro energético, que buscan obtener una menor demanda de energía y un mejor aprovechamiento de la existente, las que se plantean como la mejor alternativa para conseguir una reducción en el consumo y en las emisiones del buque.



Las medidas de ahorro energético pueden dividirse en dos grupos principales. En primer lugar, el conjunto de actuaciones que permiten mejorar el rendimiento de los sistemas existentes manteniendo sus prestaciones.

En segundo lugar, será necesario valorar el coste económico de disminuir algunas prestaciones del buque, tal como la velocidad, de forma que puedan valorarse en cada ocasión las distintas alternativas planteadas.

## 2.1. MARCO INTRODUCTORIO LEGAL.

### 2.1.1. MARPOL 73/78

La Conferencia internacional sobre contaminación del mar, 1973, convocada por la OMI y celebrada del 8 de octubre al 2 de noviembre de 1973, aprobó el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques. La misma Conferencia aprobó también los protocolos I (Disposiciones para formular los informes sobre sucesos relacionados con sustancias perjudiciales) y II (Arbitraje). El Convenio se modificó ulteriormente mediante el Protocolo de 1978, que fue aprobado por la Conferencia Internacional sobre Seguridad de los buques tanque y prevención de la contaminación, convocada por la OMI y celebrada del 6 al 17 de febrero de 1978. El Convenio, modificado por el Protocolo de 1978, se conoce con el nombre de “Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978” o, de manera abreviada, “MARPOL 73/78”. Los cinco anexos del Convenio contienen las reglas aplicables a las diversas fuentes de la contaminación ocasionada por los buques. El Convenio también fue modificado por el Protocolo de 1997, mediante el cual se aprobó un sexto anexo, pero este Protocolo todavía no ha sido aceptado por un número suficiente de Estados para que entre en vigor.

El Comité de Protección del Medio Marino (CPMM), desde su creación en 1974, ha vuelto a examinar varias disposiciones del MARPOL 73/78 que requerían aclaración o cuya aplicación había planteado dificultades. A fin de resolver tales ambigüedades y dificultades de manera uniforme, el CPMM decidió que era conveniente elaborar interpretaciones unificadas. El CPMM reconoció que, en determinados casos, era necesario enmendar las reglas existentes o introducir nuevas reglas con el fin de reducir aún más la contaminación ocasionada por los accidentes y por la explotación de los buques. Estas actividades del CPMM han dado lugar a varias interpretaciones unificadas y enmiendas del Convenio.

Las directrices elaboradas, y de obligado cumplimiento, pueden resumirse en:

- **Protocolo I – Disposiciones para formular los informes sobre sucesos relacionados con sustancias perjudiciales.**  
Este Protocolo fue aprobado el 2 de noviembre de 1973 y posteriormente modificado mediante las siguientes enmiendas:
  - Enmiendas de 1985 (resolución MEPC.21(22)), por las cuales se sustituyó el Protocolo por un texto revisado: entraron en vigor el 6 de abril de 1987.
  - Enmiendas de 1996 (resolución MEPC.68(38)), por los cuales se revisó el artículo II): entraron en vigor el 1 de enero de 1998.
  
- **Anexo I - Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.**  
El Anexo I entró en vigor el 2 de octubre de 1983 y, por lo que respecta a las Partes en el MARPOL 73/78, sustituye al entonces vigente Convenio internacional para prevenir la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos, 1954, enmendado en 1962 y 1969. El CPMM ha aprobado cierto número de enmiendas al Anexo I, las cuales se resumen a continuación:
  - Enmiendas de 1984 (resolución MEPC.14(20)), sobre el control de las descargas de hidrocarburos, retención de los hidrocarburos a bordo, instalación de bombas, tuberías y



dispositivos de descarga a bordo de petroleros, y compartimentado y estabilidad: entraron en vigor el 7 de enero de 1986.

- Enmiendas de 1987 (resolución MEPC.29(25)), sobre la asignación del carácter de zona especial al Golfo de Adén: entrada en vigor el 1 de abril de 1989.
- Enmiendas de 1990 (resolución MEPC.39(29)), sobre la introducción del sistema armonizado de reconocimientos y certificación: entraron en vigor el 3 de febrero de 2000.
- Enmiendas de 1990 (resolución MEPC.42(30)), sobre la designación de la zona del Antártico como zona especial: entraron en vigor el 17 de marzo de 1992.
- Enmiendas de 1991 (resolución MEPC.47(31)), sobre la nueva regla 26, titulada “Plan de emergencia de a bordo en caso de contaminación por hidrocarburos”, y otras enmiendas al Anexo I: entraron en vigor el 4 de abril de 1993.
- Enmiendas de 1992 (resolución MEPC.51(32)), sobre los criterios relativos a las descargas del Anexo I: entraron en vigor el 6 de julio de 1993.
- Enmiendas de 1992 (resolución MEPC.52(32)), sobre las nuevas reglas 13F y 13G y enmiendas conexas al Anexo I: entraron en vigor el 6 de julio de 1993.
- Enmiendas de 1994 (resolución 1, aprobada el 2 de noviembre de 1994 por la Conferencia de las Partes en el MARPOL 73/78), sobre la supervisión de las prescripciones operacionales por el Estado rector del puerto: entraron en vigor el 3 de marzo de 1996.
- Enmiendas de 1997 (resolución MEPC.75(40)), sobre la designación de las aguas noroccidentales de Europa como zona especial y una nueva regla 25A: entraron en vigor el 1 de febrero de 1999.
- Enmiendas de 1999 (resolución MEPC.78(43)), para la revisión de las reglas 13G y 26 y del Certificado IOPP: entraron en vigor el 1 de enero de 2001.
- Enmiendas de 2001 (resolución MEPC.95(46)), para la revisión de la regla 13G: si quedan aceptadas el 1 de marzo de 2002, entrarán en vigor el 1 de septiembre de 2002.

- **Anexo II – Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.**

Para facilitar la implantación de este anexo, el texto original se enmendó en 1995, mediante la resolución MEPC.16(22), en lo que respecta a las prescripciones relativas a las bombas, las tuberías y la supervisión. En su 22º periodo de sesiones, el CPMM decidió también, de conformidad con el artículo II del Protocolo de 1978, que “las Partes habrán de hacer efectivas las disposiciones del Anexo II del MARPOL 73/78 enmendado a partir del 6 de abril de 1987” (resolución MEPC.17(22)). El CPMM aprobó posteriormente otras enmiendas que han ido entrando en vigor según se indica a continuación:

- Enmiendas de 1989 (resolución MEPC.34(27)), mediante las cuales se actualizaron los apéndices II y III para que fuesen compatibles con los capítulos 17/VI y 18/VII de los códigos CIQ y CGrQ, respectivamente: entraron en vigor el 13 de octubre de 1990.
- Enmiendas de 1990 (resolución MEPC.39(29)), sobre la introducción del sistema armonizado de reconocimientos y certificación: entraron en vigor el 3 de febrero de 2000.
- Enmiendas de 1992 (resolución MEPC.57(33)), sobre la designación de la zona del Antártico como zona especial y las listas de sustancias líquidas de los apéndices del Anexo II: entraron en vigor el 1 de julio de 1994.
- Enmiendas de 1994 (resolución 1, aprobada el 2 de noviembre de 1994 por la Conferencia de las Partes en el MARPOL 73/78), sobre la supervisión de las prescripciones operacionales por el Estado rector del puerto: entraron en vigor el 3 de marzo de 1996.
- Enmiendas de 1999 (resolución MEPC.78(43)), sobre la incorporación de una nueva regla 16: entraron en vigor el 1 de enero de 2001.



- **Anexo III – Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.**

El Anexo III entró en vigor el 1 de julio de 1992. No obstante, mucho antes de dicha fecha de entrada en vigor, el CPMM, con el acuerdo del Comité de Seguridad Marítima (CSM), decidió que este anexo se implantaría por medio del Código IMDG. El CSM preparó enmiendas al Código IMDG destinadas a incorporar la cuestión de la contaminación del mar (Enmienda 25-89) y éstas se implantaron a partir del 1 de enero de 1991. El CPMM aprobó posteriormente otras enmiendas, que han ido entrando en vigor según se indica a continuación:

- Enmiendas de 1992 (resolución MEPC.58(33)), mediante las que se revisó completamente el Anexo III, más bien para aclarar las prescripciones del texto original que para modificar su contenido, y se incluyó la referencia al Código IMDG: entraron en vigor el 28 de febrero de 1994.
- Enmiendas de 1994 (resolución 2, aprobada el 2 de noviembre de 1994 por la Conferencia de las Partes en el MARPOL 73/78), sobre la supervisión de las prescripciones operacionales por el Estado rector del puerto: entraron en vigor el 3 de marzo de 1996.
- Enmiendas de 2000 (resolución MEPC.84(44)), mediante las cuales se suprimió una cláusula relativa a la contaminación de los alimentos de origen marino: entraron en vigor el 1 de enero de 2002.

- **Anexo IV – Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques.**

A fecha de 21 de septiembre de 2001 habían ratificado este anexo 81 Estados, cuya flote mercante conjunta representaba aproximadamente el 46% del tonelaje bruto de la flota mercante mundial. Por consiguiente, para satisfacer los requisitos de entrada en vigor que estipula el artículo 16 2) f) del Convenio era necesaria la ratificación de otros Estados cuya flota mercante conjunta representase otro 4% más del tonelaje bruto de la flota mercante mundial. En marzo de 200 se aprobó una resolución (MEPC.88(44)) en virtud de la cual se examinaría, con miras a su adopción un texto revisado del Anexo IV, cuando se cumplieren las condiciones de entrada en vigor del Anexo original, y el CPMM adoptó ese texto revisado en la misma fecha que la resolución.

- **Anexo V – Reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques.**

El anexo V entró en vigor el 31 de diciembre de 1988. Desde entonces, el CPMM ha aprobado las enmiendas a este Anexo que se indican a continuación:

- Enmiendas de 1989 (resolución MEPC.36(28)), sobre la asignación del carácter de zona especial al Mar del Norte, y la revisión de la regla 6 (Excepciones): entraron en vigor el 18 de febrero de 1991.
- Enmiendas de 1990 (resolución MEPC.42(39)), sobre la designación de la zona del Antártico como zona especial: entraron en vigor el 17 de marzo de 1992.
- Enmiendas de 1991 (resolución MEPC.48(31)), sobre la designación del Gran Caribe como zona especial: entraron en vigor el 4 de abril de 1993.
- Enmiendas de 1994 (resolución 3, aprobada el 2 de noviembre de 1994 por la Conferencia de las Partes en el MARPOL 73/78), sobre la supervisión de las prescripciones operacionales por el Estado rector del puerto: entraron en vigor el 3 de marzo de 1996.
- Enmiendas de 1995 (resolución MEPC.65(37)), para la revisión de la regla 2 y la incorporación de una nueva regla 9 del Anexo V: entraron en vigor el 1 de julio de 1997.
- Enmiendas de 2000 (resolución MEPC.89(45)), para la revisión de las reglas 1, 3, 5 y 9 y del Registro de descargas de basuras: entraron en vigor el 1 de marzo de 2002.



- Anexo VI – Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques.**  
 El Anexo VI figura en el Anexo del Protocolo de 1997 que enmienda el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978, que fue adoptado por la Conferencia internacional de las Partes en el MARPOL 73/78 en septiembre de 1997. De conformidad con lo dispuesto en su artículo 6, dicho Protocolo entrará en vigor 12 meses después de la fecha en que por lo menos 15 Estados, cuyas flotas mercantes combinadas representen no menos del 50% del tonelaje bruto de la marina mercante mundial, hayan expresado su consentimiento en obligarse por él.

Este es de especial interés pues supone un punto de partida para el estudio de la mejora del rendimiento de motores y combustibles, no desde el aspecto de la eficiencia energética (al menos no todavía), concretamente del rendimiento y de las emisiones al exterior de sustancias nocivas de combustion.

En concreto este Anexo VI, fija una serie de medidas encaminadas a controlar las emisiones a la atmósfera producidas por los buques, no sólo de azufre, sino de otras sustancias contaminantes:

- Sustancias que agotan la capa de ozono:** se prohíben las emisiones deliberadas de estas sustancias (que incluyen halones y clorofluocarbonos), así como las instalaciones en buques de nuevos equipos que las contengan, con la excepción de los CFC permitidos hasta el 1 de enero de 2020.
- NO<sub>x</sub>:** el Código Técnico sobre este tipo de emisiones establece procedimientos obligatorios de prueba, reconocimiento y certificación de los motores marinos, fijando límites en las emisiones de óxidos de nitrógeno. Se aplica a motores diésel con potencia superior a 130 kW (que no sean los utilizados únicamente en situaciones de emergencia), instalados en buques construidos el 1 de enero de 2000 o posteriormente, así como en aquellos que hayan sido sometidos a una “transformación importante” en esa fecha o posteriormente. Dichos límites son:

Límites de emisión de NO <sub>x</sub> en motores Diesel	
n <sub>n</sub> [min <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [g/Kwh]
<b>Fase I, Comienzo desde 01.01.2000</b>	
<130 min <sup>-1</sup>	17 g/Kwh
130-2000 min <sup>-1</sup>	45.n <sub>n</sub> <sup>(-0,2)</sup> g/Kwh
> 2000 min <sup>-1</sup>	9,8 g/Kwh
<b>Fase II, Comienzo desde 01.01.2011</b>	
<130 min <sup>-1</sup>	14,4 g/Kwh
130-2000 min <sup>-1</sup>	44.n <sub>n</sub> <sup>(-0,23)</sup> g/Kwh
> 2000 min <sup>-1</sup>	7,0 g/Kwh
<b>Fase III, Comienzo desde 01.01.2016 en áreas de control de emisiones (ECA)</b>	
<130 min <sup>-1</sup>	3,4 g/Kwh
130-2000 min <sup>-1</sup>	9.n <sub>n</sub> <sup>(-0,2)</sup> g/Kwh
> 2000 min <sup>-1</sup>	2,0 g/Kwh



Se permitiría no obstante el funcionamiento de un motor diésel si en lugar de esta norma:

- El motor consta de un sistema de limpieza de los gases de escape aprobado por la Administración y de conformidad con lo dispuesto en el Código Técnico sobre NOx para reducirlos a los límites especificados en la Fase I.
  - Se utiliza un método equivalente aprobado por la Administración.
- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV):** las Administraciones podrán reglamentar y controlar las emisiones en puertos o terminales de COV procedentes de buques, asegurando que en los mismos existen sistemas de control aprobados que funcionan en condiciones adecuadas de seguridad.
- **Incineración a bordo:** se permitirá únicamente en un incinerador aprobado por la Administración, que tendrá en cuenta las especificaciones normalizadas elaboradas por la OMI sobre estos equipos. Se prohíbe la incineración de ciertas sustancias, tales como difenilos policlorados (PCBs), basuras con concentraciones apreciables de metales pesados, materiales de embalaje contaminados, etc. Asimismo, el personal encargado del funcionamiento del equipo deberá recibir formación adecuada al respecto y vigilar en todo momento la temperatura de salida del gas de combustión.
- **Calidad del combustible:** los combustibles que se utilicen en los buques estarán compuestos por mezclas de hidrocarburos derivados del refinado del petróleo, no contendrán ningún ácido orgánico ni sustancia añadida o desecho químico que sea perjudicial para el personal o comprometa la seguridad de los buques. Además, se deben conservar a bordo las notas de entrega del combustible durante un periodo de tres años a partir de la fecha en que se efectúe la entrega del mismo, que podrán ser objeto de inspección por parte de las autoridades competentes. Según el anexo VI de MARPOL, los combustibles Marinos utilizados serán:

Tipos de combustibles marinos				
Nombre	Denominación ISO Viscosidad	Composición	Máximo contenido de azufre	Contenido medio de azufre
Fuel oil 380 (IFO 380)	MRG35 360cst	98% aceite residual 2% aceites destilados	3,50%	2,67%
Fuel oil 180 (IFO180)	RME25 180cst	88% aceite residual 12% aceites destilados	3,50%	2,67%
Diésel oil marino	DMB	Aceites destilados con muestras de aceite residual	2%	0,65%
Gas oil marino	DMA	100% aceites destilados	1,00%	0,38%



- **SOX:** respecto a los óxidos de azufre, el Anexo VI establece unos límites máximos del contenido de los mismos en los combustibles marinos debido a que la emisión de SOx es proporcional al contenido de azufre en el combustible.

Se establecen zonas de control de emisiones de SO<sub>2</sub> (SECA). De acuerdo con el artículo 12 del MEPC 58/22 "una zona de control de emisiones será cualquier zona marítima, incluida toda zona portuaria, designado por la Organización", en el que las estrictas normas de emisión internacionales se aplicará a los buques. Zonas de Control de Emisiones existentes:

- El Mar Báltico (para SOX, aprobado en 1997 y entró en vigor el 19 de mayo de 2006)
- El Mar del Norte, que también incluye el Canal de la Mancha (para SOX, aprobado en 2005 y entró en vigor el 22 de noviembre de 2007)
- América del Norte, incluyendo la mayor parte de los EE.UU. y la costa canadiense (para NOX y SOX, adoptado en 2010 y entró en vigor en 2011).

Cuando el buque se encuentre en una zona de Control de SOx se cumplirá al menos una de las siguientes condiciones:

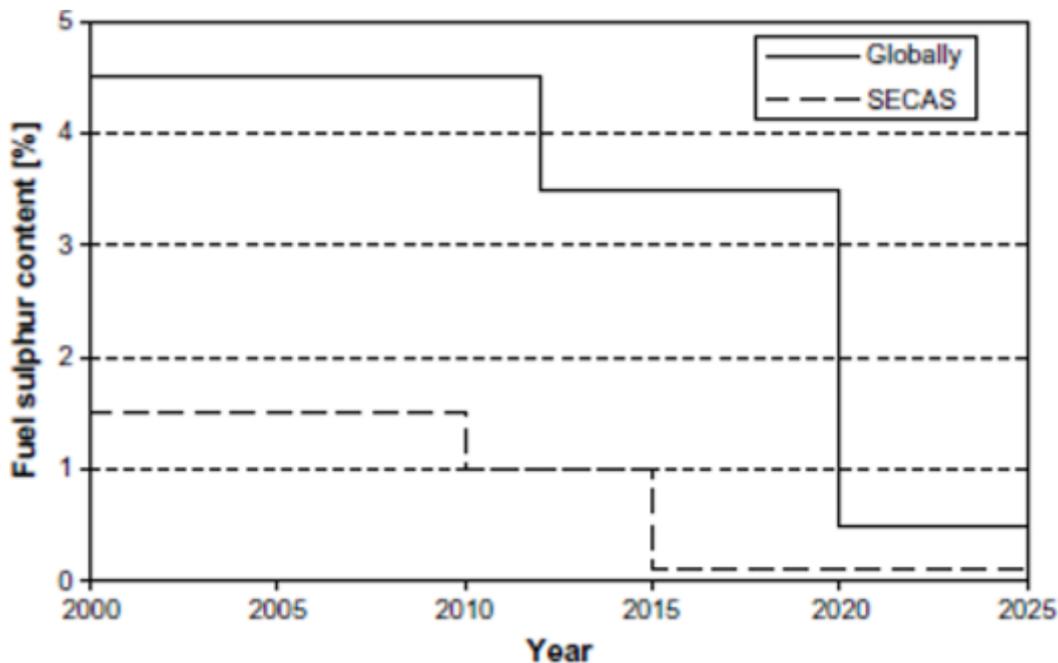
- a) Contenido de azufre máximo en el fuel: 1,0 %.
- b) Utilización de un sistema de limpieza de gases de escape como p.ej. scrubber para reducir a 6 g/Kwh de SOx o menos calculada en forma de SO<sub>2</sub>. Los flujos o desechos del sistema de depuración no se descargarán en puertos cerrados o estuarios.
- c) Utilización de cualquier otro método o tecnología verificable y aprobada por la administración.

Los siguientes límites para el contenido de azufre en los combustibles se acordaron en la MEPC 57 (Marine Environment Protection Committee) y fueron adoptados en la reunión del MEPC 58 en Octubre del 2008.

Límites de emisiones de SO <sub>x</sub> en motores Diésel	
MARPOL 73/78	
Contenido de azufre máximo en combustible	
ÁREA	Fecha de entrada en vigor
SECA Max. 1,0 % S	1 Jul 2010
GLOBAL Max. 3,5 % S	1 Ene 2012
SECA Max. 0,1 % S	1 Ene 2015
GLOBAL Max. 0,5 % S	1 Ene 2020



Gráfico plan disminución contenido de azufre en combustible por año.



Como consecuencia de las limitaciones en el contenido de azufre del combustible, el precio del combustible pesado es muy probable que aumente. Para reducir el contenido de azufre en el HFO hay diferentes métodos, y el incremento del precio dependerá de la cantidad final requerida. La producción masiva de combustibles con bajo contenido en azufre requerirá inversiones en sistemas de desulfuración e instalaciones de conversión en las refinerías.

Un estudio llega a sugerir que si el contenido de azufre de todos los HFO marinos producidos en todo el mundo llega a reducirse a 1,5%, el precio del combustible pesado podría llegar a un nivel similar al MGO.

Actualmente, el consumo de combustible de uso naval se divide de la siguiente manera: 84% de fueloil pesado (HFO), 5% de dieseloil para motores marinos (MDO) y 11% de gasoil marino (MGO). Además, como promedio, el contenido de azufre es 2,7% en el HFO, 1% en el MDO y 0,2% en MGO



## 2.2. MARCO LEGISLATIVO ACTUAL.

El marco de actividad de la pesca se encuentra regulado en todas sus facetas. Sin embargo, en nuestro caso es interesante conocer aquellas que se encuentran afectadas cuando se desea acometer un programa de mejora de la eficiencia energética en una embarcación o buque de pesca. Por un lado, en lo que se refiere a la construcción y navegabilidad del buque, seguridad, etc., sobre las que cualquier reforma a bordo puede tener consecuencias y, por otro, en lo que se refiere a la protección del medio ambiente, ya que, en la actualidad, los requisitos en este aspecto son cada vez más estrictos y pueden llevar a la necesidad de acometer reformas a bordo.

Como sucede en otros sectores, la construcción, reforma y operación de las embarcaciones y buques dedicados a actividades de pesca, están sometidas a distintas normativas, de obligado cumplimiento, y que abarcan desde el ámbito nacional exclusivamente para las embarcaciones más pequeñas, hasta el internacional para los grandes buques de pesca de altura.

Asimismo, existe una serie de reglamentos publicados por las llamadas Sociedades de Clasificación, que aunque no son obligatorios, pueden ser muy recomendables en determinados casos y utilizados como guía o referencia en otros.

Es por ello que, en caso de tomarse la decisión de adoptar algún tipo de medida de ahorro de combustible o eficiencia energética que implique una modificación en el buque o embarcación, será necesario consultar estos reglamentos para mantenerse siempre dentro de la legalidad o solicitar los certificados precisos si fuese necesario.

Las embarcaciones y buques, en lo que se refiere a normativa de aplicación, se dividen en menores y mayores de 24 metros de eslora (cuya definición reglamentaria puede encontrarse en la citada normativa).

La reglamentación de aplicación a las embarcaciones de eslora inferior a 24 m es exclusivamente de ámbito nacional, mientras que para las de eslora mayor, se dispone normativa nacional, europea e internacional.

### 2.2.1. NORMATIVA RELATIVA A LA SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS BUQUES PESQUEROS.

#### 2.2.1.1. EMBARCACIONES DE ESLORA INFERIOR A 24 M.

La reglamentación aplicable en lo que se refiere a seguridad y prevención de la contaminación a las embarcaciones de menos de 24 m de eslora, a la fecha de edición de esta guía, es el Real Decreto 543/2007, del 27 de abril, por el que se determinan las normas de seguridad y de prevención de la contaminación a cumplir por los buques pesqueros menores de 24 metros de eslora (L).

En este documento se recogen los requerimientos referidos a construcción, estanqueidad y equipos de fondeo (Anexo I), estabilidad y francobordo (Anexo II), máquinas (Anexo III), instalaciones eléctricas (Anexo IV), incendios (Anexo V), salvamento (Anexo VI), seguridad en la navegación (Anexo VII) y prevención de la contaminación (Anexo VIII). El cumplimiento de estos Anexos es función de la eslora de la embarcación a considerar, así como de la actividad que realiza (pesca local, de litoral, de altura o de gran altura). En todo caso, la clasificación se incluye en el citado reglamento.

Cumplir con este reglamento implica estar en posesión de una serie de documentación, función de la eslora de la embarcación (con diferenciación entre embarcaciones de menos de 6 m de eslora, entre 6 y 12 m y superiores a 12 m de eslora). Estos certificados de conformidad se expiden tras una serie de reconocimientos periódicos realizados durante la vida útil de la embarcación, pero que también pueden



ser de carácter aleatorio. Es por ello que no es conveniente la realización de reformas de importancia que puedan afectar a alguno de los apartados recogidos en los Anexos antes mencionados, sin la realización previa de un estudio que verifique que la misma no se encuentra fuera de la legalidad.

Por lo tanto, y a pesar de que la mayor parte de las reformas orientadas a la mejora de la eficiencia energética se corresponden con los Anexos III y IV, modificaciones en estos aspectos pueden producir a su vez efectos en otros apartados. Por ejemplo, cualquier embarque o desembarque de pesos va a producir variaciones en la estabilidad del buque (Anexo II), y la instalación de nuevos equipos puede requerir de la instalación de nuevas medidas de seguridad (Anexo V).

En todo caso, cualquier modificación debería ser consultada previamente con un experto y, si es necesario, realizado un proyecto detallado de la misma.

### 2.2.1.2. EMBARCACIONES DE ESLORA SUPERIOR A 24 M.

La Reglamentación aplicable a los buques de pesca de más de 24 m de eslora se recoge en el Convenio Internacional de Torremolinos para la Seguridad de los Buques Pesqueros, de 1977, enmendado por el Protocolo de Torremolinos, de 1993, en lo que se refiere a seguridad a bordo, construcción, estabilidad, etc., y en el Convenio MARPOL para prevenir la contaminación por los buques (1973), modificado por el Protocolo de 1978, en lo que se refiere a contaminación. Ambos son convenios de la Organización Marítima Internacional, pero además de éstos, existe también una normativa europea y nacional.

El Convenio de Torremolinos fue adoptado por la Unión Europea en 1997 y modificado en 1999 (Directivas 97/70/CE y 99/19/CE) y transpuesto a la legislación española en 1999 (Real Decreto 1032/1999 del 18 de junio), incluyendo algunos requerimientos más estrictos.

Al igual que sucede con las embarcaciones menores de 24 m, en este Reglamento se recogen todos los apartados referidos a construcción, estabilidad, seguridad, etc., pero de un modo mucho más exhaustivo que en el caso de aquellas.

El Convenio MARPOL pretende evitar la contaminación del ambiente marino, incluyendo las aguas y las emisiones atmosféricas. En el primer caso, y entre otros muchos objetivos, se encuentra el limitar las posibles operaciones de los buques que pueden producir contaminación del agua, o especificar las instalaciones que deben disponer los mismos para el tratamiento de residuos, etc. El caso de las emisiones atmosféricas, debido su estrecha relación con los ahorros en el consumo de combustible, es tratado posteriormente en un punto específico.

### 2.2.2. SOCIEDADES DE CLASIFICACIÓN.

Las Sociedades de Clasificación son organizaciones que establecen y aplican normas relativas al diseño, construcción e inspección de artefactos navales, entre ellos los buques. Su origen se remonta a la segunda mitad del siglo XVIII, y su objetivo principal era la “clasificación” del estado del buque para el posterior aseguramiento del mismo y de su carga.

En la actualidad, más del 95% del tonelaje comercial total se encuentra clasificado de acuerdo a las reglas de una de estas sociedades. Estos “certificados de clase” no son obligatorios y certifican el cumplimiento de los estándares de la citada sociedad en lo que se refiere al diseño y la construcción del buque, así como que el mismo está sometido a las revisiones especificadas en el reglamento. Sin embargo, y a pesar de no ser de carácter obligatorio, en la mayor parte de los casos la obtención de un seguro para el buque y su carga, está sometida a la obtención de un certificado de una sociedad de clasificación.

En el caso que nos ocupa, la mayor parte de los buques de pesca de pequeña y mediana eslora no están clasificados, siendo suficiente con la obtención de los correspondientes certificados por parte de la



Dirección General de la Marina Mercante. Sin embargo, y según especifica el Real Decreto 1032/1999 del 18 de junio:

Las normas para el diseño, construcción y mantenimiento del casco, la maquinaria principal y auxiliar y las instalaciones eléctricas y automáticas de un buque serán las especificadas para su clasificación por una organización reconocida o empleada por una Administración.

Es por ello que, para buques de más de 24 m de eslora, aunque no sea necesaria la obtención de los certificados de la sociedad clasificadora, el buque sí debe cumplir los requisitos especificados por una de ellas.

De todas maneras, las reglas de las distintas sociedades de clasificación representan una muy buena guía de diseño en todos los apartados del buque, desde la estructura al equipamiento, maquinaria, sistemas eléctricos, etc., para todos los tipos de buques y encontrándose normalmente un paso por delante en lo que se refiere a la elaboración de normativa que regule los nuevos avances en el sector. De hecho, sus normas y experiencia son, en muchos casos, tomadas como base para la posterior redacción de reglamentos a nivel internacional.

Las sociedades de clasificación más importantes se agrupan en una sociedad llamada IACS (International Association of Classification Societies), que busca una armonización de las reglas de las mismas. Entre las más conocidas se encuentran ABS (American Bureau of Shipping), BV (Bureau Veritas), DNV (Det Norske Veritas), GL (Germanischer Lloyd), LR (Lloyd's Register of Shipping) o RINA (Registro Italiano Navale).



### 2.3. COMITÉ DE PROTECCIÓN DEL MEDIO MARINO. NORMATIVA MEDIOAMBIENTAL.

Las ventajas del ahorro energético y de la mejora de la eficiencia energética no pueden considerarse únicamente desde el ahorro económico directo sino que también hay que considerar el coste medioambiental que implica su no adopción. Además de este coste es necesario contemplar la normativa medioambiental, ligada al consumo de combustible que, cada vez más, demanda una reducción en las emisiones de los buques.

Así, la normativa relativa a emisiones contaminantes por parte de los buques hasta la fecha era, a nivel de la Organización Marítima Internacional, muy poco restrictiva, mientras que a nivel europeo y nacional era muy escasa.

Sin embargo y teniendo en cuenta el hecho de que de seguir en esta dirección los buques podrían superar a las fuentes terrestres (mucho más reguladas) en lo que se refiere a emisiones contaminantes, la Unión Europea y la Organización Marítima Internacional han reaccionado y comenzado a endurecer la legislación al respecto, al igual que también lo han hecho otros países como Estados Unidos. Ejemplos de esta reacción son el nuevo Anexo VI del Convenio MARPOL, la estrategia para reducir las emisiones atmosféricas de los buques de la UE o la EPA 40 CFR Part 94 de los Estados Unidos.

Esta reducción de emisiones no pasa únicamente por la utilización de motores más eficientes y combustibles menos contaminantes, sino por un cambio en la utilización de la energía. Es necesario racionalizar su uso, comprendiendo el valor de la misma y ajustando su consumo de tal forma que, manteniendo los requerimientos de operación, se consiga mejorar la eficiencia energética del buque.

A efecto de conseguir unificar criterios en este aspecto, nace el Comité de Protección del Medio Marino. El Comité de Protección del Medio Marino (MECP) es un comité creado por la OMI. El Comité se reúne cada 9 meses para desarrollar los convenios internacionales relativos a los problemas ambientales marinos, incluyendo el reciclaje de buques, control de emisiones, y las especies invasoras.

En el caso que nos compete, el MECP ha sido el encargado de redactar las enmiendas al Anexo VI que completan las normas establecidas por la OMI. En este apartado destacaremos aquellas enmiendas al Anexo VI que tienen como objetivo mejorar la eficiencia energética de los buques a través de un conjunto de normas de funcionamiento técnico que se traducirían en una reducción de las emisiones de todas las sustancias procedentes del fueloil y de su proceso de combustión.

En el presente proyecto se detallan muchas medidas técnicas y operacionales que pueden utilizarse para reducir las emisiones de GEI procedentes de los buques; sin embargo, dichas medidas no podrán implantarse a menos que se establezcan políticas que apoyen su puesta en práctica.

Ha sido en el informe sobre emisiones de gases de efecto invernadero que se presentó en abril del 2009 en la 59 reunión del MEPC donde se han presentado una reseña completa de dichas opciones políticas. Las opciones pertinentes que se debate actualmente en la OMI son las siguientes:

1. Un límite obligatorio del índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) para los buques nuevos.
2. La notificación obligatoria o voluntaria del EEDI para los buques nuevos.
3. La notificación obligatoria o voluntaria del indicador de eficiencia energética operacional (EEOI).
4. El uso obligatorio o voluntario de un plan de gestión de eficiencia del buque (SEMP).
5. El límite obligatorio del valor de EEOI combinado con una sanción en caso de incumplimiento.
6. Un régimen de comercio de los derechos de emisión marítimos (METS).



7. Un fondo de indemnización internacional que podría financiarse con un gravamen impuesto a los combustibles líquidos.”

Como podemos ver, es la primera vez que se menciona la posibilidad de establecer una obligatoriedad de cumplimiento de límites en relación a la eficiencia energética de los buques. Surgen nuevos términos como son:

- Índice de Eficiencia Energética de Diseño (EEDI).
- Índice de Eficiencia Energética de Operación (EEOI).
- Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP).

### 2.3.1 ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

En la Circular MEPC.1/Circ.683, la OMI define las directrices provisionales para la elaboración del plan de eficiencia energética para barcos viejos y el cálculo del índice de eficiencia energética de proyecto para buques nuevos.

La definición de una metodología deriva de la necesidad de establecer una medida de referencia sobre la eficiencia energética de los buques nuevos que para que de esta manera, ser capaces de estimular la innovación y el desarrollo tecnológico en este campo.

La idea de establecer un índice obligatorio diseño fue propuesta a la OMI, por primera vez en Dinamarca en la 57<sup>a</sup> reunión del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) en 2008.

La definición de un índice único para todas las categorías de buques no es sencilla y por lo tanto la metodología definida hasta ahora es sólo temporal, y tendrán que ser más refinada. En su forma actual, la metodología tiene diez categorías de buques en consideración (los buques de pasaje, de carga seca, los gaseros, petroleros, portacontenedores, buques de ro-ro, buques ro-ro con cargas voluminosas, buques ro-ro con cargas pesadas, buques de carga general y los buques ro-pax).

El índice de eficiencia energética es un ejemplo de como el sistema internacional regula el transporte marítimo y de la forma en que el tema del medio ambiente se integra dentro de este marco. De hecho, una intervención legislativa para el control de las emisiones atmosféricas del transporte marítimo internacional deben integrarse en un complejo sistema normativo internacional que rige este sector.

Hay dos posibles indicadores de eficiencia de un barco: el indicador de operación de la eficiencia energética (EEOI) y el índice de eficiencia energética (EEDI), ambos desarrollados por la OMI.

#### 2.3.1.1 ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DISEÑO.

El MEPC reconoció en Julio del 2009 la necesidad de elaborar un índice de eficiencia energética de proyecto para los buques nuevos a fin de estimular la innovación y el desarrollo técnico de todos los elementos que afectan a la eficiencia energética de un buque a partir de su fase de proyecto. El Comité, para mejorar el método de cálculo de dicho índice, acordó distribuir las directrices provisionales sobre el método de cálculo del índice de eficiencia energética de proyecto para los buques nuevos.

El índice de eficiencia energética de diseño (EEDI) se define como una medida de la eficiencia de un barco y se calcula mediante una fórmula específica detallada más adelante.

El índice permite la definición de un umbral (EEDI requerido) por encima del cual un barco nuevo no puede ser aprobado, y proporciona un instrumento que ayuda a los constructores del buque para calcular cómo y hasta qué punto la eficiencia en general debe ser mayor.

El EEDI es la primera medida global obligatoria para mejorar la eficiencia energética de nuevas embarcaciones y limitar las emisiones de carbono del transporte marítimo internacional. También es un



mecanismo basado en el desempeño, el cual permite que la industria escoger la tecnología usada en el diseño de sus embarcaciones mientras éstas cumplan con el nivel de eficiencia energética deseado.

El EEDI ayudará a reducir las emisiones de carbono entre un 25-30% hacia 2030 en comparación con el escenario de negocios habitual. El índice se aplicará a los segmentos más grandes de la marina mercante mundial, y se espera que cubra alrededor del 70% de las nuevas flotas.

El Índice de eficiencia energética de proyecto obtenido para los buques nuevos (EEDI) indica la eficiencia de los buques en cuanto a las emisiones de CO2 y se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{(\sum_{j=1}^M f_i) (\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} F_{ME(i)}) + (P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE}) + ((\sum_{j=1}^M f_i \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nEFF} f_{eff(i)} P_{AEff(i)}) C_{FAE} SFC_{AE}) - (\sum_{i=1}^{nEFF} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME})}{f_i \cdot Capacidad \cdot V_{ref} \cdot f_w}$$

\* Si parte de la carga nominal máxima en el mar se obtiene con generadores acoplados al eje, para dicha parte de la potencia podrá utilizarse SFCME en vez de SFCAE.

Nota: Es posible que esta fórmula no sea aplicable a la propulsión diésel-eléctrica, a la propulsión por turbina o a los sistemas de propulsión híbridos. Dónde:

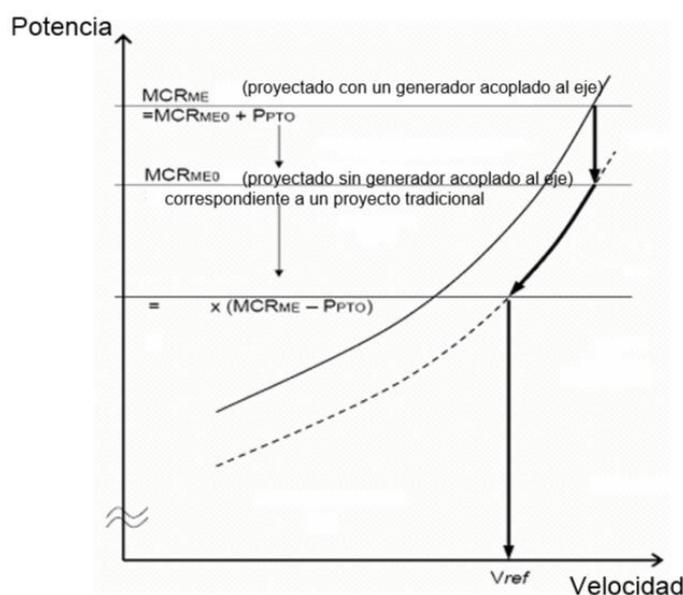
- **CF**: es un factor de conversión adimensional entre el consumo de combustible (medido en g) y las emisiones de CO2 (también medidas en g) basándose en el contenido de carbono. Los subíndices MEI y AEI se refieren al motor principal y auxiliar, respectivamente. CF corresponde al combustible utilizado al determinar el SFC que figura en el certificado EIAPP aplicable.

Los valores de CF son los siguientes:

Valores de C <sub>F</sub> según el tipo de combustible			
Tipo de combustible	Referencia	Contenido de carbono	C <sub>F</sub> (ton. De CO <sub>2</sub> /ton. de combustible)
1. Diésel/gasoil	ISO 8217 – Grados DMX a DMC	0,875	3,20600
2. Fueloil ligero	ISO 8217 – Grados RMA a RMD	0,86	3,15104
3. Fueloil pesado	ISO 8217 – Grados RME a RMK	0,85	3,11440
4. Gas de petróleo licuado (GPL)	Propano	0,819	3,00000
	Butano	0,827	3,03000
5. Gas natural licuado (GNL)		0,75	2,75000



- **$V_{ref}$** : es la velocidad de proyecto del buque, medida en millas marinas por hora (nudos) en aguas profundas y con la carga máxima de proyecto (capacidad) tal como se define en el párrafo 3, en el eje de salida del motor o motores de acuerdo con la definición del párrafo 5 y dando por supuestas condiciones meteorológicas favorables, sin viento ni olas. La condición de carga máxima de proyecto se definirá utilizando el calado máximo, con su asiento correspondiente, a los que se permite funcionar al buque. Dicha condición se obtiene consultando el cuadernillo de estabilidad aprobado por la Administración.
- **Capacidad** se define de la manera siguiente:
  - Para los buques de carga seca, buques tanque, gaseros, buques portacontenedores, buques de carga rodada y buques de carga general debería utilizarse el peso muerto como capacidad.
  - Para los buques de pasaje y los buques de pasaje de transbordo rodado debería utilizarse como capacidad el arqueo bruto de conformidad con la regla 3 del Anexo I del Convenio internacional sobre arqueo de buques, 1969.
  - Para los buques portacontenedores, el parámetro de capacidad debería establecerse en el 65 % del peso muerto.
- **Peso muerto** es la diferencia, expresada en toneladas, entre el desplazamiento de un buque en aguas de densidad relativa de 1,025 kg/m<sup>3</sup> al calado máximo operacional y el peso en rosca del buque.
- **P** es la potencia de proyecto de los motores principales y auxiliares, medida en kW. Los subíndices ME y AE se refieren a los motores principal y auxiliares, respectivamente. El sumatorio de i es para todos los motores, siendo el número de motores (nME).
  - **$PME_{(i)}$**  es el 75 % de la potencia nominal instalada (régimen continuo máximo, MCR) de cada motor principal (i) deduciendo la potencia utilizada por los generadores acoplados al eje que haya instalados:  
 $PME_{(i)} = 0,75 \times (MCRME_i - PPTO_i)$ . El siguiente gráfico contiene orientación para el cálculo de  $PPME_{(i)}$ :



- **$PPTO_{(i)}$**  es el 75 % de la potencia de cada generador acoplado al eje dividida por la eficiencia de dicho generador.



- $PPTI_{(i)}$  es el 75 % del consumo nominal de potencia de cada motor del eje dividido por la eficiencia media ponderada del generador o generador(es).
- $P_{eff(i)}$  es el 75 % de la reducción de potencia del motor principal debida a tecnologías innovadoras de eficiencia de la energía mecánica. No es necesario medir la energía mecánica residual recuperada directamente por acoplamiento a los ejes.
- $PAE_{eff(i)}$  es la reducción de la potencia de los motores auxiliares debida a la introducción de tecnologías innovadoras de eficiencia de la energía eléctrica, medida con  $PME(i)$ .
- $PAE$  es la potencia del motor auxiliar necesaria para desarrollar la carga máxima normal en el mar, incluida la potencia requerida para la maquinaria y los sistemas de propulsión y los espacios de alojamiento, por ejemplo, las bombas del motor principal, los sistemas de navegación, el equipo y la vida a bordo, pero excluye la potencia no utilizada para la maquinaria/sistemas de propulsión, por ejemplo, impulsores, bombas de carga, equipo de carga, bombas de lastre, mantenimiento de la carga, como, por ejemplo, equipo de refrigeración y ventiladores de las bodegas de carga en las condiciones en las que el buque emprendió el viaje a la velocidad ( $V_{ref}$ ) y la condición de carga de proyecto de capacidad.

- Para buques de carga en los que la potencia del motor principal es igual o superior a 10 000 kW, PAE se define como:

$$P_{AE(MCRME>10\ 000\ kW)} = (0,025 \times \sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi}) + 250$$

- En los buques de carga en los que la potencia del motor principal es inferior a 10 000 kW, PAE se define como:

$$P_{AE(MCRME<10\ 000\ kW)} = 0,05 \times \sum_{i=1}^{nME} MCR_{MEi}$$

- En los tipos de buque en los cuales el valor de PAE calculado según los apartados anteriores difiere considerablemente de la potencia total utilizada durante la navegación normal en el mar, por ejemplo, en el caso de los buques de pasaje, el valor de PAE debería estimarse utilizando la potencia eléctrica consumida (excluida la propulsión) en las condiciones en que el buque esté navegando a una velocidad de referencia ( $V_{ref}$ ) que debe incluirse en el cuadro de energía eléctrica (muestra la carga de los generadores en kW y presenta una lista de generadores en servicio en distintas condiciones de funcionamiento del buque), dividido por el factor de eficiencia media ponderada del generador o de los generadores
- $V_{ref}$ , capacidad y P deberían ser coherentes entre sí.



- SFC** es el consumo de combustible específico certificado de los motores, medido en g/kWh. Los subíndices ME(i) y AE(i) se refieren al motor principal y auxiliar, respectivamente. En los motores certificados para los ciclos de servicio E2 o E3 del Código Técnico sobre los NOX de 2008, el consumo de combustible específico del motor (SFCME(i)) es el que figura en el o los certificados EIAPP para el 75 % del régimen continuo máximo (MCR) o el par nominal de los motores. En el caso de motores certificados para los ciclos de servicio D2 o C1 del Código Técnico sobre los NOX de 2008, el consumo específico de combustible (SFCAE(i)) es el que figura en el certificado o certificados EIAPP para el motor funcionando al 50 % del régimen continuo máximo (MCR) o al par nominal.

Para buques en los que el valor de la PAE calculada anteriormente es significativamente distinto de la potencia total utilizada para la navegación marítima normal, por ejemplo, en los buques de pasaje convencionales, el consumo específico de combustible (SFCAE) de los generadores auxiliares es el que figura en el certificado o certificados EIAPP con el motor funcionando al 75 % PAE del régimen continuo máximo (MCR) o al par nominal.

SFCAE es el promedio ponderado entre los SFCAE(i) del i de los motores respectivos. En el caso de los motores que no tengan un certificado EIAPP porque su potencia sea inferior a 130 kW, debería utilizarse el SFC especificado por el fabricante y refrendado por una autoridad competente.

- El coeficiente  $f_j$  es un factor de corrección que permite tener en cuenta los elementos de proyecto específicos del buque. El coeficiente  $f_j$  para los buques que tienen una clasificación para la navegación en hielo se determinará utilizando el valor de  $f_j$  normalizado que se indica en el siguiente cuadro:

Factor de corrección de la potencia $f_j$ para los buques que tienen una clasificación para la navegación en hielo					
Tipo de buque	$f_j$	Límites según la clasificación de navegación Tipo de en hielo			
		IC	IB	IA	IA Super
Buque tanque	$\frac{0,516 \cdot L_{PP}^{1,87}}{\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{IME}}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,72 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,06}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,61 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,08}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,50 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,10}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,40 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,12}$
Buque de carga seca	$\frac{2,150 \cdot L_{PP}^{1,58}}{\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{IME}}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,89 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,02}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,78 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,04}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,68 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,06}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,58 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,08}$
Buque de carga general	$\frac{0,045 \cdot L_{PP}^{2,37}}{\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{IME}}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,85 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,03}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,70 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,06}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,54 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,10}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,0 \\ \text{min. } 0,39 L_{PP} \end{array} \right\}^{0,15}$



Para otros tipos de buques,  $f_j$  debería tomarse como 1,0.

- $f_w$  es un coeficiente adimensional que indica la disminución de velocidad en condiciones del mar representativas en cuanto a la altura y frecuencia de las olas y la velocidad del viento (por ejemplo, el nivel 6 de la escala Beaufort), y debería determinarse de la manera siguiente:
  - Puede determinarse realizando la simulación específica del funcionamiento del buque en condiciones de mar representativas. La metodología de simulación debería prescribirse en las Directrices que elaboren la Organización, y la Administración o una organización reconocida por ésta comprobarán el método y los resultados obtenidos para un buque concreto.
  - En el caso de que no se realice la simulación, el valor  $f_w$  debería tomarse del cuadro/curva de "f<sub>w</sub> normalizado". El cuadro/curva de "f<sub>w</sub> normalizado", que va a incluirse en las Directrices, depende del tipo de buque y se expresa en función del parámetro capacidad (por ejemplo, toneladas de peso muerto). El cuadro/curva de "f<sub>w</sub> normalizado" debe determinarse con un planteamiento moderado basado en datos reales sobre la reducción de velocidad de tantos buques existentes como sea posible en condiciones del mar representativas.
  - $f_w$  debería considerarse igual a 1 (1,0) hasta que se disponga de las directrices para la simulación específica del buque o del cuadro/curva de  $f_w$ .
- $f_{eff(i)}$  es el factor de disponibilidad de cada tecnología innovadora de eficiencia energética. Para los sistemas de recuperación de energía residual  $f_{eff(i)}$  debería tomarse como 1 (1,0).
- $f_i$  es el factor de capacidad para cualquier limitación técnica/reglamentaria de la capacidad y puede considerarse igual a 1 (1,0) si el factor no se estima necesario.

El coeficiente de  $f_i$  para los buques que tienen una clasificación para la navegación en hielo se determinará utilizando el valor de  $f_i$  normalizado que se indica en el cuadro siguiente:

Factor de corrección de la capacidad $f_i$ para los buques que tienen una clasificación para la navegación en hielo					
Tipo de buque	$f_j$	Límites según la clasificación de navegación Tipo de en hielo			
		IC	IB	IA	IA Super
Buque tanque	$\frac{0,00115L_{PP}^{3,36}}{Capacity}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,31L_{PP}^{-0,05} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,54L_{PP}^{-0,07} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,80L_{PP}^{-0,09} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 2,10L_{PP}^{-0,11} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$
Buque de carga seca	$\frac{0,000665L_{PP}^{3,44}}{Capacity}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,31L_{PP}^{-0,05} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,54L_{PP}^{-0,07} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 1,80L_{PP}^{-0,09} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{máx. } 2,10L_{PP}^{-0,11} \\ \text{mín. } 1,0 \end{array} \right.$

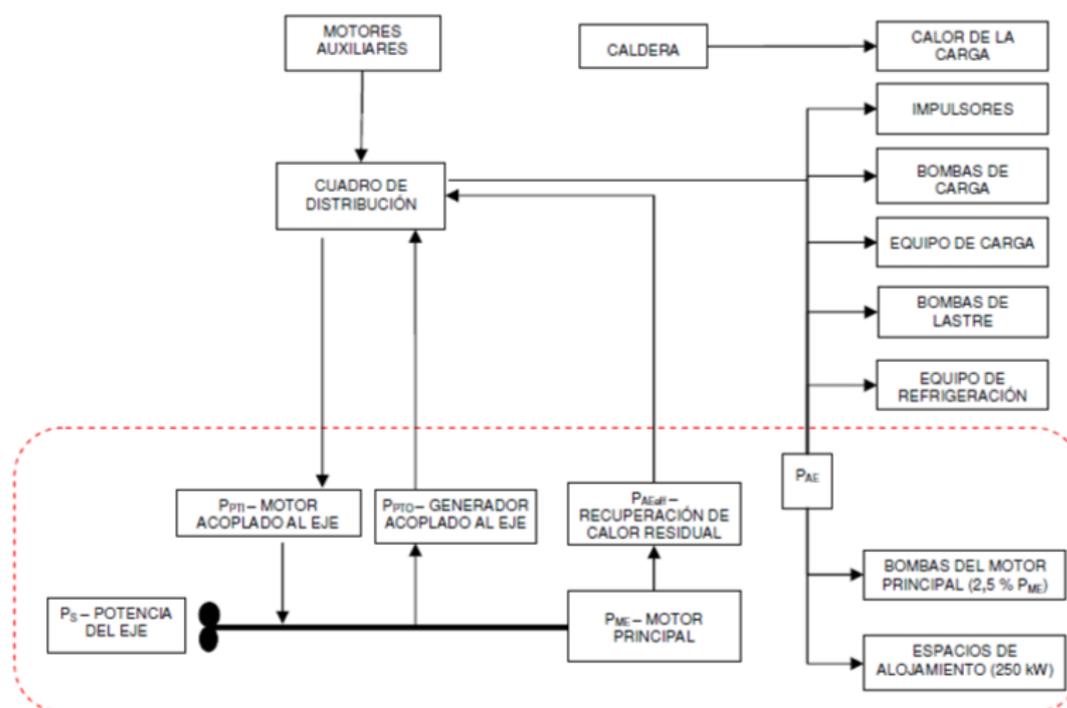


Buque de carga general	$\frac{0,000676L_{PP}^{3,44}}{Capacity}$	1,0	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 1,08 \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}^{0,06}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 1,12 \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 1,25 \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$
Buque contenedor	$\frac{0,1749 \cdot L_{PP}^{2,29}}{Capacity}$	1,0	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 1,25L_{PP}^{-0,04} \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 1,60L_{PP}^{-0,08} \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 2,10L_{PP}^{-0,12} \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$
Buque gasero	$\frac{0,1749 \cdot L_{PP}^{2,33}}{Capacity}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 1,25L_{PP}^{-0,04} \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 1,60L_{PP}^{-0,08} \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$	$\left\{ \begin{matrix} \text{máx. } 2,10L_{PP}^{-0,12} \\ \text{mín. } 1,0 \end{matrix} \right\}$	1,0

Para otros tipos de buques, fi debería tomarse como 1,0.

- Eslora entre perpendiculares (L<sub>pp</sub>):** el 96 % de la eslora total en una flotación situada al 85 % del puntal mínimo de trazado medido desde el canto superior de la quilla, o la eslora tomada en esa línea de flotación medida desde el canto exterior de la roda hasta el eje de la mecha del timón en dicha flotación, si ésta fuera mayor. En los buques proyectados con quilla inclinada, la flotación en que se medirá la eslora será paralela a la flotación de proyecto. La eslora entre perpendiculares (L<sub>pp</sub>) se medirá en metros.

### SISTEMA DE MOTORES MARINOS GENÉRICO Y SIMPLIFICADO



**Nota 1:** No es necesario medir la energía mecánica residual recuperada directamente por acoplamiento a los ejes.

**Nota 2:** En caso de una combinación de PTI/PTO, la modalidad de funcionamiento normal en el mar determinará cuál de ellos se utilizará en el cálculo



### 2.3.2 ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE OPERACIÓN

El indicador operacional de la eficiencia energética del buque (EEOI) se enmarca dentro acciones de la OMI en materia de reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero procedentes de los buques.

Con este índice la OMI pretende establecer un nivel de referencia para las emisiones de gases de efecto invernadero y elaborar una metodología para describir la eficiencia de un buque para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero, expresada en forma de un indicador de las emisiones de gases de efecto invernadero de dicho buque.

Este índice presenta el concepto de un indicador operacional de la eficiencia energética de un buque, expresada en forma de CO<sub>2</sub> emitido por unidad de actividad de transporte.

La utilización del EEOI es de carácter voluntaria, pero se aconseja su elaboración ya que permitirá a los propietarios y gestores de buques, y a otras partes interesadas, evaluar la eficiencia de su flota en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Dado que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por un buque está directamente relacionada con el consumo de combustible líquido, el EEOI también puede proporcionar información útil sobre el rendimiento de un buque en cuanto a la eficiencia del consumo de combustible.

El EEOI no es un parámetro adecuado para una política obligatoria por las siguientes razones:

- El valor de la EEOI varía mucho a lo largo del ciclo económico, y depende, además, de la densidad de carga, origen y destino, el tiempo, etc
- Es difícil, si no imposible comparar la EEOI de todo tipo de buques en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- La OMI ha aprobado el uso del EEOI como medida voluntaria para evaluar la explotación de los buques por los propietarios y armadores de buques, no como una métrica para el rendimiento de un barco en una política obligatoria, si bien la aplicación obligatoria no se puede descartar completamente.

A continuación se expondrán las directrices emitidas por el MEPC para la elaboración del EEOI, donde se presenta el concepto de un indicador operacional de la eficiencia energética de un buque, expresada en forma de CO<sub>2</sub> emitido por unidad de actividad de transporte.

En dichas directrices el MEPC define el indicador EEOI como la relación de masa de CO<sub>2</sub> ( $M$ ), emitida por unidad de actividad de transporte:

Indicador =  $M_{CO_2}$  / (actividad de transporte)

La fórmula básica para calcular el EEOI de un viaje es la siguiente:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{carga} \times D}$$



Cuando la media del indicador se obtenga para un periodo o un número de viajes, el indicador se calculará como sigue:

$$EEIO \text{ (medio)} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{carga\ i} \times D_i)}$$

siendo:

- j el tipo de combustible.
- i el número del viaje.
- FC<sub>ij</sub> la masa del combustible j consumido durante el viaje i.
- CF<sub>j</sub> el factor de conversión entre la masa de combustible y la masa de CO<sub>2</sub> correspondiente al combustible j (detallado en apartados anteriores).
- m<sub>carga</sub> la carga transportada (toneladas) o la actividad realizada (número de TEU o pasajeros) o el arqueo bruto de los buques de pasaje.
- D la distancia, en millas marinas, correspondiente a la carga transportada o la actividad realizada.

Las unidades en que se expresa el EEOI dependen de la medida utilizada para la carga transportada o la actividad realizada, por ejemplo: toneladas CO<sub>2</sub>/(toneladas • millas marinas), toneladas CO<sub>2</sub>/(TEU • millas marinas), toneladas CO<sub>2</sub>/(persona • millas marinas), etc.

Pueden recopilarse los datos que abarquen un viaje o un periodo de tiempo, por ejemplo, un día, junto con los datos correspondientes al consumo de combustible/carga transportada y la distancia recorrida en cada viaje dentro de un sistema de navegación continua, tal como se indica en la siguiente hoja de notificación.

<b>NOMBRE Y TIPO DEL BUQUE:</b>						
Viaje o día (i)	Consumo de combustible (FC) en el mar y en puerto, en toneladas				Datos del viaje o del periodo de tiempo	
	Tipo de combustible ( )	Tipo de combustible ( )	Tipo de combustible ( )		Carga (m) (toneladas o unidades)	Distancia (D) (MM)
1						
2						
3						

**Nota:** En los viajes en los que m<sub>carga</sub> = 0, sigue siendo necesario incluir el combustible utilizado durante este viaje al efectuar la suma anterior.



A continuación se facilita, solamente a modo de ilustración, un ejemplo sencillo que incluye un viaje en lastre. El ejemplo ilustra la aplicación de la fórmula basada en la hoja de notificación de datos.

<b>NOMBRE Y TIPO DEL BUQUE:</b>						
Viaje o día (i)	Consumo de combustible (FC) en el mar y en puerto, en toneladas				Datos del viaje o del periodo de tiempo	
	Tipo de combustible ( )	Tipo de combustible ( )	Tipo de combustible ( )		Carga (m) (toneladas o unidades)	Distancia (D) (MM)
1	20	5			25000	300
2	20	5			0	300
3	50	10			25000	750
4	10	3			15000	150

$$EEOI = \frac{100 \times 3,114 + 23 \times 3,151}{(25000 \times 300) + (0 \times 300) + (25000 \times 750) + (15000 \times 150)}$$

$$= 13,47 \times 10^{-6}$$

Unidades: toneladas CO2/(toneladas • millas marinas)

Tanto el EEOI como el EEDI serán aplicables a todas las embarcaciones que excedan las 400 toneladas, y exigirán que aquellos barcos construidos después de 2013 mejoren su eficiencia en un 10%, para el periodo correspondiente a 2020 y 2024 un 20%, y posteriormente un 30%.



## 2.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL BUQUE DE PESCA.

La mejora de la eficiencia energética en el buque de pesca requiere progresar en dos aspectos fundamentales: en la mejora del rendimiento del proceso de generación de la energía y en el mejor aprovechamiento de la energía disponible. Las problemáticas de cada uno son totalmente distintas y exigen un estudio y una actuación diferenciada.

Las distintas energías empleadas a bordo pueden agruparse en cuatro categorías: energía mecánica, eléctrica, hidráulica y térmica.

A la hora de evaluar el rendimiento de cada una de ellas hay que considerar que toda la energía proviene de la energía química obtenida al quemar el combustible y que cada transformación de la energía supone un gasto energético que se emite en forma de calor.

Dependiendo del tipo de buque y del arte de pesca que utilice, la configuración de la cámara de máquinas y los sistemas destinados a la generación de energía serán distintos. Sin embargo, el proceso habitualmente seguido puede esquematizarse en las siguientes etapas:

1. En el interior de los cilindros del motor se quema combustible. La energía obtenida se transforma en energía mecánica que hace girar el cigüeñal y, en un porcentaje en ocasiones superior al 60%, es transformada en calor que se transmite al ambiente a través de los gases de escape, el agua de refrigeración y por radiación.
2. En el caso del motor propulsor, esta energía mecánica se transmite a la hélice a través del eje, propulsando al buque.
3. Otra opción para el uso de la energía mecánica es su transformación en energía eléctrica a través de un alternador o una dinamo. Esta energía se utiliza posteriormente para alimentar los equipos eléctricos del buque, así como las baterías de emergencia.
4. La energía hidráulica utilizada a bordo puede obtenerse de dos formas distintas; bien mediante la acción directa de un motor diesel sobre el grupo hidráulico, bien mediante un motor eléctrico.

Si bien las necesidades específicas hacen que la alternativa escogida en cada embarcación sea distinta, es necesario considerar una serie de aspectos generales para establecer medidas de ahorro:

- Cada proceso de conversión de energía lleva asociada unas pérdidas y, por tanto, una reducción del rendimiento global.
- El rendimiento de un motor crece al aumentar su potencia; además, el rendimiento de un motor es mayor que el de un sistema de dos motores con la mitad de potencia cada uno.
- Cuando los motores diesel operan significativamente por debajo de su potencia de diseño, su rendimiento también disminuye considerablemente. Por ello, los equipos deben ser dimensionados para ajustarse a la potencia que realmente se requiere.
- Entre un 50 y un 60% de la energía de un motor se pierde en forma de calor; este elevado valor hace que las estrategias básicas para incrementar el rendimiento energético consistan en aprovechar este calor residual.

Como ya se ha mencionado, uno de los retos a los que actualmente se enfrenta la flota pesquera española es la elevación de los costes de explotación debido al incremento del precio del combustible.

En las siguientes secciones se abordan diversas alternativas para mejorar el rendimiento energético del buque y obtener ahorro energético.



Para lograr estos objetivos es necesario, en primer lugar, que todas las personas involucradas en la explotación del buque sean conscientes del coste de utilizar los distintos equipos y el coste asociado al uso que de ellos se haga.

Con este objetivo se ha incluido un anexo con unas directrices para la realización de una valoración energética y económica de los distintos equipos de un buque.

## 2.5. EL SECTOR PESQUERO EN ESPAÑA.

El sector de la pesca en España da empleo, sin incluir los sectores de la acuicultura y la comercialización, a más de 70.000 personas (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), lo que supone aproximadamente un 0,4% de la población activa.

Esta participación en la economía nacional se traduce en que la contribución al Producto Interior Bruto se sitúe en el 0,2% (INE 2004), aunque si también se incluyen los sectores de transformación y comercialización, se sitúa próxima al 1%.

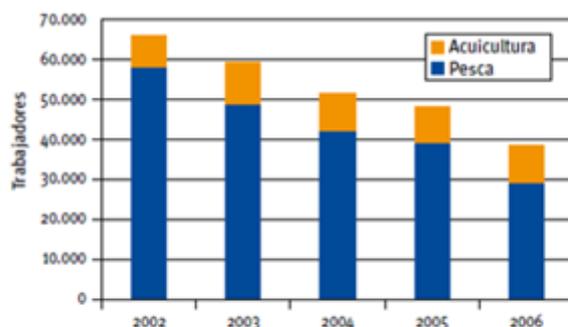
Aunque su contribución al total nacional no pueda considerarse significativa, el importante carácter regional del sector hace que en las zonas consideradas como altamente dependientes de la pesca, su contribución al PIB local puede superar el 15%. Es en estas zonas donde la influencia del sector es mayor, ya que a la propia actividad pesquera hay que añadirle el resto de actividades asociadas, incluyendo la transformación, comercialización, industria naval (construcción, reparaciones, suministros), etc.

Si bien la pesca tiene un papel importante en todas las comunidades autónomas costeras, entre todas destaca de manera muy especial Galicia, en la que se concentra casi la mitad de los tripulantes y la flota del Estado, seguida de Andalucía y el País Vasco.

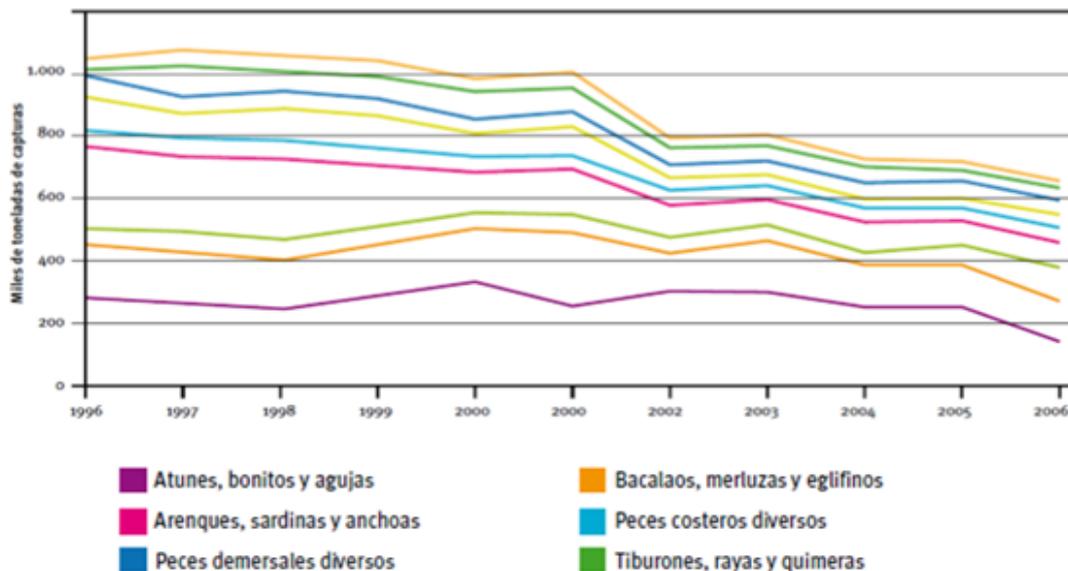
Aunque tradicionalmente la pesca ha sido un sector de gran relevancia en España, en los últimos años se ha producido un importante descenso tanto en flota pesquera como en trabajadores involucrados en el mismo, debido, en una gran parte, a la disminución en la rentabilidad de la actividad (disminución de las capturas, estancamiento del precio de venta de las mismas y especialmente al aumento del precio de los combustibles).

En los gráficos adjuntos, de población activa dedicada al sector y de la cantidad de capturas durante el periodo de 1996 a 2006, puede observarse claramente este hecho.

Esto no sucede, por ejemplo, en un sector como la acuicultura, que ha continuado creciendo, y que no es tan dependiente del precio de los combustibles ni del estado de los caladeros; o con las capturas de crustáceos, que continúan en aumento, en gran medida gracias al mayor valor en el mercado de los mismos.



Número de trabajadores en los sectores de la pesca y la acuicultura.  
(Estadísticas Pesqueras. Diciembre 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino)

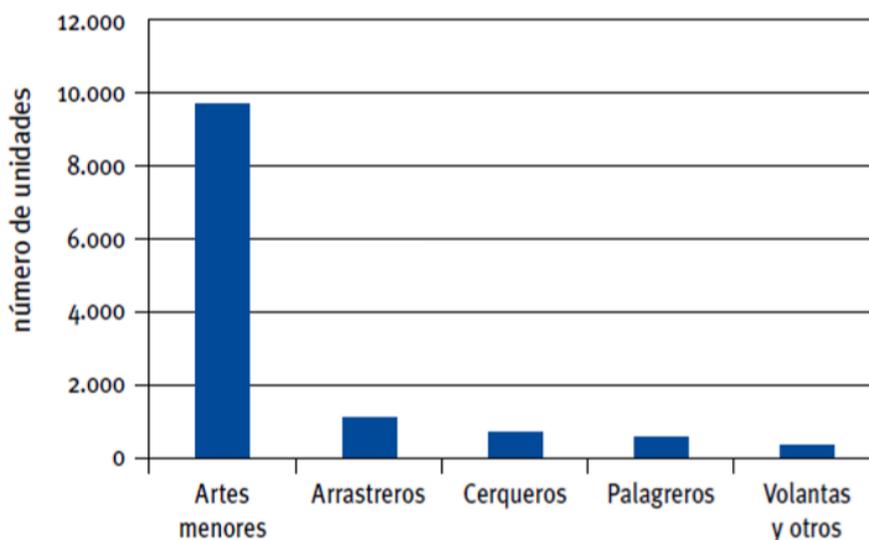


*Evolución de las capturas de peces.*

*(Estadísticas Pesqueras. Diciembre 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).*

La flota de pesca española, una de las de mayor importancia a nivel mundial, está compuesta por más de 13.000 buques, incluyendo desde embarcaciones de pequeño tamaño, dedicadas a la pesca artesanal (y que son mayoría dentro del total de la flota), hasta grandes buques cerqueros y arrastreros que prácticamente no regresan a puerto.

La distribución de la flota puede realizarse desde distintos puntos de vista. Por un lado, por el arte de pesca utilizada, distinguiendo entre buques de arrastre, palangre, cerco, volanta y rasco, y artes menores (que incluyen redes de menor tamaño, nasas y trampas, almadrabas y pequeñas artes de anzuelo).



*Figura 4. Distribución de la flota pesquera por tipo de buque. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Diciembre 2007).*



Por otro, los buques de pesca pueden clasificarse también según la ubicación donde se desarrolla su actividad y la correspondiente duración de las mareas.

La pesca de bajura comprende pequeñas embarcaciones, normalmente menores de 6 metros de eslora, que se dedican al marisqueo o las artes menores y que realizan su faena en zonas cercanas a la costa.

Los buques de litoral realizan su actividad a menos de 60 millas de la costa. Habitualmente, sus mareas no son superiores a un día aunque en ocasiones, en los llamados “de turno”, pueden llegar a los 10 días.

Tanto los buques de litoral como los de bajura faenan fundamentalmente en los caladeros nacionales, comprendiendo las aguas bajo jurisdicción española y las Zonas Económicas Exclusivas, además de un determinado número de unidades que faenan en aguas de Portugal. Estos caladeros nacionales incluyen el Cantábrico Noroeste, el del Golfo de Cádiz, el Mediterráneo y el de Canarias.



*Distribución de la flota pesquera por caladero.  
(Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Diciembre 2007)*

Dentro de la flota de litoral se encuentran todo tipo de unidades, desde las más pequeñas que utilizan artes menores, a cerqueros, arrastreros, palangreros, volanteros y atuneros cañeros, entre otros.

Los buques de altura faenan en caladeros situados a más de 60 millas de la costa, entre los que se encuentran los de Gran Sol y el Oeste de Irlanda, en mareas con una duración de entre 10 y 35 días. Los buques más habituales son los arrastreros y los palangreros. Por último, mencionar los buques de gran altura. Estos comprenden los grandes arrastreros congeladores que faenan en el Atlántico Norte y en el Atlántico Sur y los grandes atuneros congeladores, que realizan su actividad en diversos caladeros del Atlántico, el Pacífico y el Índico. Las mareas son superiores a 30 días y, en muchos casos, el buque vuelve a puerto sólo a realizar reparaciones o mantenimiento, realizándose el aprovisionamiento, la descarga o el cambio de tripulaciones mediante buques nodriza y helicópteros.



### 3. EL BUQUE PESQUERO: PRODUCCIÓN, OPERACIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO.

Los buques presentan una capacidad de generación energética que debe satisfacer las necesidades propulsivas del mismo (travesía y operación pesquera) y abastecer a los equipos destinados a cubrir los servicios del buque.

La rentabilidad económica de la operación del buque pesquero está íntimamente ligada a los costes de operación en actividad, destacando entre ellos los debidos al consumo del buque, que además de relevantes se pueden considerar como fijos. La correcta gestión energética del buque pesquero (para propulsión y servicios), así como la selección coherente de los equipos productores y consumidores, integrados y dimensionados de acuerdo a las necesidades reales de operación, conducen a ahorros significativos en inversión inicial, en mantenimiento y por supuesto de consumo energético en operación. Todo ello se traduce, finalmente, en un descenso en costes y por tanto, en un aumento de la rentabilidad económica del buque como entidad empresarial.

Es necesario tener presente que del total de consumos por marea de un pesquero, el porcentaje destinado a propulsión está entre el 70 y el 85% del total consumido.

Éste varía dependiendo del tipo de buque, su condición de operación, sus dimensiones, la disposición de su cámara de máquinas y el tipo y número de consumidores.

En el caso de las embarcaciones menores, en su mayoría equipadas con motores fuera borda, este porcentaje se incrementa dado que el número de consumidores a bordo es muy reducido. Es por ello que la importancia de una correcta selección del grupo propulsor es de mucha importancia desde el punto de vista del ahorro energético.

En el tren propulsivo, las pérdidas más importantes son las debidas al rendimiento propio del motor y del propulsor, por lo que será necesario un especial cuidado en la elección de estos equipos y en su integración, por lo que el conocimiento de las condiciones de operación del buque y su situación serán determinantes para una correcta gestión energética del buque.

#### 3.1. DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LAS DIFERENTES ARTES DE PESCA.

##### 3.1.1. ARTES PASIVOS.

Aparejos de pesca como el palangre de fondo y superficie, y redes de enmalle como la volanta, son artes de pesca pasivos, por lo que la participación del buque y los pescadores sólo tiene lugar en determinadas acciones de la actividad.

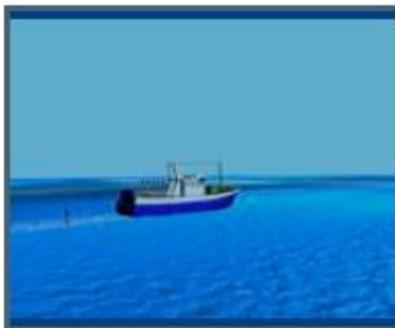
Las artes pasivas, independientemente del caladero donde pescan, presentan un modo operacional similar en tres fases: el largado o calado del arte de pesca al mar, un tiempo de espera y el izado del arte de pesca a bordo del buque. Dado que los estados de operación son similares, la distribución del consumo energético también lo es.

Cuando el barco alcanza el caladero el patrón elige el lugar idóneo donde se dejarán fijadas las redes o los aparejos. Tras fijar la posición el arte se deja caer al mar por su propio peso con el buque en movimiento (maniobra de largado). Según se trate de una red o aparejo de superficie o de fondo, se utilizan pesos y boyas para señalizarlo y fijarlo al lecho marino; se emplean asimismo contrapesos para alzarlo y que pueda pescar correctamente.

En esta operación el principal consumo energético del buque se centra en la demanda de propulsión, factor muy importante ya que se necesita una velocidad óptima para que los aparejos y redes se sitúen en la posición correcta. Aún siendo un estado de cierto consumo energético su duración es mínima, pues ocupa



únicamente el 15% del tiempo productivo (entendiendo por productivo el tiempo que dedica a pescar, no a navegar entre el puerto y el caladero).



Buque de palangre calando el aparejo.

Una vez calado el arte permanece un tiempo en esta situación para atrapar las capturas. En este estado la demanda energética en el barco es mínima pues sólo se encuentran operativos los equipos que son indispensables.

Posteriormente se iza el arte de pesca al buque (maniobra de virado). Durante este estado el buque permanece prácticamente parado y sólo se desplaza a medida que el arte lo requiere por lo que la demanda de propulsión es baja.

En términos energéticos el virado ocupa el 70% del tiempo productivo y son los equipos de generación eléctrica los que tienen aquí su máximo de demanda energética (excluyendo la propulsión). Esto se debe a que, al intervenir equipos de recogida del arte de pesca, se encienden equipos de iluminación, bombas hidráulicas, bombas de achique, baldeo, etc.

A modo de resumen, la maniobra de largado requiere mayor demanda energética para la propulsión (donde más consumo se produce), si bien el tiempo empleado en la misma es reducido. Por el contrario, el virado implica poca demanda propulsiva pero el tiempo dedicado es mucho mayor. En conjunto, se puede concluir que la demanda energética asociada a la propulsión durante la actividad pesquera per se en los buques que utilizan artes de pesca pasivos, es por norma general baja.



Aparejo de palangre calado en el lecho marino.



### 3.1.2. CERCO.

En el cerco el consumo energético durante las faenas de pesca es más elevado si lo comparamos con las artes pasivas. Este sistema de pesca requiere de la intervención del pescador, del buque y de los equipos durante toda la actividad, por lo que se trata de un sistema de pesca activo.

La realización de las maniobras de pesca en un barco de cerco se centran en tres estados: búsqueda del banco de pesca, largado del arte de pesca y virado o recogida del mismo.

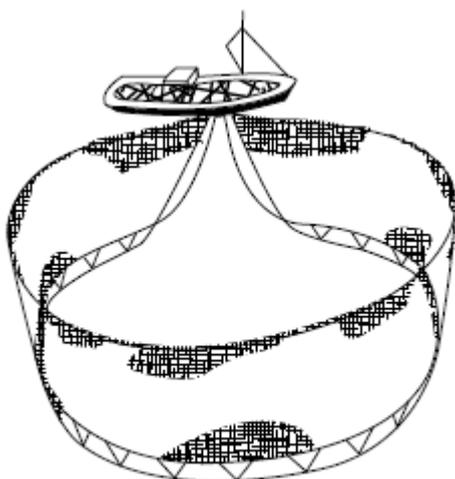
Así, una vez el barco llega al caladero navega en busca de los bancos de pesca. Cuando detecta un banco, el buque se posiciona y comienza a lanzar la red y navega describiendo un círculo. La parte de la red con flotadores permanece en la superficie, mientras que el resto, con contrapesos, tiende a hundirse.

Durante esta maniobra la demanda de propulsión es elevada pues es necesario efectuar la acción lo más rápido posible para evitar que la pesca se escape.

Cuando toda la red está en el mar y una vez completado el círculo, el buque se detiene y se cierra la red por su parte inferior, dando lugar a un saco o embudo en el que quedan atrapadas las capturas. Cerrada la red, empiezan a actuar los equipos de recogida y los pescadores. Se iza la red a bordo con los equipos mecánicos y cuando llega hasta casi el final de la misma la pesca está acumulada. Utilizando grúas hidráulicas y molinetes se introduce en el buque.

La demanda energética durante las operaciones de recogida de la red se centra exclusivamente en los equipos de generación eléctrica para iluminación, bombas y equipos de recogida de red. Esta actividad requiere que la maquinaria empleada tenga motores con potencia suficiente para poder afrontar las maniobras de largado e izado del arte de pesca.

Los cerqueros realizan grandes desplazamientos en el caladero para localizar los bancos, lo que llega a suponer hasta el 70% del tiempo productivo con un consumo energético elevado en la propulsión.



**Barco de cerco.**



### 3.1.3. ARRASTRE.

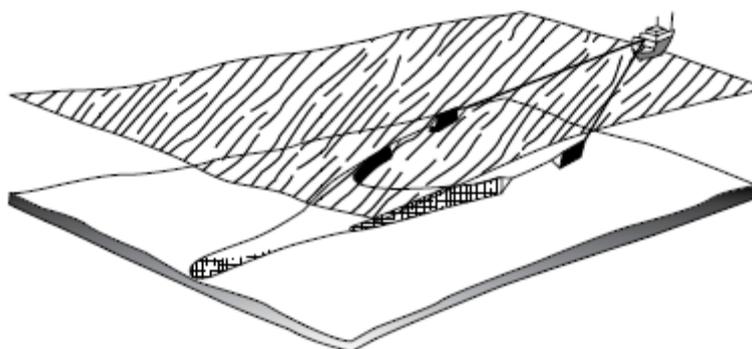
El arrastre de fondo se caracteriza por un consumo energético muy elevado. Se trata de un sistema de pesca activo donde el pescador, los equipos de pesca y el propio buque participan en todo momento en la obtención de las capturas durante las maniobras de pesca.

Los estados operativos más importantes son tres: largado de la red al mar, arrastre de la red por el lecho marino y recogida de la red con las capturas.

Cuando el buque llega al caladero el patrón elige el lugar y momento para lanzar la red. Una vez en el mar, el barco empieza a desplazarse a velocidad media para evitar que la red caiga al fondo sin forma, lo que le permite definir una geometría de saco horizontal. El avance del buque facilita además la suelta de los elementos de unión o cables entre la red y el buque.

Cuando la red alcanza el fondo marino el buque la comienza a remolcar, y es en esta acción de arrastre donde la demanda energética de la propulsión es muy grande (si bien sigue siendo menor que durante la navegación). Durante este estado la potencia entregada por los motores de propulsión ha de ser suficiente para vencer la resistencia al avance que supone el desplazamiento del buque y la red al mismo tiempo a una velocidad determinada.

El balance global de consumo energético se agrava puesto que el arrastre es el estado de más larga duración de la actividad, ocupando el 85% del tiempo productivo.

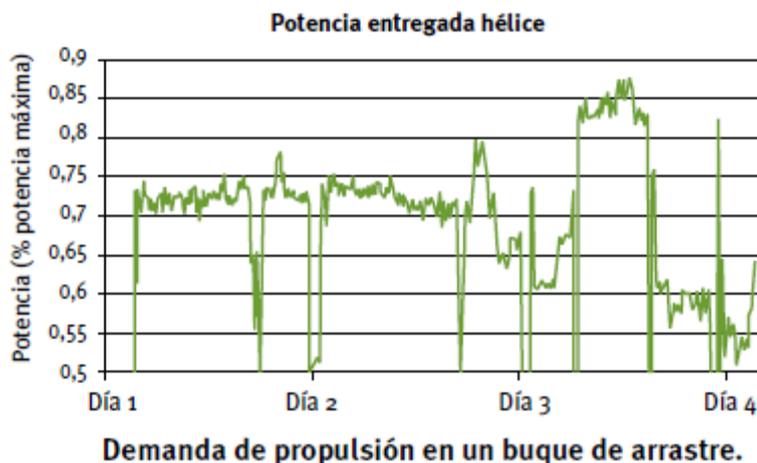


**Buque de arrastre remolcando la red.**

Finalizado el arrastre se comienzan a izar las redes a bordo. El buque se encuentra parado y se recoge la red. Los equipos empleados en esta maniobra necesitan de la instalación de motores generadores auxiliares capaces de satisfacer las necesidades energéticas demandadas (es un peso muy elevado).

Por lo expuesto hay que señalar que el arrastre de fondo es el arte de pesca que mayor consumo energético requiere para trabajar. Además se trata de una pesquería intensiva, pues se produce continuamente la acción de arrastre durante el tiempo productivo.

Como se muestra en la siguiente figura, la potencia de propulsión demandada en un buque de arrastre es siempre elevada durante largos periodos de actividad.



#### 3.1.4. PESCA DE BONITO.

En la pesca del bonito del norte se pueden emplear dos artes de pesca diferentes: una de ellas es pasiva, con cebo vivo; la otra es activa, llamada “curricán” o cacea.

##### **Pesca con cebo vivo.**

En esta modalidad se diferencian dos estados de operación: búsqueda de los bancos de bonito, y la “parada” o captura de la pesca.

El proceso es el siguiente: cuando el buque se encuentra en el caladero comienza a navegar en busca de los bancos de pesca. Durante este estado el consumo de energía en la propulsión es significativo ya que se llegan a recorrer grandes áreas en busca de la especie objetivo y la velocidad requerida es elevada.

Al detectar el banco el barco se detiene y se capturan los túnidos uno a uno manualmente, utilizando cañas con un sedal y un anzuelo donde se inserta el cebo vivo. En este momento el consumo es mínimo ya que únicamente es necesaria la utilización de los equipos auxiliares de generación eléctrica.

##### **Pesca con curricán.**

En esta modalidad el buque porta unos sedales en los que se coloca un cebo artificial en su extremo. Los sedales se dejan caer al mar a medida que se desplaza el buque. Una vez el barco pasa junto a los bancos de pesca, los túnidos son capturados y subidos a bordo mediante los equipos mecánicos específicos para la recogida de las capturas.

Se necesita de la intervención del buque en todo momento para realizar la actividad pesquera y los dos estados de operación, búsqueda de los bancos y captura de la pesca, se solapan entre sí. En ambos momentos el buque está navegando a una velocidad determinada y la demanda de energía en la propulsión es constante a lo largo del periodo de pesca.



### 3.1.5. PESCA ARTESANAL.

Las artes de pesca empleadas por los buques artesanales son pasivas. Son muchas y diversas, destacando (por su importancia numérica) la pesca con nasa, artes de enmalle y marisqueo, principalmente.

La pesca con nasas y artes de enmalle emplea la misma forma de operar que las artes de pesca pasivas explicadas anteriormente, lo que supone tres estados de operación: calado, espera e izado.

Las nasas son unas trampas que contienen un cebo para atraer a las especies objetivo, que quedan atrapadas en su interior. Al igual que los artes anteriores para calar estas artes de pesca se necesita una cierta velocidad del buque, por lo que la mayor demanda energética es la propulsión en este estado.

En los estados de espera e izado del arte, la embarcación permanece prácticamente parada, y la demanda energética proviene únicamente de los sistemas auxiliares de recogida del arte, iluminación, bombas, etc.

Por otro lado, en los buques dedicados al marisqueo el consumo energético que supone la actividad pesquera (sin contar el desplazamiento al caladero) es mínimo, puesto que la demanda energética para la propulsión del buque se produce únicamente durante la realización de desplazamientos dentro del banco marisquero si fuera necesario. Esta actividad se desarrolla con el buque parado y el pescador extrae el marisco del lecho marino utilizando para ello las herramientas especiales.

### 3.1.6. CONCLUSIÓN.

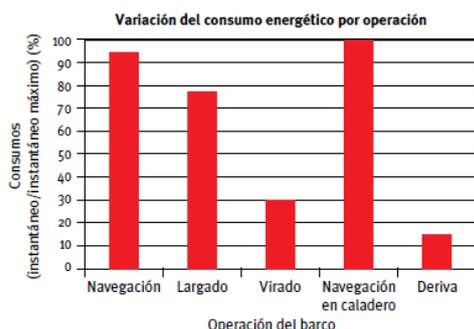
En este apartado se han descrito de forma somera diferentes operaciones de pesca para explicar la demanda energética que supone cada una de ellas en función del arte que emplean.

Como se comentó en la introducción no se han tenido en cuenta otros factores que influyen en el consumo total de combustible o en la rentabilidad de la pesquería (consumo en navegación a caladero, valor comercial de las capturas...). Sobre este tema hay publicaciones (como puede ser la noruega *Energy consumption in the Norwegian fisheries*) que muestran resultados de estudios en las flotas de sus buques de pesca. En ella se indica que el ratio kilogramo de combustible por kilogramo de capturas es siempre más elevado en los buques que utilizan artes como el arrastre. Este coeficiente varía en función de la especie objetivo y del tipo de arte de arrastre empleado.

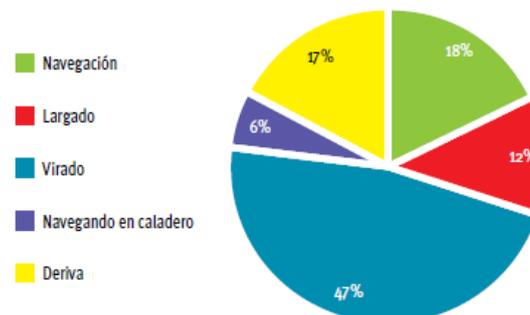
Las siguientes gráficas muestran la distribución de consumo energético en función de la tipología del barco:

- Palangreros de altura:** por estados, la navegación y el largado presentan mayor consumo instantáneo, mientras que en virado y deriva el consumo es menor. Estos dos últimos estados son a los que más tiempo dedica el barco, lo que se traduce en un consumo global de la marea hasta tres veces menor que los arrastreros.

Ejemplo de consumo instantáneo de gasóleo (promedio) en los motores de un palangrero durante los distintos estados de operación.



Palangrero de altura: dedicación temporal a cada estado del barco.

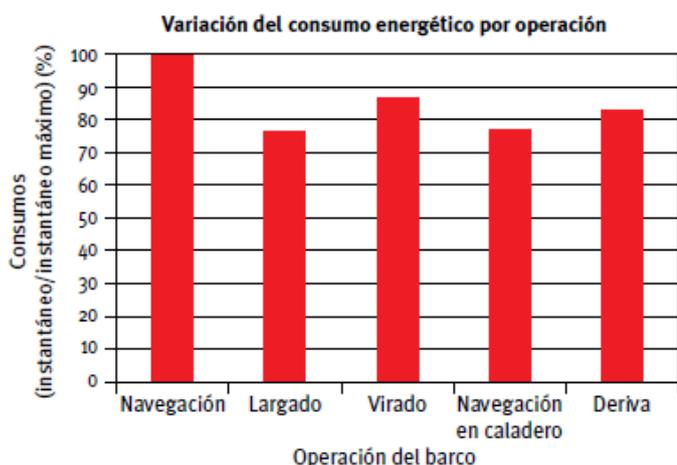




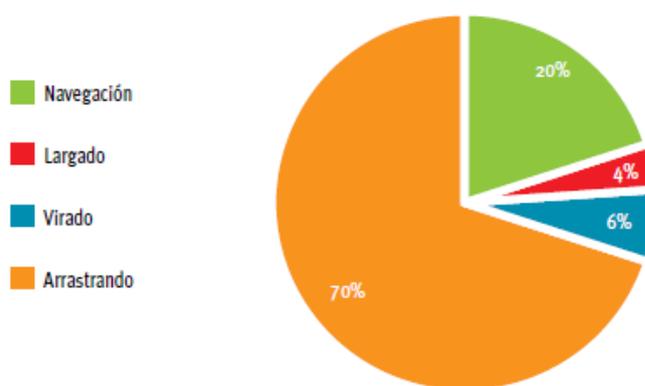
- **Arrastreros:** tanto de altura como de litoral muestran los mayores consumos promedio. El consumo durante el arrastre es elevado, y además es la maniobra de pesca a la que más tiempo se dedica.

Los arrastreros de Gran Sol muestran mayor consumo que los de litoral debido al mayor porte y peso de la embarcación, ya que debe transportar víveres y combustible para mareas más largas, así como aparejos de mayor tamaño y volumen de capturas.

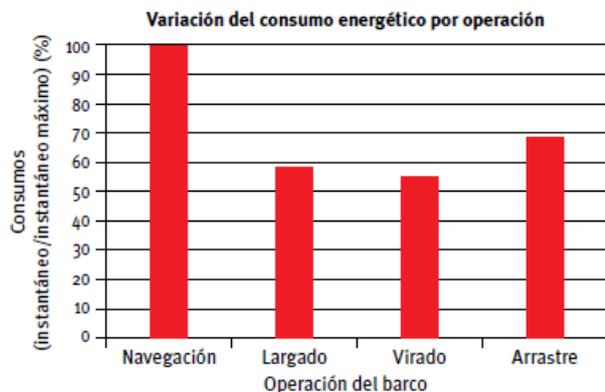
**Ejemplo de consumo instantáneo de gasóleo (promedio) en los motores de un arrastrero de Gran Sol durante los distintos estados de operación.**



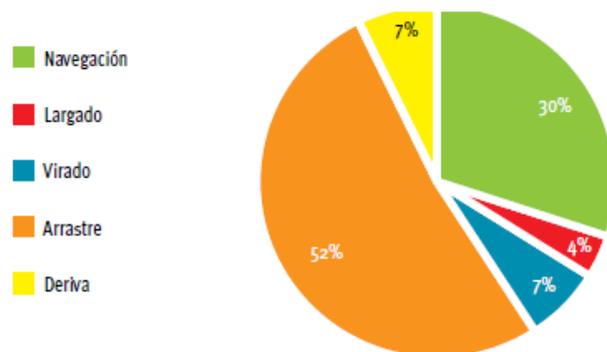
**Arrastrero de altura: dedicación temporal a cada estado del barco.**



**Ejemplo de consumo instantáneo de gasóleo (promedio) en los motores de un arrastrero de litoral durante los distintos estados de operación.**



**Arrastrero de litoral: dedicación temporal a cada estado del barco.**





Se puede concluir que según el arte empleado por los buques de pesca, así será su consumo energético. De manera general, las artes de pesca activas tienen un mayor impacto en el consumo energético del buque, lo que dará lugar a una mayor vulnerabilidad en un escenario de escalada del precio del petróleo. El mayor o menor consumo de energía derivado de cada tipología de arte de pesca origina una importante repercusión ambiental. Así, las emisiones de gases derivados de la combustión o el impacto de un eventual derrame de combustible es mucho menor en artes como el palangre respecto a artes como el arrastre.



### 3.2. TIPOS DE PROPULSIÓN Y COMBUSTIBLES MÁS UTILIZADOS.

En la actualidad, la propulsión de los buques y embarcaciones de pesca se realiza mediante motores fuera borda de gasolina y motores de ciclo Diesel, turboalimentados o no.

Los motores fuera borda son usados en pequeñas embarcaciones de pesca artesanal, con potencias reducidas y normalmente poco espacio disponible a bordo.

Este tipo de motores utiliza la gasolina como combustible, pueden ser de dos o de cuatro tiempos y tienen una instalación muy sencilla, fijándose mediante pernos o palometas al espejo de popa de la embarcación.

Existen también motores fuera borda de gasóleo, aunque su presencia en el mercado es muy escasa. Son motores compactos y ligeros, aunque presentan consumos superiores a los motores de gasóleo y una durabilidad inferior. La utilización de la gasolina está limitada reglamentariamente a este tipo de motores; el combustible utilizado en cualquier otro motor propulsor fijo debe tener un punto de inflamación superior a los 60 °C.

Es por ello que la mayor parte de buques de pesca, desde los de bajura hasta los de gran altura, utilizan motores propulsores de ciclo Diesel. Este tipo de motores, que vinieron a sustituir a las maquinarias propulsoras a vapor a lo largo del siglo XX, representan hoy en día la mayor parte de las plantas propulsoras de la flota mundial.

Al igual que sucede con el caso de los motores fuera borda, existen dos tipos de motores diesel: de dos y cuatro tiempos. Sin embargo, los motores de dos tiempos son motores lentos, utilizados cuando son necesarias grandes potencias (que en ocasiones pueden superar los 80.000 kW) y por lo tanto utilizados en grandes buques mercantes, pero no en buques de pesca. La flota pesquera, en su mayoría, utiliza motores diesel de velocidad media, normalmente turboalimentados.

Este tipo de motores consumen en su mayoría gasóleo como combustible. La utilización del fuel pesado se limita al rango alto de potencias, normalmente en grandes arrastreros congeladores y se encuentra en desuso debido a su mayor nivel de emisiones contaminantes en comparación con el gasóleo.

#### 3.2.1. MOTORES FUERA BORDA.

Los motores fuera borda en general se diseñan teniendo en mente las embarcaciones de recreo, con un amplio rango de potencias disponible (entre 2 y más de 300 CV) y cuyo rendimiento óptimo se obtiene en embarcaciones de pequeño tamaño, ligeras y rápidas. Es por ello que su utilización debe limitarse a las pequeñas lanchas de bajura; su uso en embarcaciones mayores, lentas y pesadas, implicaría un funcionamiento totalmente fuera de su punto óptimo y, por lo tanto, una gran ineficiencia y consumo de combustible.

En todo caso, los motores fuera borda de gasolina presentan siempre un mayor consumo de combustible que uno diesel de igual potencia, factor que es agravado por la menor eficiencia de las hélices de este tipo de motores. El consumo de un motor de este tipo puede superar en más de tres veces el de un motor diesel equivalente. Además, hay que considerar también la diferencia de coste del combustible y las posibles subvenciones a las que se tiene acceso. Históricamente, el precio de la gasolina se ha mantenido siempre por encima del gasóleo.

Sin embargo, también presenta una serie de ventajas:

- En primer lugar, la instalación de este tipo de motores es muy sencilla y se limita a su colocación en el espejo de popa de la embarcación (reforzado si es necesario), la conexión de los sistemas de gobierno y electrónica (si dispone de ellos) y la conexión con el depósito de combustible, que normalmente es portátil. En todo caso, existen embarcaciones de pequeño tamaño en que la



instalación de un motor diesel fijo, por razones de disposición y tamaño, simplemente no es posible.

- Su coste, además, es sensiblemente inferior al de un motor diesel similar, aunque sus costes de funcionamiento sean mayores y su vida útil, menor.
- Además de los motores de gasolina, existen algunos modelos de fuera borda diesel. Sin embargo, su presencia en el mercado es muy reducida y su coste de adquisición elevado.

Dentro de los motores fuera borda de gasolina (ciclo Otto), se pueden distinguir dos tipos principales: de dos y de cuatro tiempos.

Hasta hace unos años, los únicos motores disponibles en el mercado eran los de dos tiempos y admisión mediante carburador. Este tipo de motores utiliza para su lubricación aceite mezclado con la gasolina combustible (alrededor del 2%). De los tres tipos de motores fuera borda que se describen, son los que presentan un mayor consumo de combustible y, además, son los más contaminantes.

En un ciclo de dos tiempos, existe un punto del mismo en que, al mismo tiempo que se produce la exhaustación de los gases quemados, se está produciendo también la admisión de la mezcla. En ese proceso, una pequeña parte del combustible, aún sin quemar, se pierde por el escape, provocando manchas de aceite y combustible en el agua. Asimismo, la presencia de aceite en la mezcla de aire y combustible que se va a quemar, produce que las emisiones a la atmósfera contengan más sustancias contaminantes que en el caso de que se quemase gasolina exclusivamente.

En la actualidad, este tipo de motores no cumplen con los cada vez mayores requisitos en lo que a emisiones contaminantes a la atmósfera se refiere y su importación ya está prohibida en Europa, aunque todavía existen una gran cantidad de motores de este tipo en operación.

Para poner solución a este problema, los fabricantes de motores han optado por dos alternativas. Por un lado, mejorar la tecnología de los motores de dos tiempos convencionales y, por otro, utilizar ciclos de cuatro tiempos.

Los nuevos motores de dos tiempos de inyección de gasolina, que inyectan el combustible en la cámara de combustión en el momento exacto en que las lumbreras de exhaustación se cierran, han reducido en gran medida el consumo y las emisiones que tenía la anterior generación de motores de dos tiempos, convirtiéndose en una alternativa a los motores de cuatro tiempos.

Son motores menos eficientes que los de cuatro tiempos, pero entre sus ventajas se encuentran que a igualdad de tamaño son más potentes que aquellos, y también que son más económicos de adquisición, puesto que son más sencillos de diseño.

Los motores de cuatro tiempos, al contrario de lo que sucede con los de dos tiempos, presentan un sistema de lubricación independiente al de combustible. La no presencia de aceite en la cámara de combustión tiene un efecto directo y clave, que es la reducción de las emisiones contaminantes, lo que unido a la mayor eficiencia y menor consumo de este tipo de motores, representan sus dos principales ventajas.

Un motor de cuatro tiempos puede llegar a consumir hasta un 60% menos que un motor de dos tiempos convencional equivalente.

Sin embargo, esta independencia del sistema de lubricación, o la existencia de las válvulas de admisión y exhaustación entre otros, hacen que sean motores más complejos que los de dos tiempos, más voluminosos y pesados y también más caros.

La utilización de motores fuera borda de cuatro tiempos es relativamente reciente y ha venido impulsada, en gran medida, por la necesidad de reducir las emisiones contaminantes, aunque cada vez está más impuesta en todos los rangos de potencia.



En todo caso, es muy importante mencionar que habitualmente, en las embarcaciones en que se equipan motores fuera borda, éstos son prácticamente la única fuente de consumo de combustible, por tratarse de embarcaciones pequeñas con muy pocos consumidores de otro tipo.

Es por ello que la selección adecuada del motor va a condicionar la eficiencia de la lancha; este deberá disponer de la potencia necesaria para propulsar la embarcación a la velocidad de crucero requerida, funcionando a su régimen de mínimo consumo y no deberá estar sobredimensionado ni quedarse falto de potencia.

Es necesario, por tanto, establecer una velocidad de crucero racional, la mínima necesaria para la correcta y segura realización de la actividad, basándose siempre en datos objetivos para justificar un posible incremento en la misma. Esta decisión se tratará en apartados posteriores de la publicación.

### 3.2.2. MOTORES DIESEL INTRABORDA.

Hoy en día, los motores diesel son mayoría en lo que se refiere a propulsión de buques, con rangos de potencia que van desde unos pocos caballos hasta más de 100.000. De entre los motores diesel, pueden distinguirse motores de dos tiempos, lentos y utilizados cuando son necesarias grandes potencias, y motores de media velocidad de cuatro tiempos.

Los rendimientos de los motores de ciclo Diesel son superiores a los de gasolina y, por lo tanto, sus consumos de combustible son menores. Como ya se ha mencionado, los motores fijos que se dispongan en buques de pesca bajo cubierta o en tambuchos, deben tener combustibles cuyo punto de inflamación sea superior a 60°C, por lo que en estos casos la única opción disponible es el motor diesel. Es lo que sucede en la mayor parte de buques de pesca de todos los tamaños y en las embarcaciones de pesca artesanal de mayores tamaños, en las que la opción de un fuera borda no es viable.

En el caso de las pequeñas lanchas de pesca artesanal, puede darse la opción de optar entre un motor fijo diesel o un fuera borda de gasolina. Entre las ventajas que ofrece un motor fijo diesel frente a uno de gasolina están su mejor rendimiento y menor consumo de combustible, que además normalmente es más económico que la gasolina, su mayor durabilidad y resistencia, aunque también son motores más pesados y que requieren de una instalación más compleja, y son más caros.

A la hora de decidirse por una de ambas opciones, es necesario evaluar las horas de uso del motor. Si técnicamente es viable la instalación a bordo de un motor diesel fijo, éste será más rentable cuanto mayor sea el número de horas de operación al año (dependiendo del tipo de buque, suelen ser rentables a partir de 250 a 350 horas de uso al año).

Actualmente, en el rango bajo de potencias, la mayor parte de motores diesel son de aspiración natural, mientras que a medida que se aumenta la potencia es más común la turbocompresión como método de aspiración. Este sistema mejora el rendimiento de los motores (alrededor de un 15%), aumenta la potencia a igualdad de cilindrada y reduce su tamaño y su peso.

Es por ello que en la actualidad, la mayor parte de la flota pesquera de altura utiliza motores de este tipo, diesel, de cuatro tiempos y turboalimentados.

### 3.2.3. PROPULSIÓN DIESEL-ELÉCTRICA.

Además de la propulsión convencional, en la que el propulsor está accionado por un motor diesel o de gasolina normalmente a través de una reductora, existe un tipo de propulsión en que, en lugar de éstos, la hélice es accionada mediante un motor eléctrico, que recibe la energía de los diesel generadores del buque.



Dentro de este tipo de propulsión, existen dos casos diferenciados. En el primer caso, el único motor propulsor es el eléctrico, de modo que los motores diesel presentes serán los generadores eléctricos encargados de suministrar la energía al motor propulsor.

En el segundo caso, el motor principal diesel no se sustituye por el eléctrico, sino que a la planta convencional se le añade un pequeño motor eléctrico acoplado a la reductora y que se utiliza para propulsar al buque a bajas velocidades o como propulsión auxiliar.

De entre los dos tipos mencionados, el utilizado en buques de pesca es este último.



### 3.3. PROPULSIÓN. INFLUENCIA DE LAS DIMENSIONES Y ESTADO DE OPERACIÓN.

En el proyecto del buque, la definición de la potencia necesaria de su motor propulsor se obtiene a partir de sus necesidades operativas, es decir, el armador debe definir cuáles son sus requisitos de velocidad, autonomía y capacidad y a partir de estos datos se definen los distintos sistemas del buque.

Es por ello de suma importancia definir cuidadosamente las necesidades reales de operación, que deben ser optimizadas para alcanzar la mayor rentabilidad económica del buque.

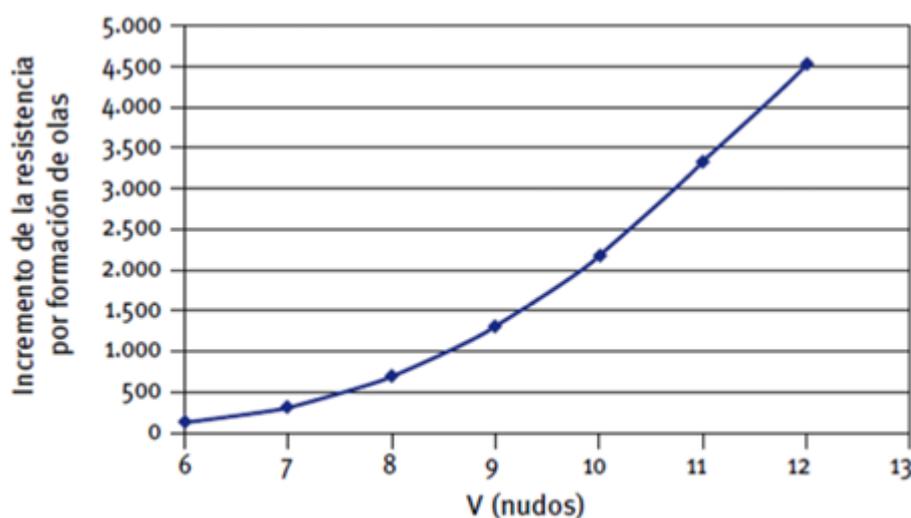
Puesto que la necesidad de potencia (EHP) para el desplazamiento del buque se define como la velocidad ( $v$ ) por la resistencia al avance ( $R_a$ ),  $EHP = v \cdot R$  a será necesario controlar la velocidad y la resistencia en la medida de lo posible, para que las necesidades energéticas de propulsión se minimicen.

Las formas y las dimensiones principales del buque (normalmente función de la capacidad de almacenaje de capturas y de la autonomía), determinan la resistencia al avance para cada una de las distintas velocidades de operación.

El parámetro más importante del que depende la potencia necesaria para la propulsión es la velocidad, aunque las dimensiones principales y las formas también tienen una influencia significativa.

La resistencia al avance total del buque se puede desglosar en las siguientes componentes, cuya importancia relativa dependerá en gran medida de las velocidades de operación del buque:

- Resistencia por formación de olas ( $R_w$ ): es la componente que adquiere mayor relevancia a velocidades de operación altas, siendo directamente proporcional a la velocidad elevada a la cuarta e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la eslora.



*Incremento de la resistencia por formación de olas con la velocidad para un buque de 24 m de eslora*



Por tanto, en buques cuyas velocidades de operación sean elevadas, es necesario tener presente que la potencia necesaria para la propulsión puede evaluarse como una función de la velocidad elevada a la séptima; en este caso, teniendo en cuenta la velocidad ( $v$ ) y la eslora ( $L$ ):

$$EHP_{\text{Form.Ola}} = f(v^7); \quad R_w = f\left(\frac{v}{\sqrt{L}}\right)$$

Es de destacar que en pesqueros, la relación  $\frac{v}{\sqrt{L}}$  es superior a otros buques, por lo que la importancia relativa de la resistencia por formación de olas es mayor frente a las otras componentes. Por tanto, habrá mayor dependencia del incremento de la potencia con la velocidad para buques de pesca que operen a velocidades altas (por encima de 6 nudos) que en otros buques operando a la misma velocidad.

- Resistencia viscosa ( $R_v$ ): esta es la componente más importante de la resistencia cuando los buques navegan a bajas velocidades. Está vinculada con las formas del mismo y con su eslora, por lo que en aquellos buques que actúen a bajas velocidades deben seleccionarse cuidadosamente estos valores. La influencia del casco viene dada principalmente por la finura de sus formas, es decir, la relación eslora puntal y manga puntal.  $R_v = f$  (finura de las formas, eslora, velocidad, superficie mojada)

El valor de la eslora ( $L$ ) ha de ser tal que minimice la resistencia teniéndose en cuenta la influencia de las formas. De este modo, el incremento aproximado de la resistencia viscosa a baja velocidad con la eslora es de un 5% por cada 2 metros de incremento de la misma, manteniendo el resto de dimensiones y las formas constantes.

Un efecto importante a considerar en la resistencia viscosa es la rugosidad del casco. Entendemos por rugosidad las imperfecciones que se dan en el casco del buque y que se presentan como la suma de las superficiales (corrosión, incrustaciones, etc.) y las estructurales (cordones de soldadura, etc.).

Los efectos de la rugosidad incrementan la resistencia por fricción del buque y, por lo tanto, también la resistencia viscosa. Como orientación, estos incrementos suponen aumentos proporcionales al tiempo que pasa el casco sin limpiar, alcanzándose incrementos del 10% de la potencia después de 10 años sin ser limpiado y de hasta el 25% dependiendo de la ruta realizada.

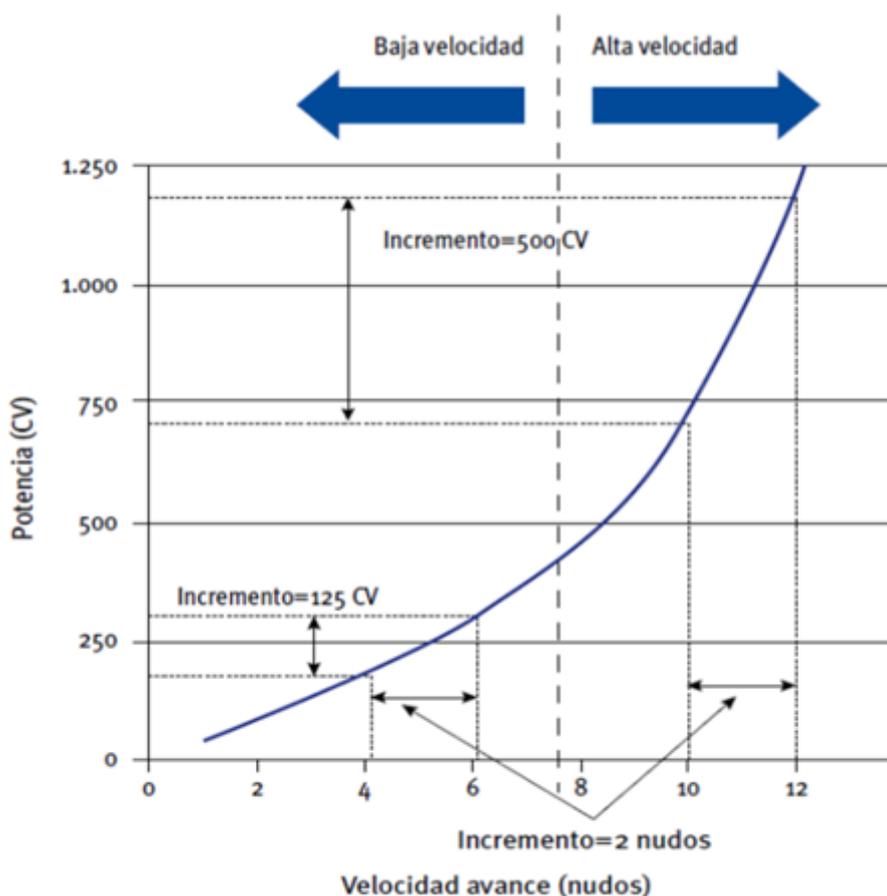
Para reducir la rugosidad del casco puede actuarse durante las etapas de construcción del buque en la componente estructural de la misma, intentando obtener una carena lo más lisa posible. En el caso de la rugosidad debida a las incrustaciones biológicas, la solución consiste en la aplicación de pinturas anti incrustante en la obra viva, que reducen las fijaciones sobre la carena. Para mantener en niveles mínimos las incrustaciones biológicas, es fundamental seguir las instrucciones de los fabricantes de pinturas y los astilleros en lo que se refiere a períodos de renovación de pinturas y varadas de mantenimiento.

La resistencia al avance total (tanto para su componente viscosa como para la componente por formación de olas) es directamente proporcional a la superficie mojada ( $s$ ), que depende de las dimensiones del buque y de sus apéndices. La inclusión de elementos como toberas (para aumentar el tiro) o bulbos (para mejorar el comportamiento en la mar) ha de analizarse cuidadosamente, ya que los beneficios propios de su objetivo inicial se pueden ver mermados por la gran influencia que presentan en estos buques en lo que a resistencia al avance se trata.



Asimismo, es necesario recalcar que fundamentalmente el consumo de combustible de un buque o embarcación de pesca depende de la velocidad del mismo.

Observando la gráfica potencia-velocidad, puede observarse que el incremento de potencia necesario para obtener un aumento dado de velocidad, es superior si nos encontramos en un rango de velocidades elevadas que reducidas.



*Incremento de potencia propulsora con la velocidad para un pesquero en navegación libre de 30 m de eslora.*

Así pues, la velocidad debe ser convenientemente seleccionada tras la realización de un análisis objetivo de las ventajas y los inconvenientes de un posible aumento de la misma. Éste debe incluir el coste del combustible consumido en exceso y las ventajas económicas que podría proporcionar un incremento en la duración de la marea o una llegada más temprana a puerto.



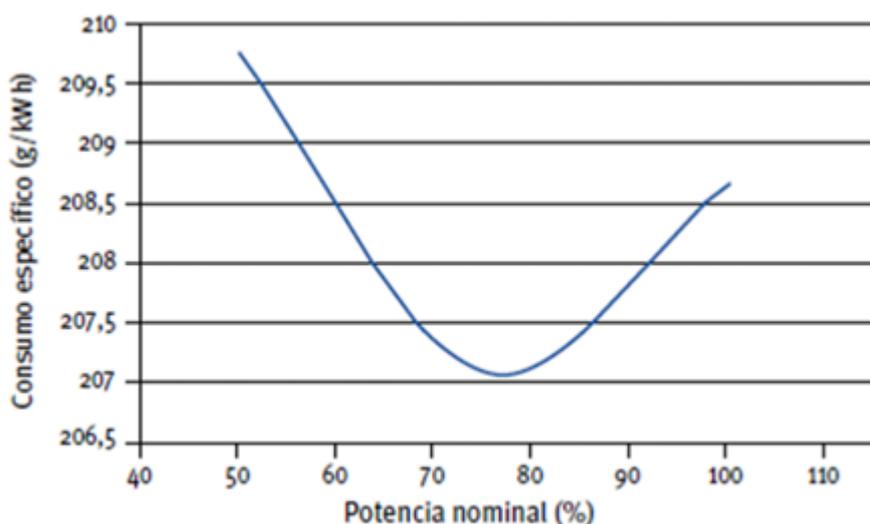
### 3.4. PROPULSIÓN. INFLUENCIA DEL TREN PROPULSIVO.

- Motor principal: rendimiento según carga demandada. La potencia necesaria que debe proporcionar el motor principal está condicionada por la demandada por el buque, pero a ésta hay que añadir las pérdidas por rendimientos mecánicos de la línea de ejes, el propulsor, el propio rendimiento del motor y el margen de mar que se emplee. De entre estos, el punto más comprometido es la hélice o propulsor.

El motor principal debe seleccionarse a partir de la potencia necesaria para la propulsión teniendo en cuenta dos premisas fundamentales:

- Capacidad para generar la potencia necesaria en las condiciones más exigentes de propulsión (para lo cual es necesario considerar el comportamiento de la hélice).
- Rendimiento asumible del motor (consumo específico cerca del mínimo) para las distintas condiciones de operación previstas, teniendo en cuenta el tiempo relativo de cada una de ellas respecto al tiempo total de marea y los consumos relativos durante las mismas.

El proceso seguido para la selección del motor propulsor y comprobar la adecuación del mismo a las distintas condiciones de navegación se describe a continuación.



*Consumo específico de un motor de 1.300 CV a 1.200 rpm de revoluciones.*

Para la velocidad máxima de operación especificada, se define la potencia que debe suministrar la hélice para vencer la resistencia al avance (EHP), normalmente considerando el casco del buque y la hélice limpios y la mar en calma. Este punto de diseño del propulsor (PD) debe estar contenido en la curva de la hélice.

Realizando la previsión de cambio de comportamiento de la hélice en operación (a lo largo del tiempo, el rendimiento de la hélice disminuye, debido a distintos motivos como la incrustación de organismos y el deterioro), obtenemos un segundo punto de funcionamiento (PD1), en que la velocidad se ha reducido respecto a la de diseño. Sin embargo, es necesario considerar que el buque pueda desarrollar esta velocidad en estas nuevas circunstancias y también en el caso de encontrarse con situaciones de la mar adversas.

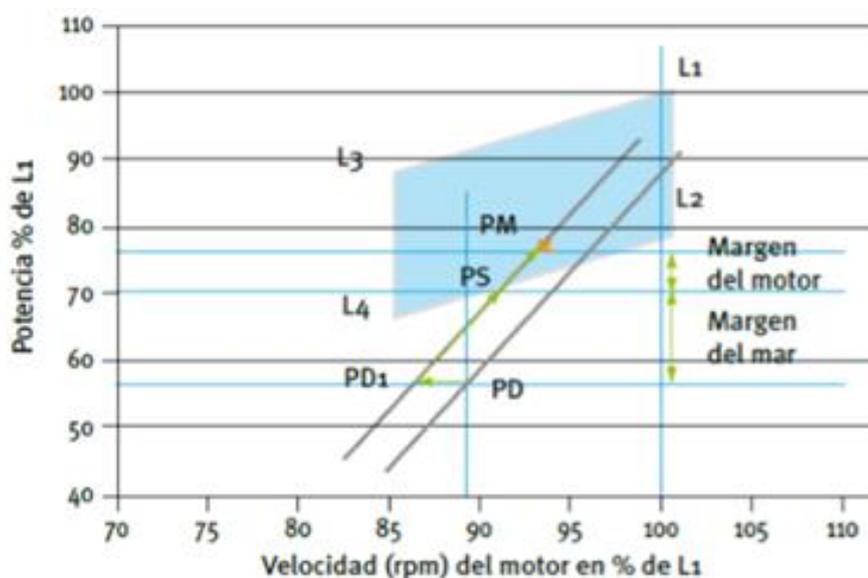


Por esto, el valor de potencia requerido debe aumentarse en el llamado margen de mar, que normalmente se sitúa en el 15% de PD, obteniendo así el punto PS (punto de servicio continuo).

Además, el motor no debe operar siempre a su potencia máxima. Por este motivo, es necesario definir de qué margen se desea disponer (normalmente un 10%) y añadir el mismo al valor de PS, obteniendo finalmente el punto PM (potencia máxima continua) de operación del motor.

Los distintos puntos de operación de las posibles condiciones de navegación del buque, calculados de este modo, han de presentarse dentro del paralelogramo de diseño del motor (definido por los puntos L1, L2, L3 y L4), es decir, dentro de la zona de consumo específico mínimo del motor (o rendimiento óptimo).

El motor seleccionado para una hélice definida (la que presente mejor rendimiento para el conjunto de todos los puntos de operación o para el punto de operación más frecuente), se ha de comportar para todos los puntos de operación del buque entre el 70 y el 90% de su potencia nominal (MCR).



*Punto de diseño del propulsor del buque en relación al paralelogramo de diseño de un motor diesel.*

Además de los parámetros de selección del motor, hay que señalar que el mantenimiento del mismo es fundamental para mantener su óptimo rendimiento y mínimo consumo.

Los períodos de rodaje y las revisiones de mantenimiento especificadas por el fabricante deben ser respetados escrupulosamente, así como debe consultarse a un técnico especializado en caso de detectarse cualquier mal funcionamiento en el mismo.

Como ejemplo, puede presentarse la comparación de dos motores similares propulsando la misma embarcación a su máxima potencia, uno de ellos sometido al mantenimiento necesario y otro sin ningún tipo de atención; los consumos de este último doblaron los del primero y la velocidad alcanzada por la embarcación fue menor.

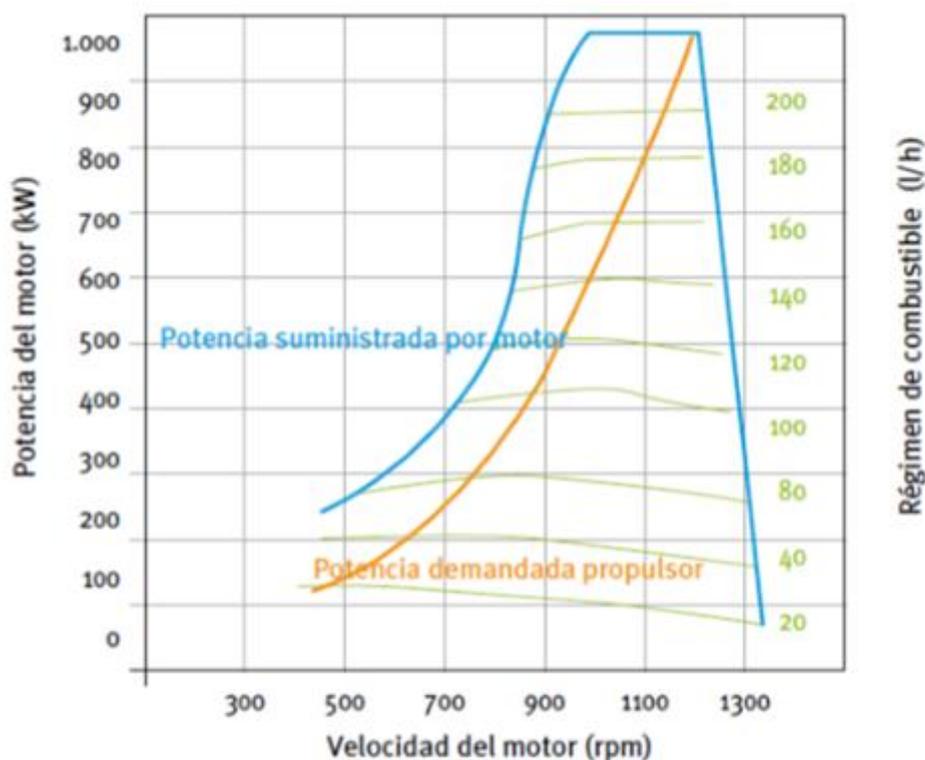


- Hélice propulsora: rendimientos según los tipos de propulsores y sus condiciones de funcionamiento. La selección del tipo de propulsor responde a criterios operacionales:
  - Versatilidad de operación: para condiciones muy diferentes de operación se recomiendan hélices de paso controlable.
  - Estados de operación constantes y prolongados: se recomiendan hélices de paso fijo, ya que presentan mejores rendimientos que las de paso controlable en su condición de diseño.
  - Grandes demandas de empuje a bajas velocidades (por ejemplo, en arrastreros): se recomienda el uso de toberas.

La combinación de opciones puede conducir a resultados adecuados, siempre que se determinen con cierta aproximación las condiciones deseadas de operación. Es de destacar que la conveniencia del empleo de toberas, no se limita sólo a la consideración de criterios propulsivos (incremento de empuje a bajas velocidades frente a las hélices convencionales) sino también al incremento de resistencia al avance.

El incremento de resistencia al avance que produce una hélice con tobera frente a una hélice sin ella se traduce en un incremento de la potencia propulsiva necesaria.

Por tanto, para que resulte rentable la instalación de una tobera, el incremento de empuje que proporciona la hélice con tobera ha de ser muy superior al incremento de la resistencia al avance que genera.



*Potencias desarrolladas por un motor de 1.300 CV y revoluciones variables (líneas azules), frente a la potencia demandada por el propulsor (líneas naranjas).*



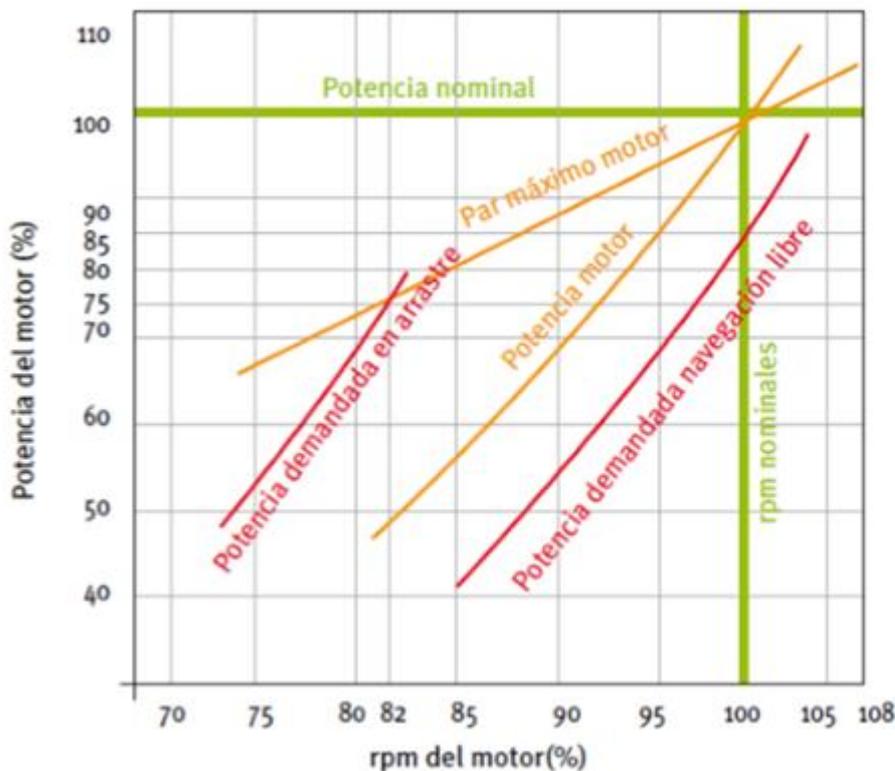
- Correcta integración propulsor motor-línea de ejes: la dificultad de integración de hélice y motor radica en el diferente comportamiento de la hélice y el motor entre potencia y par. La hélice proyectada ha de regirse por una curva de demanda de potencia por debajo de la suministrada por el motor (evitando la sobrecarga), pero lo suficientemente cerca de ella como para operar en puntos dentro del paralelogramo de diseño del motor (zona de consumo específico mínimo) y con valores aceptables de rendimiento.

Un motor sobredimensionado, actuando regularmente muy por debajo de su potencia máxima continua, no sólo tiene en sí mismo peor rendimiento, sino que en ese punto de operación, la hélice tendrá un rendimiento inferior al óptimo, produciéndose una caída en el rendimiento por una doble vía (considerando además los mayores costes de adquisición y de mantenimiento de un motor de mayor potencia).

Una posible solución en buques con condiciones muy diferentes de operación durante tiempos significativos (tales como los palangreros, virando aparejo la mitad de la marea a bajas velocidades y largando y en navegación libre a velocidades altas) es la propulsión diesel-eléctrica

En el caso de buques que presentan claras diferencias en los requerimientos de tiro según la condición de operación, la utilización de hélices de paso variable puede resultar la mejor alternativa.

La ley que sigue una hélice de paso fijo cambia según la condición de carga en la que se encuentre, lo que se convierte en un problema en aquellos buques con condiciones de operación con cargas muy diferentes.



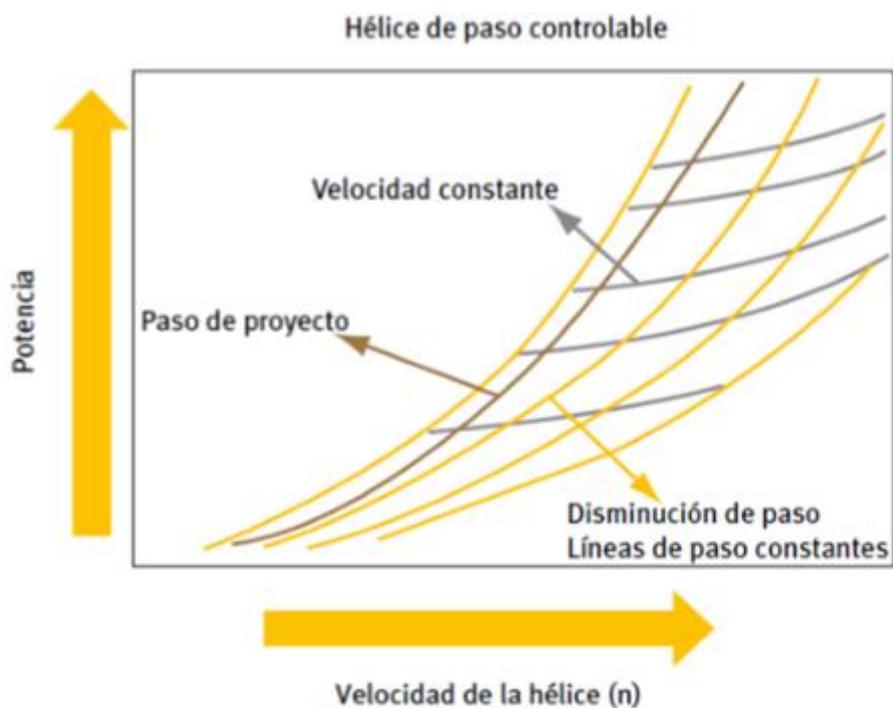
*Ley de potencia demandada por la hélice para distintas condiciones de navegación en un arrastrero con hélice de paso fijo.*



En la figura se muestra el comportamiento de una hélice de paso fijo optimizada para navegación libre. En esa condición, la hélice demandaría el 85% de la potencia nominal del motor al 100% de las revoluciones del mismo, situándose la potencia demandada por debajo de la suministrada por el motor (a la derecha). En condición de arrastre, sin embargo, la ley de potencia demandada por el propulsor se desplazaría hacia la izquierda, de manera que se demandaría el par máximo proporcionado por el motor al 75% de sus revoluciones; esto significaría que estaríamos desaprovechando el 10% de potencia del motor durante toda la condición de arrastre, además de la pérdida de rendimiento de la hélice durante esa condición.

En las hélices de paso controlable y teniendo en cuenta que cada valor del paso implica una nueva ley del propulsor, podremos seleccionar el mismo de modo que para condición de velocidad y potencia, el motor funcione de modo más eficiente que en el caso de paso fijo. Con los propulsores de paso variable, el motor funciona siempre a revoluciones constantes, lo que a su vez tiene una serie de ventajas:

- Posibilidad de utilización de un alternador de cola.
- Disminución del sufrimiento mecánico del motor.
- Menores costes de mantenimiento en plazo.
- Las emisiones de NOx descienden considerablemente para motores de potencia moderada si funcionan a revoluciones constantes; esta reducción en algún caso puede llegar hasta el 80% en emisión volumétrica frente a los motores que funcionan con revoluciones variables.



*Comportamiento de una hélice de paso variable según las distintas opciones de variación de paso de pala.*



La principal desventaja de una hélice de paso variable reside en que el rendimiento a igualdad de condiciones que una hélice de paso fijo (diámetro, relación de áreas y paso) es menor, por lo que si la hélice de paso variable no está adecuadamente ajustada al tren propulsivo, o bien las condiciones de operación no presentan cambios de carga importantes o durante tiempos considerables, la pérdida de rendimiento con respecto a la hélice de paso fijo puede desaconsejar su instalación. Asimismo, es un sistema de mayor coste que el de paso fijo.

Por esa razón, es muy importante definir los estados reales de operación del buque, ya que en base a ellos se definirá aquel para el que calcularemos la optimización de la hélice.

La hélice seleccionada deberá tener junto con el motor puntos de operación con rendimientos aceptables, aunque a menudo se consideran soluciones de compromiso.

La hélice más adecuada será aquella que en el punto de operación seleccionado (más usual o exigente en potencia, según el criterio) alcance el empuje propulsivo demandado con el mayor rendimiento posible, esto es, la relación entre el empuje producido y la potencia demandada por la hélice.

Será necesario un correcto mantenimiento y cuidado del propulsor. De nada sirve disponer del propulsor óptimo si este se encuentra sucio o deteriorado.

El esfuerzo que requiere este mantenimiento es relativamente pequeño, sobre todo en embarcaciones menores, en que la hélice puede mantenerse fuera del agua cuando éstas se encuentran en puerto y los beneficios que se obtienen son muchos, ya que la presencia de incrustaciones o deterioro puede incrementar el consumo debido a la pérdida de rendimiento en hasta un 10%.



### 3.5. CONSUMIDORES PRINCIPALES Y MOTORES AUXILIARES.

La optimización energética del buque pesquero, tal y como se ha dicho, pasa además por un dimensionamiento eficiente no sólo de la planta propulsora, sino también para la planta de generación eléctrica.

La predicción de las necesidades de energía eléctrica depende en gran medida de la definición de las condiciones de operación, tanto en tiempo como en determinar qué equipos operan y en qué régimen. Esta estimación es la empleada en los balances eléctricos de proyecto. Sin embargo, la falta de correspondencia con los equipos realmente instalados y los usos de los mismos, provoca no pocos desajustes en los rendimientos operacionales de la planta eléctrica.

- Selección de auxiliares:

El Protocolo de Torremolinos obliga a instalar dos grupos electrógenos (uno puede ser un alternador de cola), que sean capaces de mantener independientemente el suministro eléctrico al buque, excluyendo las necesidades eléctricas propias de la operación pesquera. La disposición de cámara de máquinas de aquí derivada puede variar mucho, siendo función del tipo de actividad que realice el buque, del tipo de propulsor y de características del régimen del motor principal. Como máxima, se puede indicar que en una planta propulsiva diesel convencional, cuanto más adaptadas estén las capacidades de los motores a las de los consumos reales demandados, más eficiente será la planta.

En este sentido, es aconsejable, para buques con motores principales diesel que trabajen a revoluciones constantes, instalar un alternador de cola movido por el motor principal, ya que el incremento de consumo que le supone al motor principal el aumento de carga para generación eléctrica, es menor que el consumo de otro motor auxiliar (e incluso más recomendable si consideramos el coste de adquisición y de mantenimiento de otro motor).

En el caso de generación eléctrica mediante un motor principal que opere a revoluciones variables, el ahorro conseguido por kW eléctrico generado frente al diesel generador auxiliar, será menor que en caso del motor a revoluciones constantes, además de presentar problemas de regulación.

Como ejemplo del ahorro comentado, supongamos un buque cuya condición de navegación demanda para propulsión menos de la mitad de la potencia nominal propulsora instalada en el buque. El buque lleva instalado un motor auxiliar de 120 CV y un alternador de cola de 120 CV acoplado al motor principal. Si el buque en esa condición de navegación necesita generar además de la potencia propulsiva una potencia eléctrica de 120 CV, pueden emplearse dos alternativas: o la produce el motor principal a través del alternador de cola (produciéndose un incremento de consumo en el motor principal) o bien es generada por el motor auxiliar (con el consumo que esto implica en el mismo). Si se compara el incremento de consumo en el principal con el consumo del auxiliar para generar los 120 CV eléctricos demandados, se obtienen los siguientes resultados:



*Comparativa del coste de generación eléctrico en un buque cuya condición de navegación demanda menos de la mitad de la potencia propulsora instalada en el buque con una demanda de potencia eléctrica de 120 CV*

Generación de Potencia Eléctrica				
Alternativas de Generación		Potencia Nominal (CV)	Consumo (l/h CV Eléctrico)	Diferencia (%)
Motor Auxiliar		120	0,2	15
Motor Principal + Alternador de Cola	Motor Principal	1.300	0,17	
	Alternador de Cola	120		

Como se puede apreciar, es claro el ahorro que se obtiene mediante el uso de un alternador de cola en este tipo de situaciones.

La instalación de un alternador de cola proporciona también mayor versatilidad, al poder acoplarlo o desacoplarlo del motor principal.

Así, en caso de ser necesario aprovechar toda la potencia del motor principal o para mantener su funcionamiento dentro de la zona de rendimiento óptimo, se podría sustituir el uso del alternador de cola por el de un auxiliar o a la inversa. Esto es importante en buques que necesitan disponer de gran versatilidad de operación, como por ejemplo arrastreros que pueden actuar a la pareja o solos.

En el primer caso, es posible que un aumento de carga en el motor principal mejore el rendimiento del motor, mientras que en el segundo, puede ser necesaria la utilización de toda la potencia disponible para la propulsión.

El sobredimensionamiento de los motores auxiliares presenta el mismo problema de alejamiento del rendimiento óptimo que se ha descrito en los motores principales.

Es muy importante ajustar la potencia de los mismos a los requisitos reales del buque, de manera que operen la mayor parte del tiempo en su régimen de rendimiento óptimo.

- Consumidores principales.

A continuación se describe, para los equipos consumidores más habituales, su peso relativo respecto a la potencia total de consumidores instalados y el consumo máximo que supone cada uno sobre el total de potencia eléctrica consumida en una condición de navegación:

- En arrastreros, el principal consumidor serán las maquinillas y el tambor del equipo de pesca, que a menudo suponen más del 50% de la potencia en consumidores instalada (potencia equipo/potencia total de consumidores instalados, en adelante, de la potencia instalada). Su peso relativo de consumo puede llegar al 60% de la potencia eléctrica total consumida en la condición de faenando.
- Equipos de climatización (con resistencias): su potencia nominal alcanza el 12% de la potencia total de consumidores en el buque; su consumo relativo llega al 20% para alguna condición de navegación.



- Iluminación: a pesar de que su peso relativo en la potencia nominal instalada es bajo, alrededor de un 5%, alcanzan consumos relativos de hasta un 17% para alguna condición de navegación. Es un consumidor dependiente de las dimensiones del buque y en gran medida también del tipo de faena.

Hay que resaltar que uno de los principales consumidores en este apartado son los proyectores de iluminación de cubierta de trabajo.

- Túneles de congelación: su potencia nominal supone un 7% de la potencia total instalada. Sin embargo, su peso relativo (depende en gran medida de sus dimensiones) puede suponer hasta un 16% de la potencia total consumida en alguna condición de navegación.
- Los compresores de bodega suponen alrededor de un 5% de la potencia total instalada. Su peso relativo de consumo en condición de navegación alcanza el 15% y dependen de las dimensiones de la bodega.
- Distintos equipos conectados a la red: representan hasta un 4% de la potencia total de consumidores, pero llegan a alcanzar el 14% del total del consumo eléctrico. Son difíciles de controlar; un caso muy habitual es el de radiadores o estufas constantemente conectados.
- Maquinillas eléctricas de carga: representan aproximadamente el 4% de la potencia total de consumidores, pero llegan hasta el 10% de la energía consumida en alguna condición de navegación.
- Equipos hidráulicos: aquellas bombas hidráulicas que accionan escotillas, rompeolas, pastecas, cintas transportadoras, grúas... suponen alrededor de un 3% de la potencia total instalada. Sin embargo, alcanzan valores en alguna condición de navegación del 10% del consumo eléctrico.
- La cocina: supone alrededor del 3% de la potencia total de consumidores instalada. Su peso relativo de consumo en alguna condición de navegación puede llegar al 10% de la potencia eléctrica total consumida.



*Equipo hidráulico en la cubierta de un arrastrero medio.*



*Cocina de un palangrero de altura.*



- Integración del tren propulsivo en la generación de potencia eléctrica y accionamiento de equipos.

La optimización energética de la cámara de máquinas pasa por la integración entre producción de energía eléctrica, propulsiva y consumidores principales, para lo cual es importante disponer de la lista de equipos principales y su condición de operación.

El objetivo final se orienta hacia el máximo aprovechamiento de la potencia producida, minimizando sus costes iniciales y de operación (número de motores, potencia disponible instalada infrautilizada,...).

La mayor eficiencia de equipos particulares considerados aisladamente, puede quedar desvirtuada si éstos no se integran con los demás consumidores del buque durante el tiempo de operación.

Por ejemplo, se presenta el caso de la elección entre maquinillas de arrastre eléctricas accionadas desde un generador auxiliar o maquinillas hidráulicas accionadas por el motor principal. Las primeras se presentan, en principio, como de mayor rendimiento frente a las hidráulicas. Sin embargo con estas últimas, al mejorar el rendimiento del motor principal para esa condición, se obtienen menores consumos que con las maquinillas eléctricas.

No todos los equipos son igualmente sensibles a los cambios de revoluciones del motor que los acciona. A menudo, resulta rentable la instalación de sistemas de control que ajusten las revoluciones transmitidas según la carga del motor (haciéndolas independientes), de manera que los equipos actúen siempre en condiciones óptimas de operación. Esto supondrá además un menor coste de mantenimiento.

El espacio disponible en cámara de máquinas resulta determinante a la hora de definir una cámara de máquinas integral. Sin embargo, es necesario recordar que el espacio disponible también es dependiente del consumo, ya que éste define la autonomía y el tamaño de tanques necesario y que, finalmente, también incide en el espacio disponible.



## 3.6. REQUISITOS ENERGÉTICOS SEGÚN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN.

### 3.6.1. ESTADO DE OPERACIÓN EN LOS BUQUES PESQUEROS.

Conocer los distintos estados de operación del buque de pesca durante las mareas es un factor fundamental, tanto para el dimensionamiento adecuado de equipos y motores, como para la optimización de procesos.

Las distintas condiciones de navegación se pueden definir con los siguientes parámetros:

- Velocidad de operación.
- Tiempo invertido relativo a la totalidad de la marea.
- Carga del motor principal requerida (por velocidad, tiro o régimen de operación de otros equipos movidos por el motor principal en esa condición...).
- Condiciones del propulsor (revoluciones, paso de pala, etc.).
- Régimen de operación de los consumidores principales en esa condición.

Muchas de las características de las condiciones de operación están definidas por la propia actividad pesquera a realizar (por ejemplo, velocidad durante el arrastre). Sin embargo, otras pueden ser variables según el criterio a adoptar.

#### Operación. Tiempos relativos de condiciones de navegación por marea.

Las necesidades energéticas demandadas por los buques son función de su actividad, por lo que encontraremos grandes diferencias entre los buques de litoral y los de altura.

A menudo, buscando mayor versatilidad en el buque construido, éste se sobredimensiona (tanto en potencia como en dimensiones principales) en previsión de un cambio en la ubicación de la actividad (arrastreros de litoral y altura, por ejemplo), o en su operatividad (arrastreros trabajando a la pareja o solos).

El resultado obtenido es un buque ineficiente energéticamente durante gran parte de su vida útil.

En general, podemos definir las siguientes condiciones de operación para cualquier pesquero:

- **Navegación libre:** navegación al caladero o desde el caladero hacia el puerto. Su peso relativo respecto a la totalidad de la marea, tanto en tiempo como en coste de combustible, dependerá en gran medida de si el buque es de altura o de bajura.

Como datos orientativos, es necesario apuntar que para buques del día de bajura, con travesías a caladeros situados a distancias de la costa de 24 millas, la cantidad relativa de tiempo empleado por marea está alrededor de 30%, un 50% del combustible consumido para propulsión por marea.

Para buques de altura, con mareas de 18 días faenando en caladeros a 315 millas de la costa, se invierte un 15% del tiempo total de la marea. Sin embargo, debido a los requisitos de velocidad que caracterizan a esta condición (dependientes de la potencia del motor y dimensiones del buque) y que oscilan entre 8 y 11 nudos, es una condición en la que se consume un porcentaje muy significativo del total invertido en la propulsión (entre un 25 y un 50%).



En cualquier caso, es una condición claramente modificable para alcanzar mayores ahorros energéticos. El parámetro más importante será la velocidad. Es necesario definir cuál ha de ser la velocidad más adecuada en travesía.

En esta condición se recomienda como premisa fundamental que el motor opere lo más cerca posible del 85% de su potencia nominal, para que opere con el mejor rendimiento posible; sin embargo, habrá que considerar más factores, como disponer de más tiempo para faenar, frente al mayor consumo específico derivado de actuar con el motor a menor rendimiento.

Siguiendo con los casos anteriores, veamos qué supone para un buque que navegue en travesía a 9 nudos, un incremento de la velocidad de 2 a 11 nudos.

En el caso del buque de bajura, aumentaría en un 6% el tiempo disponible para faenar (en caso de un buque de día, dispondría aproximadamente de una hora y 20 minutos más para faena). Ese incremento de tiempo disponible supondría un incremento de consumo total por marea de un 18%.

En un buque de altura, pasar de 9 a 11 nudos supone un incremento total de combustible consumido por marea para propulsión de un 10%, mientras que el tiempo disponible para labores de pesca pasaría a incrementarse en un 3% (medio día de más disponible para faenas de pesca, para una marea de 18 días).

Por tanto, la valoración de cambio de velocidad habrá que tomarla considerando no sólo el incremento en los costes de operación, sino también la rentabilidad del incremento de la oportunidad de aumentar las capturas o de obtener una mejor venta de las mismas.

• **Largando aparejo:** las características de esta maniobra varían de acuerdo al arte que se emplee (los palangreros largan a velocidades altas y los arrastreros a baja velocidad). A esta actividad se puede destinar entre un 6 y un 15% del tiempo total por marea.

El peso de combustible se encuentra entre un 2 y un 23%, dependiendo del arte de pesca. En aquellos pesqueros en los que esta condición se desarrolla a alta velocidad, es necesario tener en cuenta lo indicado en la condición de navegación libre: moderar la velocidad manteniéndonos en valores aceptables de rendimiento del motor principal.

• **Virando aparejo:** esta condición, al igual que la anterior, es muy dependiente del arte y modo de operación utilizado durante la faena de pesca. Así, puede suponer hasta el 65% del tiempo total de la marea, o apenas llegar al 5%. Se desarrolla normalmente a velocidades bajas (alrededor de 2 nudos), por lo que el consumo dependerá en gran medida de las dimensiones y formas del buque.

• **Arrastrando:** los arrastreros suponen el 13% de la flota española. En su actividad, la condición de arrastre es fundamental. Esta maniobra supone entre el 55 y el 70% del tiempo total de la marea. Sus exigencias de velocidad son bajas (entre 2 y 4 nudos) y las demandas de tiro altas (entre 2,5 y 6 toneladas), dependiendo de si realizan su operación a la pareja o individualmente.

Esta condición de navegación es muy comprometida para los buques, ya que en ella se consume entre el 50 y el 70% del total de combustible para propulsión por marea.

Su correcta estimación en el proyecto y su correspondencia con la realidad implica que el motor, el propulsor y su conjunto, presenten rendimientos optimizados. La falta de correspondencia de las condiciones reales de operación con las proyectadas, lleva en numerosas ocasiones a actividades ineficientes con trenes propulsivos que no se corresponden con las necesidades reales.



Por todo lo anterior, es muy recomendable antes de cambiar el tipo de actividad proyectada para el buque, analizar los nuevos requisitos de arrastre y cómo actuar sobre los motores y equipos implicados para maximizar el rendimiento del conjunto.

Como guía general, es importante tener en cuenta que el hecho de que el motor principal no esté operando de forma eficiente (dentro del margen de potencia oportuno) llevará a sobrecostes, por lo que en caso de demanda inferior o superior de potencia, habrá que considerar medidas correctoras (por ejemplo, que el motor mueva un alternador de cola o ajustar adecuadamente la velocidad en arrastre).

Habitualmente, el exceso de consumo por marea en arrastreros (hasta un 10%), se debe a una mala selección de la velocidad de operación y del paso en las hélices de paso variable durante la condición de arrastre, en la que el empuje demandado es grande y la velocidad de avance es baja. En esta condición, el rendimiento de la hélice, a las revoluciones constantes del motor, aumentará disminuyendo el paso (y por lo tanto la potencia demandada al motor será menor).

Si la condición de navegación cambia a una con velocidad elevada y empuje demandado menor, el rendimiento de la hélice se mantendrá aumentando el paso.

### 3.6.2. VARIACIÓN DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SEGÚN LA CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN.

La condición de navegación que más energía eléctrica demanda es la condición de faena (principalmente virando), ya que a los consumos propios de la condición de navegación libre hay que añadirle los propios de los equipos de faena, frío e iluminación exterior, tales como:

- Maquinaria de cubierta (maquinillas, pastecas, tambores, haladores, chigres, grua...).
- Maquinillas de carga y descarga.
- Centrales hidráulicas para accionamiento de escotillas, grúas,...
- Bombas del parque de pesca.
- Equipos de frío. Bodegas refrigeradas, túneles de congelación, etc.
- Iluminación exterior. Proyectores.

Dependiendo del tipo de actividad, su tipo de operación y disposición de cámara de máquinas, la diferencia de demanda de energía eléctrica entre condición de navegación y faenando, suele ser considerable.

Normalmente, el proceso de virado tiene lugar a baja velocidad. Si esto significa que el motor principal desarrolla potencias muy por debajo de la nominal, es recomendable aumentarla mejorando el rendimiento del motor, acoplándole un alternador de cola o moviendo las maquinillas desde el principal, de manera que el aumento de demanda de energía equilibra la deficiencia de potencia propulsiva.

Además de los consumidores propios de la condición de faena ya mencionados, el resto de consumidores principales presentan una demanda bastante uniforme a lo largo de todas las condiciones de navegación, tales como: cocina, compresores de gambuzas, equipos de climatización (compresor y resistencias), equipos enchufados (especialmente radiadores y estufas) e iluminación interior.



*Halador hidráulico a bordo de un palangrero.*



### 3.7. ALTERNATIVAS DE AHORRO ENERGÉTICO.

En las secciones anteriores se han abordado las medidas de ahorro energéticas relativas a la propulsión y generación de energía. Si bien estos son los principales consumidores, existe un conjunto de medidas adicionales que permiten mejorar el rendimiento energético del buque actuando sobre otros puntos.

La necesidad de mejorar el rendimiento energético de los buques debido al incremento del precio del combustible ha hecho que durante la última década hayan surgido diversos sistemas tanto para aprovechar el calor residual como para mejorar el rendimiento de los existentes. Las limitaciones de empacho y volumen en los buques de pesca, así como el grado de desarrollo de algunas de estas soluciones, limitan la incorporación de estas tecnologías.

Las medidas que se analizan en este apartado implican un conjunto de pequeños ahorros que juntos, pueden constituir un ahorro significativo. Sin embargo, para que estos sistemas sean efectivos, es necesario involucrar a toda la tripulación en el propósito del ahorro energético y ser conscientes del coste de la energía que se utiliza a bordo.

Para analizar la influencia de las distintas medidas sobre el consumo energético es necesario, en primer lugar, analizar el reparto de los principales consumidores a bordo.

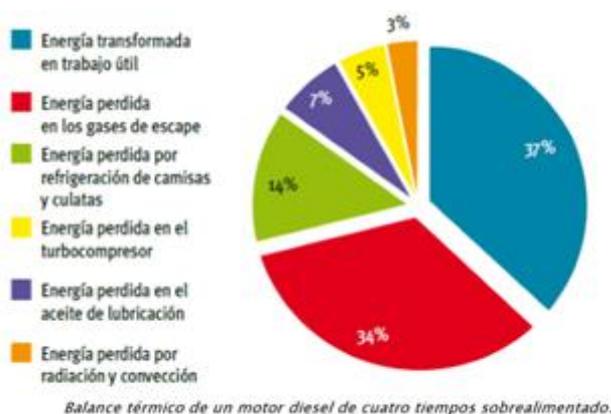
Es importante tomar conciencia de la influencia relevante que tiene el correcto hábito de empleo de los consumidores energéticos en la gestión eficiente de la energía.

#### 3.7.1. APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL.

El rendimiento de un motor diesel turboalimentado se sitúa por debajo del 40%. Esto implica que, en torno al 130% de la energía útil para la propulsión se emite en forma de calor a través de los gases de escape, el agua de refrigeración y mediante radiación y conducción al ambiente. Hay que señalar que este calor no puede aprovecharse en su totalidad debido a diversas consideraciones, entre las que se encuentra que los gases de escape no pueden enfriarse por debajo de la temperatura de condensación del vapor de agua, para evitar la aparición del ácido sulfhídrico, o la dificultad de extraer el calor radiado y emitido por convección.

Incluso considerando estas restricciones, es evidente que existe una importante fuente de calor que, de una forma sencilla, puede aprovecharse a bordo.

En el caso del agua de refrigeración, la temperatura aproximada de salida de la misma en un motor propulsor de 1.200 CV a 1.000 rpm, es de unos 90°C en el circuito de alta temperatura y de 50°C en el de baja temperatura.



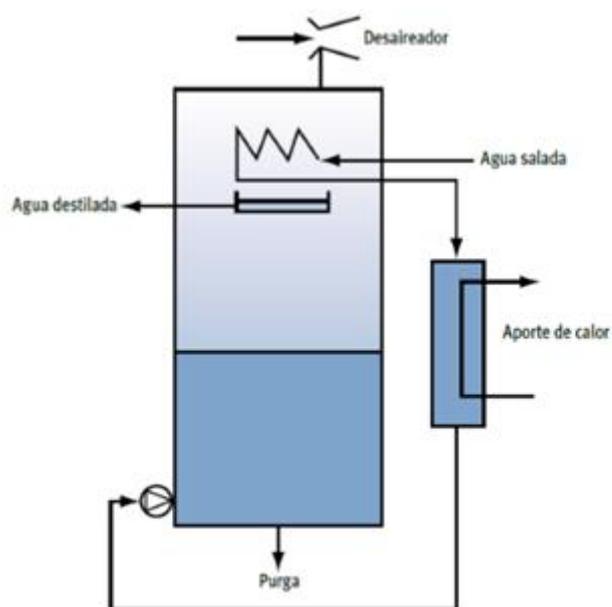


Así pues, la energía residual generada puede ser empleada como foco caliente en intercambiadores de calor de equipos que proporcionen servicios al buque.

Un ejemplo de este tipo de aplicaciones sería su empleo en las plantas de desalinización, mediante destilación multietapa para el servicio de agua potable.

La sustitución de una planta de ósmosis por una de destilación utilizando energía residual (suponiendo cubiertas las necesidades térmicas por la energía residual del motor principal), supondría un ahorro de “coste energético eléctrico” aproximado del 80% en kWh/m<sup>3</sup> (una planta de ósmosis inversa en un buque de 16 tripulantes supone un consumo continuo de unos 3,5 kW).

Otra de las alternativas es la utilización de los gases de escape. Éstos poseen una energía calorífica residual que puede ser empleada ya que, por ejemplo, la temperatura de los gases de escape de un motor diesel de 1.200 CV a 1.000 rpm, alcanza los 300°C. En este caso, como se ha dicho, hay que ser cuidadoso con el salto térmico que van a experimentar los gases si actúan como foco caliente (por debajo de 160°C se produce la condensación del ácido sulfúrico, altamente corrosivo).



*Sistema de destilación por expansión brusca de líquido saturado.*

Este salto térmico, de unos 140°C (aunque condicionado por el flujo y capacidad calorífica de los gases de escape), define una potencia calorífica que puede ser empleada en un sistema de calefacción para habitación, con aceite térmico o agua (la temperatura del agua necesaria para un sistema de calefacción convencional está entre 60 y 80°C), mediante el uso de un intercambiador de calor.

En todo caso, cuando el motor actúe a baja potencia, sin alcanzar sus gases de escape la potencia calorífica necesaria para calentar el fluido, tendría que emplearse un calentador auxiliar. Por tanto, la conveniencia del aprovechamiento de los gases de escape está regida en gran medida por la potencia desarrollada por el motor y su continuidad en el tiempo.

Es necesario destacar que un equipo de aire acondicionado con resistencias eléctricas, supone unos 33 kW (para una habitación de hasta 16 personas en un buque de 36 m de eslora), por lo que cualquier posibilidad de ahorro en esta dirección debe ser tomado en consideración.



### 3.7.2. AHORRO ENERGÉTICO EN LA HABILITACIÓN.

Los ahorros que se pueden alcanzar en los equipos eléctricos de habilitación son considerables, sobre todo en lo referente a los siguientes consumidores:

- Iluminación interior: además de los posibles beneficios por correctas costumbres de usos de la iluminación, es necesario considerar la utilización de luminarias de bajo consumo. Así, la diferencia de consumos entre una luminaria convencional y una de aquellas se sitúa en torno al 80%. Por este motivo, y a pesar de tener mayor coste inicial, las luminarias de bajo consumo se amortizan en períodos de tiempo relativamente cortos. El tipo de luminaria de bajo consumo más adecuado para su uso a bordo, debido a la mejor distribución lumínica y el ahorro que proporcionan frente a luminarias convencionales, son los tubos fluorescentes.
- La cocina: se constituye como el principal consumidor no esencial del buque pesquero debido a su elevado porcentaje de utilización. Debido a los diferentes turnos de trabajo de la tripulación, la cocina está prácticamente siempre en funcionamiento. En este sentido, podemos indicar ahorros superiores al 10% en el uso de cocinas por inducción frente a placas eléctricas convencionales.
- Otros consumidores eléctricos: cualquier equipo eléctrico presente en la habilitación ha de ser utilizado correctamente, desconectándolo en caso de no utilizarse (no en modo stand-by).

Es destacable el caso de las estufas y radiadores eléctricos (con un consumo muy alto, a menudo por encima de 1 kWh). Se recomienda el uso de aparatos de calefacción con termostato y no direccionales para camarotes, evitando en la medida de lo posible calefactores por resistencias.

### 3.7.3. EQUIPOS DE FRÍO.

Entre los equipos de frío, presentes normalmente a bordo de los buques de pesca, destacan por su consumo energético las bodegas refrigeradas, los túneles y los armarios de congelación, los generadores de hielo y las gambuzas refrigeradas.

Algunas consideraciones generales en este tipo de equipos son:

- Verificar el correcto funcionamiento de los termostatos. Entre los motivos que pueden producir este mal funcionamiento se encuentra la presencia excesiva de hielo formado en espacios refrigerados, que debe ser evitada.
- Controlar la temperatura de las instalaciones en función de la temperatura exterior (menos frío en el interior de los equipos para temperaturas ambientales bajas reduce el tiempo de operación).
- El calor liberado por la instalación no ha de tener barreras en su disipación, evitándose así la sobrecarga de la misma.
- Minimizar en la medida de lo posible el contacto directo entre el interior del equipo y el ambiente externo, ya que esto aumenta la energía consumida para preservar las condiciones taradas. En este sentido, se ha de verificar la eficacia de los medios de cierre para evitar fugas.
- En este caso el tamaño será también relevante en el consumo. Una correcta adecuación del tamaño a las necesidades reales tendrá consecuencias evidentes en el ahorro energético.

Otro factor a considerar es la conveniencia de emplear el equipo de generación de hielo a bordo o adquirir el hielo en puerto, para aquellos buques que presenten posibilidad de ambas alternativas (tanto porque tienen generadores de hielo a bordo y posibilidad de mantenimiento del hielo a bordo como por su tiempo de marea). En este aspecto es importante tener en cuenta que la generación de hielo a bordo sale un 60% más caro que adquirirlo en puerto.



### 3.7.4. OTROS EQUIPOS.

A bordo del buque de pesca se dispone de un elevado número de equipos y servicios que debido a requerimientos de seguridad u operatividad han de estar siempre en funcionamiento durante la navegación, tales como el servicio de comunicaciones, la ventilación de la cámara de máquinas o el servomotor.

Sin embargo, es necesario considerar qué equipos conectados no esenciales son realmente utilizados en el momento que están encendidos, tales como radiadores, televisores y otros electrodomésticos. Es muy importante evaluar qué equipos son realmente necesarios cuando el buque se encuentra atracado a puerto (cuando existe personal a bordo), teniendo en cuenta que muchos de los equipos esenciales durante la navegación dejan de serlo.

El ahorro con estas medidas es relativamente pequeño frente a otras. Sin embargo introduce un elemento muy importante, que es involucrar a toda la tripulación en la tarea del ahorro energético, dando una medida del coste de la energía a bordo.



### 3.8. EXPERIENCIAS INNOVADORAS.

Además de las opciones ya descritas para el ahorro de combustible, existe una serie de nuevas alternativas a la propulsión convencional y que en muchos casos pueden proporcionar al armador sustanciales ahorros en sus costes de operación y, al mismo tiempo, mejoras en lo que se refiere a contaminación atmosférica.

Son una serie de experiencias innovadoras que pueden formar parte del futuro inmediato de la propulsión de los buques de pesca.

#### 3.8.1. UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS. COMBUSTIBLES GASEOSOS (GLP + GNL).

Como se ha visto en apartados anteriores, los principales combustibles utilizados en la actualidad (y casi exclusivamente), son el gasóleo y la gasolina (en embarcaciones de esloras reducidas y en motores fuera borda).

Sin embargo, y debido al enorme crecimiento que ha experimentado el precio de ambos productos, se han iniciado proyectos para la utilización de otro tipo de combustibles para la propulsión de buques y embarcaciones de pesca, más económicos que los anteriormente citados.

Ejemplos de este tipo de experiencias son el uso de combustibles gaseosos, como el GLP (Gas Licuado de Petróleo) o el GNL (Gas Natural Licuado).

El gas natural está compuesto principalmente de metano, siendo menos denso que el aire. Para su transporte se adoptan dos estrategias diferenciadas. Por un lado, la compresión en tanques a temperatura ambiente (a presiones de hasta 240 atm) y por otro, el transporte refrigerado a unos  $-160^{\circ}\text{C}$  en tanques criogénicos, a presiones de hasta 15 atm.

La reducción de volumen que se obtiene mediante la compresión es mucho menor que en el caso de tanques refrigerados, y por lo tanto la cantidad de gas que se puede transportar de este modo, en tanques de igual volumen, es muy inferior. Si a esto unimos que los tanques deben ser mucho más resistentes, y por tanto pesados, puede apreciarse que en el caso del gas natural, la refrigeración es el método de almacenaje más apropiado para su uso en buques.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP), es principalmente una mezcla de butano y propano, más densa que el aire y que se almacena a presión en estado líquido, a unas 15 atm.

En ambos casos existen dos claras ventajas frente a los combustibles tradicionales. Por un lado, en este momento ambos son más económicos que el gasóleo y la gasolina, y por otro, sus emisiones atmosféricas, y por lo tanto su influencia en el deterioro del medio ambiente, son mucho menores (reducciones de hasta el 85% de emisiones de  $\text{NO}_x$  y de hasta el 20% de  $\text{CO}_2$ ). Sin embargo, y por tratarse de combustibles gaseosos, presentan unos requerimientos de seguridad mayores y por tanto, una instalación sensiblemente más compleja, especialmente en el caso de los buques de mayor tamaño.

Aunque poseen unas características energéticas similares a las del gasóleo utilizado hasta ahora en la propulsión de buques pesqueros pequeños y medianos, el rendimiento de los motores con combustible gaseoso es ligeramente inferior a los que utilizan combustibles tradicionales.

Dado su carácter gaseoso, su instalación en buques precisa de un detallado análisis previo. Por un lado, su almacenaje no puede realizarse en los tanques estructurales en los que normalmente se dispone el gasóleo, y deben utilizarse tanques independientes situados adecuadamente dentro del buque. Por otro lado, los sistemas de control y seguridad, detección de gas y de incendios, son más complejos que en el caso de un buque convencional.



Hasta el momento, y motivado en gran parte por los factores anteriormente mencionados, la utilización de este tipo de combustibles no ha sido realizada en buques de pesca de mediano y gran tamaño, aunque, existen experiencias piloto para su uso en embarcaciones menores.

Sin embargo, la aplicación del GNL como combustible sí se ha realizado con éxito en buques de otro tipo, tanto mercantes como de pasaje, obteniendo ahorros en el combustible y, principalmente, mejoras medioambientales.

Esta alternativa normalmente se utiliza junto con un sistema de propulsión diesel-eléctrico, en la que los motores generadores utilizan como combustible GNL exclusivamente, o bien indistintamente GNL o gasóleo (motores duales), aunque también se utiliza la alternativa tradicional con línea de ejes, siendo el motor propulsor de alguno de estos tipos. En el caso del GLP, en parte debido a su mayor peligrosidad, mayor coste y menor reducción de las emisiones en comparación con el GNL, aún no se ha introducido como combustible para propulsión.

En el caso de las embarcaciones menores, la utilización de gases para la propulsión en motores fuera borda de gasolina adaptados es más habitual, especialmente en países de Latinoamérica. A nivel estatal existe una experiencia piloto, coordinada desde el CETPEC de Celeiro (Lugo), para la utilización de GLP en motores de este tipo.

La transformación de los motores de ciclo Otto (los de gasolina) a su uso con combustibles gaseosos, es mucho más simple que la de los motores de ciclo Diesel, y de hecho, se lleva practicando desde hace muchos años en otros sectores (transportes públicos o automóviles particulares).

Esta experiencia, hasta el momento, está resultando muy positiva. Los kits de transformación son muy sencillos de instalar, su mantenimiento es reducido, y la seguridad del sistema es similar e incluso superior al uso de gasolina. Teniendo en cuenta que los consumos del motor se encuentran en ambos casos en un rango muy similar, los ahorros que se obtienen por el uso del GLP son cuantiosos (superiores al 30%), debido a la diferencia de precio entre ambos combustibles

### 3.8.2. PROPULSIÓN MEDIANTE VELAS Y COMETAS.

La propulsión mediante velas ha sido, desde la antigüedad y hasta la aparición de la máquina de vapor, la única forma de propulsión de todos los tipos de buques existentes. Sin embargo, y debido a la dependencia de las mismas de los factores meteorológicos, fueron progresivamente viéndose sustituidas hasta su casi total desaparición, salvo en el caso de las embarcaciones de recreo, de competición y de algunos buques aislados, tanto de pasaje como de pesca.

Sin embargo, los ahorros energéticos que se pueden obtener mediante la propulsión a vela son muy grandes, de hasta un 80% en condiciones óptimas y en buques diseñados a tal efecto.

La máxima eficiencia obtenida de las velas se presenta cuando el buque ha sido diseñado específicamente para el uso de las mismas e, incluso en esos casos, presentan una serie de inconvenientes importantes, como por ejemplo, que es necesario una tripulación entrenada y dispuesta a realizar su manejo, la dependencia de las condiciones meteorológicas, la reducción de espacio en cubierta, etc.

En el caso de buques ya construidos, a los que se desee instalar velas, se presentan otra serie de cuestiones que deben ser estudiadas, como la reducción de estabilidad que produce la adición de pesos elevados y los pares escorantes generados por las velas, el equilibrado de las mismas, o el entorpecimiento de las maniobras de carga y descarga generado por la nueva jarcia. Hay que tener en cuenta, además, que las disposiciones generales de estos buques no suelen estar adaptadas a la instalación de velas.



Además de las velas de lona tradicionales existen otros sistemas, con una aplicación práctica mucho más reducida, pero que obtienen unos rendimientos superiores a éstas, como pueden ser los rotores Flettner, las turbovelas o las velas rígidas, aunque en todo caso son mucho más costosos que un sistema de velas de tejido tradicionales.

Como último sistema de propulsión eólico, mencionar la propulsión mediante cometas. Este sistema, de muy reciente implantación, se encuentra en la actualidad en fase de pruebas, con unos resultados muy prometedores.

Es un sistema auxiliar, que opera en conjunto con el motor propulsor del buque y que reduce la carga del mismo, rebajando sus consumos. Está compuesto por una gran cometa, que es la que genera la fuerza de arrastre, unida al buque mediante un carretel de sujeción y controlada mediante una unidad remota situada en la cometa. Para su correcto largado y recogida dispone de una pluma telescópica que se sitúa en la proa del buque y que se extiende para la realización de ambas maniobras.

Este sistema tiene una serie de ventajas claras frente a un sistema de velas convencional. En primer lugar, en lo que se refiere a su posible instalación en buques ya existentes, es que no es necesario un gran espacio para su instalación ni esta implica una gran dificultad o coste. Además, y dado que el punto de aplicación de la fuerza tractora está en cubierta, en crujía, la componente escorante de la misma es mucho menor que la generada en las velas tradicionales. Esto implica que la reducción de estabilidad que produce la utilización de este sistema será inferior a la que produce un sistema de velas convencionales.



*Buque de pesca con propulsión auxiliar mediante velas convencionales.  
Astilleros Mercurio Plastics, S.L.*

Teniendo en cuenta que su control es totalmente automático, no es necesario que la tripulación realice maniobras complejas ni esté entrenada al respecto.

Por último, remarcar que dado que las cometas vuelan a una altura elevada, el viento que utilizan es más estable y de una intensidad mayor que el que se encuentra al nivel del mar, obteniendo por tanto rendimientos más elevados.

Sin embargo, también presenta una serie de inconvenientes que conviene enumerar. En primer lugar, lo novedoso del sistema; aún requiere de un dilatado período de pruebas para asegurar un funcionamiento correcto y sin fallos. Y en segundo lugar, es un sistema que, al igual que las velas, depende enormemente de las condiciones meteorológicas y del rumbo que el buque desee mantener en cada momento. Asimismo, el coste de adquisición del sistema es sensiblemente superior al de las velas convencionales.



Además, al tratarse de buques de pesca, dependiendo del tipo de arte utilizada es posible que durante la faena no sea factible desplegar la cometa (por ejemplo en el caso de los buques de cerco o palangre).

En estos casos, las cometas serían utilizadas exclusivamente en los viajes de ida y vuelta al caladero.



*Sistema de propulsión auxiliar mediante cometas.  
© 2008 Skysails GmbH (www.skysails.de)*

Por el contrario, se trata de un sistema que puede ser muy útil en arrastreros durante la maniobra de arrastre, que es cuando se produce mayor consumo de combustible en este tipo de buques, y durante la que además, el buque navega a baja velocidad. Si además se consigue realizar esta maniobra con vientos desde el través hacia la popa, nos encontramos en las condiciones óptimas de operación de las cometas, pudiendo obtener ahorros de combustible muy representativos.

### 3.8.3. PROPULSIÓN DIESEL-ELÉCTRICA.

Los sistemas de propulsión diesel-eléctrica convencionales consisten en sustituir los motores propulsores diesel acoplados a la hélice mediante la línea de ejes, por un motor propulsor eléctrico, que es el que se une a la hélice, y un conjunto de generadores eléctricos diesel, encargados de suministrar la energía necesaria para los consumidores del buque y también para el motor propulsor.

Este sistema es utilizado cada vez con mayor frecuencia en buques de tamaño medio y grande, desde cruceros de pasaje hasta buques de suministro a plataformas petrolíferas u oceanográficas. La aplicación directa del mismo en buques de pesca implica una serie de problemas, especialmente el del espacio disponible.

Sin embargo, puede realizarse una adaptación del mismo para un buque pesquero de tamaño medio, con unas características de operación determinadas, obteniendo otras muchas ventajas además de reducciones en el consumo de combustible.

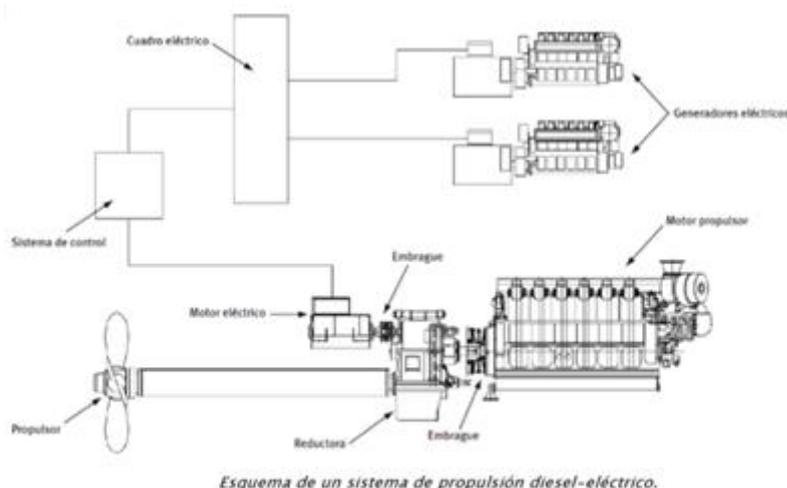
Teniendo en cuenta que una de las ventajas de la propulsión diesel-eléctrica es la de no tener caídas de rendimiento a bajas potencias, al contrario de lo que ocurre con los motores propulsores diesel, puede aprovecharse esta característica en aquellos buques de pesca cuya actividad requiera de períodos prolongados de actividad a bajas velocidades, como pueden ser los buques palangreros.

En el caso de una planta propulsora convencional, cuando el buque se encuentra navegando a velocidad reducida, el motor propulsor se encuentra funcionando en un punto de operación muy lejano al de diseño y, por lo tanto, muy poco eficiente.

En el sistema que se plantea se utiliza un motor eléctrico acoplado a la reductora del buque, y alimentado desde los generadores (cuya disposición y potencia deben adaptarse a esta nueva configuración). El motor



diesel se mantiene para la propulsión del buque a la velocidad máxima, mientras que para operación a velocidad reducida, los diesel-generadores proporcionan potencia al motor eléctrico y al buque, desembragando el motor diesel principal y actuando entonces con propulsión eléctrica. Estos diesel-generadores operan en una zona de funcionamiento cercana a su óptimo de rendimiento y por lo tanto, la eficiencia global de la planta es mucho mayor.



Este sistema, además de las ventajas económicas, presenta una serie de ventajas que podemos definir como “no cuantificables” sobre la configuración convencional.

Algunas de ellas son las siguientes:

- Mayor eficacia de la propulsión a bajas velocidades (debido al mayor par a bajas revoluciones de los motores eléctricos) y una gran mejora en la maniobrabilidad (debida a la mayor rapidez de reacción de los motores eléctricos y a la no necesidad de embragar-desembragar constantemente en maniobras casi en parado o de avante-atrás).
- Una mayor redundancia y por tanto seguridad para el buque. Con este sistema, y en caso de una posible avería del motor principal, siempre se dispondrá de una propulsión de reserva para vuelta a puerto.
- La posibilidad de realizar en alta mar, en momentos de poca actividad, reparaciones o mantenimientos del motor principal, que en el caso de contar únicamente con propulsión diesel sólo se podrían llevar a cabo en puerto.



### 4. MEDIDAS TÉCNICAS. EFICIENCIA ENERGÉTICA.

En este apartado se desarrollará el que debe ser el proceso de trabajo a seguir, así como la definición de los posibles pasos a seguir que componen dicho proceso de trabajo.

#### 4.1. PROTOCOLO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA.

El objetivo principal de una auditoría energética es dar a conocer al armador cuál es el estado energético de su buque, es decir, proporcionarle un análisis detallado de cómo es el modo de explotación, funcionamiento y prestaciones de los diferentes consumidores que existen en su buque, además de conocer el estado de sus componentes, sus consumos energéticos y sus correspondientes costes de explotación.

Partiendo de esta auditoría, puede conocerse cuáles de entre los equipos del buque son más o menos eficientes, en qué puntos podrían aplicarse medidas correctoras que busquen mejorar la eficiencia energética y en qué medida afectarán las mismas a la rentabilidad del buque.

En el Anexo I se encuentran los diferentes documentos y tablas que serían necesarias completar para realizar el proceso de auditoría.

Una vez finalizado el proceso de toma de datos, debería encargarse a un especialista la realización de un análisis de los mismos y un posterior informe, que resuma el contenido de la auditoría y sus principales conclusiones, incluyendo aquellos aspectos relevantes que caractericen a la embarcación desde el punto de vista energético.

En este informe debería hacerse especial mención a los siguientes aspectos:

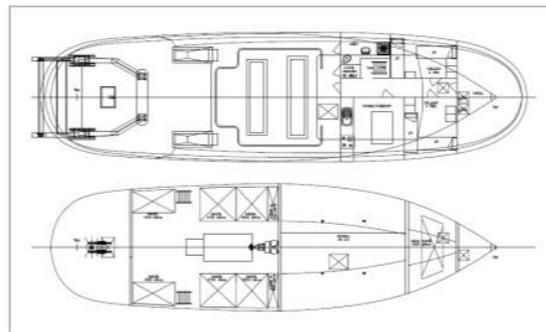
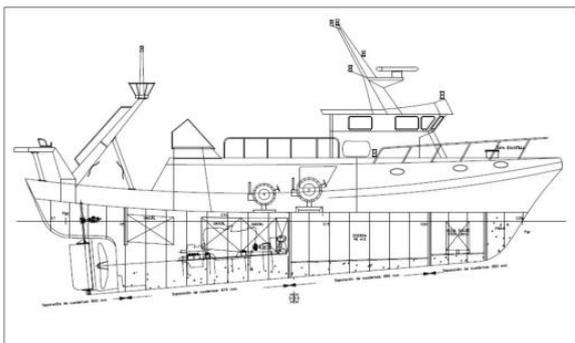
- Calificación energética general del buque.
- Eficiencia energética de la planta propulsora instalada.
- Equilibrio de la planta de generación eléctrica frente a los consumidores presentes.
- Puntos críticos de consumo energético detectados.
- Resumen de las medidas correctoras propuestas.
- Principales recomendaciones de adopción de medidas correctoras.
- Ahorros energéticos y económicos obtenidos con las mejoras propuestas.



## 4.2. TRABAJO PREVIO A LA DEFINICIÓN DE POSIBLES MEJORAS.

### 4.2.1. OBTENCIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.

Esta tarea, aparentemente sencilla presenta dificultades de cierta importancia y requerirá la convergencia de los esfuerzos de todos los participantes ya que, por sus características, esta flota tiene un nivel organizativo relativamente bajo, lo que implica una mayor dificultad para conseguir y contrastar datos técnicos, especialmente en buques de una cierta edad, de forma que, en muchos casos, será necesario recurrir a los astilleros constructores (aquellos que todavía no han cerrado), o a los fabricantes de equipos y, muchas veces, ni aun así será posible reunir toda la información necesaria.



La información requerida por buque ha sido:

- Plano de Disposición General, Formas e información de características hidrodinámicas
- Experiencia de Estabilidad, Condiciones de Carga, Hidrostáticas, Curvas KN, etc.
- Equipo propulsor: Motor Principal, Hélice, Tobera, etc.
- Maquinaria Auxiliar: Generadores, Alternadores, Compresores, Equipo de Frío, etc.
- Información disponible de consumos.
- Equipamiento de pesca.

### 4.2.2. RECONOCIMIENTO A FLOTE/CARENA DEL BUQUE.

Como complemento a esta tarea, antes de las pruebas se ha realizado un reconocimiento a flote del buque, - y en algún caso en seco-, prestando especial atención a la carena, al sistema propulsor y la maquinaria y equipos instalados a bordo.



Cada buque visitado será reconocido exhaustivamente, tomadas fotografías de los equipos y maquinaria de este y ampliada la información existente mediante entrevistas técnicas con el Patrón y el Maquinista de la embarcación.



Desde el punto de vista logístico y para la buena realización de los trabajos será necesario:

- Avisar a los Armadores para que tengan el buque dispuesto en una condición de carga lo más cercana posible a la más habitual.
- Poder hablar en algún momento con el armador de cada barco, el patrón – si no es la misma persona-, y el maquinista.
- Presencia a bordo de tripulación suficiente durante las pruebas.
- Datos relativos a las redes, puertas y aparejos.
- Obtener los datos de consumos y días trabajados en intervalos largos de tiempo.
- Cantidades de pesca descargadas y valor también en períodos largos.

#### 4.2.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

La información recabada tanto sobre plano como a flote/carena deberá ser analizada para asegurar que las condiciones reales del barco se adaptan a las condiciones teóricas de diseño, esto nos dará la certeza de que los datos de diseño son un punto de partida fiable a partir de los cuales podremos analizar el buque.

#### 4.2.4. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO DEL COMPORTAMIENTO (CFD)

Los avances numéricos e informáticos resuelven problemas que antiguamente eran resolubles solo de manera experimental. El campo de la hidrodinámica no es ajeno a esta tendencia y los desarrollos de los denominados CDF (Computational Fluid Dynamics) son ya capaces de dar resultados de tanta fiabilidad como los tradicionales ensayos hidrodinámicos.

El ensayo informático reproducirá numéricamente la carena de los buques, mediante CFD, de tipo potencial y viscoso, y a analizar su comportamiento en la mar. Con ayuda de este método pueden optimizarse los trimados del buque. El estudio detallado de los trimados más adecuados en las diferentes situaciones de carga, puede dar resultados positivos con mejoras entre 2-3% en el consumo en estado de navegación.

#### 4.2.5. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO DEL EQUIPO PROPULSOR.

Los buques arrastreros, por ejemplo, trabajan durante su operación en dos condiciones diferentes: en arrastre y en navegación. La hélice, tanto en carga como en grado de avance, tiene un comportamiento diferente en cada una. Aunque la determinación del ajuste del propulsor, y de la potencia absorbida en cada caso, puede calcularse teóricamente, es más exacto y preferible realizar pruebas de mar. Se realizarán dos pruebas al buque:

- **Tracción a punto fijo.** En la que se determina el tiro que es capaz de desarrollar el motor y las revoluciones correspondientes, al par máximo con el buque en estación, y tirando por medio de una estacha normal al muelle.
- **Navegación libre.** La velocidad del buque en esta condición se ha determinado, mediante el empleo del GPS y el radar. Conociendo las revoluciones desarrolladas durante la prueba, la temperatura de los gases de escape y la posición de la cremallera, se puede estimar con bastante precisión la potencia desarrollada.

Conociendo el ajuste de la hélice en estas dos condiciones, es relativamente sencillo determinar la condición de **Arrastre a velocidad reducida (3 ó 4 nudos)**.



### 4.2.6. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE ENERGÍA A BORDO.

En esta actuación se buscará optimizar la utilización de la energía a bordo de los barcos pesqueros, y podría ser considerado como un elemento integrador y racionalizador de la actividad pesquera, si consideramos ésta como una concurrencia de energías, que deben ser aplicadas de la mejor manera posible para conseguir la máxima eficiencia.

Las máquinas y motores que se emplean a bordo suelen tener, normalmente, un rendimiento muy bajo. Esto unido a la deficiente información de que se puede disponer respecto a la carga y los consumos en tiempo real, es una dificultad para un mayor desarrollo de una gestión energética satisfactoria.



Durante las visitas a bordo para las pruebas de mar, se recabará toda la información sobre el funcionamiento de la maquinaria auxiliar con objeto de establecer un diagnóstico de la adecuación de su punto de funcionamiento y tamaño ante la demanda eléctrica real y sus posibles mejoras.

### 4.2.7. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

En esta tarea se analizará la viabilidad económica y financiera de cada una de las actuaciones recomendadas en esta investigación, con el fin de evaluar la inversión necesaria para su implementación, y se hará una estimación de la amortización de esta inversión y la reducción de costes que su implementación supondrá. En el estudio particularizado de cada buque se utilizará un sistema simplificado que permitirá realizar las estimaciones de costes necesarias, validadas mediante los datos de casos reales.

Contra esta inversión se coloca el ahorro de combustible esperado, que implicará unos menores costes de explotación anuales y así se calcula el período de amortización de la inversión. Debe prestarse especial atención en cada caso a la vida útil que le queda al buque que, en definitiva, es el tiempo de que dispone el armador para amortizar la mejora.



### 4.2.8. HERRAMIENTAS ÚTILES PARA LA EVALUACIÓN PREVIA.

A través de la realización de auditorías energéticas se pueden obtener datos para reflejar consumo y generación de energía en los barcos operativos. Para ello se instalan equipos de medición y registro con los que se obtiene la siguiente información:

- Consumo de combustible (principalmente gasóleo): tiene lugar en motores de combustión interna que pueden transmitir energía: a la hélice mediante el acoplamiento al eje de propulsión, a bombas hidráulicas, o bien a alternadores para producción de energía eléctrica.



Sensor de caudal (display)



Sensores (detalle del detector de caudal)



- Consumos eléctricos: gran parte de los equipos instalados a bordo (salvo las hélices de propulsión y algunas maquinillas hidráulicas para los aparejos) utilizan energía eléctrica para su funcionamiento. La medición de estos consumos permite individualizarlos, analizar por separado posibles ineficiencias energéticas y plantear así mejoras específicas.



Sensor eléctrico trifásico en alterna



Sensor eléctrico monofásico



Sensor eléctrico para alterna y continua



Sensor eléctrico trifásico (detalle de los anillos amperimétricos)

- Velocidad y posición de la embarcación: permite conocer si la embarcación está navegando hacia el caladero, de regreso a puerto o realizando labores de pesca; asimismo permite conocer, si está pescando, qué maniobra realiza la embarcación (largar, virar o recoger el aparejo, arrastrar...). Esto permite relacionar la secuencia de consumos energéticos con los distintos estados de operación de la embarcación.



GPS con datalogger



- Potencia entregada a la hélice y régimen de giro del motor: conociendo estas medidas junto con los datos de consumo de combustible es posible evaluar el rendimiento de la propulsión, así como conocer los puntos de trabajo del motor y de la hélice. Esto permite evaluar si el conjunto motor-hélice se adapta a las condiciones óptimas de diseño en conjunto (y no de manera individual, como ocurre normalmente). De no ser así, con los datos obtenidos en la monitorización, se podría optimizar el conjunto para las condiciones de operación reales.



Tacómetro



Cuadro de torsión



Galgas y emisor de torsiómetro instalados en el eje



### 4.3. PRUEBAS DE MAR DE LOS BUQUES.

El trabajo de campo realizado a bordo de las embarcaciones, puede dividirse en tres apartados:

- Reconocimiento del buque (definido previamente).
- Realización de pruebas de velocidad en navegación libre.
- Realización de pruebas de tiro a punto fijo.

Se exponen a continuación los aspectos más importantes a considerar en cada uno de los paquetes de trabajo antes mencionados.

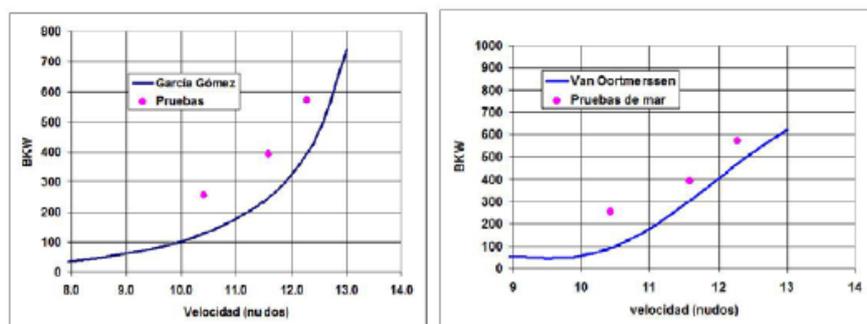
#### 4.3.1. PRUEBA DE VELOCIDAD EN NAVEGACIÓN LIBRE.

Al realizar las prueba de velocidad, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Establecer el desplazamiento en pruebas del buque midiendo con precisión los calados en proa y en popa. Se ha procurará que coincida con uno intermedio entre el de ida y el de vuelta al caladero.
- Constar el grado de rugosidad del casco, y el tiempo transcurrido desde la última limpieza de fondos.
- Las pruebas se han realizado de forma progresiva en el siguiente orden:
  - A una velocidad inferior a la habitual de ida y vuelta del caladero.
  - A la velocidad habitual de ida y vuelta del caladero.
  - A la correspondiente a la máxima potencia del motor.
- Las velocidades medirán mediante GPS, promediando las lecturas tomadas, al menos durante tres minutos, una vez que el buque se ha estabilizado.
- Las carreras se repetirán a rumbo encontrado, con la misma duración, empezando a medir una vez estabilizadas velocidad y rumbo, tras virar 180°.
- En cada carrera navegará a rumbo constante y suficientemente alejado de la costa, en aguas profundas, con viento suave, en ausencia de corrientes, y minimizando las metidas de caña.
- La potencia propulsora, se estimará con los mejores datos disponibles: Por lectura directa si se trata de motor electrónico, con los datos de las pruebas de banco para obtener el valor de los pares motores relacionándolos con el grado de inyección de combustible o bien por la temperatura de los gases de escape.
- Las curvas potencia – velocidad obtenidas en estas pruebas se calibrarán mediante métodos numéricos indicados para poder detectar aquellos motores que estén demasiado fuera de punto.
- Se medirá el trimado dinámico y el aspecto del espejo y de los trenes de olas, transversal y divergente, pues estos datos ayudan a valorar el comportamiento del buque y a “anclar” las simulaciones realizadas con CFD.



En las siguientes figuras, se muestra un ejemplo de validación de los datos obtenidos en pruebas para un buque auditado, aplicando dos métodos diferentes. En este caso en concreto se puede observar que ambos métodos desvelan unas prestaciones inferiores a lo esperado desde el punto de vista estadístico.



*Comparación de los resultados de pruebas de mar con la predicción basada en los métodos de García Gómez y Van Oostmerssen*

#### 4.3.2. PRUEBA DE TIRO A PUNTO FIJO.

Se ha podido comprobar a lo largo del paso del tiempo, que se trata de una prueba muy compleja de implementar y que implica cierta peligrosidad, lo que obliga a tomar todas las precauciones posibles para evitar daños y averías. Los detalles más importantes de la prueba, será necesario definirlos previamente:

1. Antes de hacer la prueba hay que hacer una estimación previa de la tracción (TPF), aprox. 11 kg/BKW para pesqueros sin tobera y en base a ello decidir si la prueba se ha de hacer contra uno o dos noray.
2. Se deben usar estachas o cables nuevos de unos 100 m., y que aguanten al menos el doble de la TPF estimada.
3. La forma más segura y sencilla de intercalar el dinamómetro en las líneas de pesca debe hacerse de acuerdo con los patrones. Lo normal es embozar la estacha a uno de los grilletes del dinamómetro, tal como se puede ver en la fotografía.

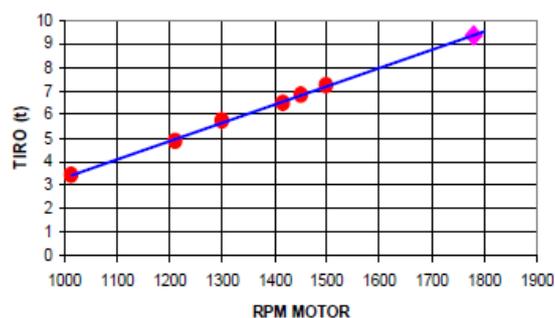
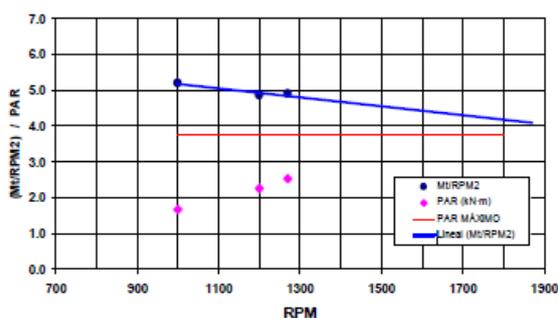


4. La zona de pruebas debe ser lo más amplia y despejada posible. La profundidad ideal es más de 12 m o 3 veces el calado, en un radio de dos esloras entorno al buque.



5. La distancia a los norays debe ser como mínimo de dos esloras ya que la TPF es muy sensible a las perturbaciones del chorro de la hélice cuando rebota en el cantil del muelle.
6. En sentido transversal la zona libre en ambas bandas debe ser una eslora en el sentido de la manga por una eslora en el sentido de la eslora (una eslora cuadrada a cada banda).
7. Se han de minimizar los efectos de vientos y corrientes y las metidas de caña para mantener el buque a la vía.
8. El proceso de la prueba es como sigue: Se calienta el motor con una pequeña tensión en el cable para templarlo y empezar a medir. Luego se sube rápidamente a la potencia máxima. Una vez se estabiliza la circulación del flujo los registros bajan un poco.
9. Hay que registrar las RPM, para promediarlas, a las que se obtiene la máxima TPF.
10. Normalmente la máxima TPF se promedia en un minuto. El valor estacionario de TPF se promedia en cinco minutos.
11. Es de esperar que las medidas oscilen bastante ya que las estrepadas son inevitables. La toma de datos realizará mediante grabación en video del display o manualmente, sincronizada al oído con el puente del buque.

Ejemplo de resultados presentados estadísticamente de prueba de tiro:



#### 4.3.3. EQUIPOS EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS DE MAR.

- Dinamómetro Electrónico Digital, PROYMAN, con transmisión de datos por radio-frecuencia y de 25 toneladas de capacidad máxima.
- Inclinómetro digital autónomo BOSCH DNM60 L, con capacidad para medir trimados dinámicos de 0,1 grados.
- Equipo de posicionamiento DGPS que permite obtener coordenadas geográficas (elipsoide Word Geodetic System 84 (W.G.S. 84) y en la proyección U.T.M. obteniendo de este modo un sistema global y de conexión con las coordenadas oficiales.



#### 4.4. MEDIDAS TÉCNICAS APLICABLES.

No siendo este proyecto una auditoría de un buque pesquero concreto, sino más bien una recopilación de posibles medidas a aplicar, previa evaluación, sobre una flota o buque individual, pasamos a explicar las posibles actuaciones que podrán llevarse a cabo sobre los buques en función del tipo de buque, la viabilidad económica (tanto en desembolso inicial como en periodo de amortización) y los datos obtenidos tanto en la fase de recopilación de datos como en la fase de pruebas de mar.

Estas medidas pueden englobarse en estos apartados:

- Análisis hidrodinámico.
- Análisis propulsivo.
- Gestión energética.

##### 4.4.1. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO.

Consideraciones a tener en cuenta para elaborar posteriormente una lista de medidas y recomendaciones aplicables a los buques en estudio en cuanto a esta área se refiere.

##### 4.4.1.1. RESISTENCIA AL AVANCE EN BUQUES PESQUEROS

Una característica importante, es la importancia que los armadores han dado tradicionalmente a la velocidad en navegación, ya que, esta característica es un factor de competitividad, al permitirles alcanzar el caladero y regresar de él en el menor tiempo posible, optimizando así la utilización del tiempo de pesca.

A este respecto, conviene recordar que lo que define si una embarcación es o no rápida es, precisamente, una relación adimensional entre dicha velocidad, en valor absoluto, y la eslora del buque, que se conoce como Número de Froude ( $F_n$ ), cuya expresión es:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}}$$

Cuando un barco de pesca navega a números de Froude próximos o superiores a 0,40, - y esto ocurre en bastantes de los buques analizados-, la componente de la resistencia al avance debida a la formación de olas del buque tiene un valor significativo.

La magnitud relativa de cada una de las componentes de la resistencia al avance de un barco depende de la velocidad a la que se mueve – y en particular del número de Froude – y de las formas de la carena. Para valores pequeños de la velocidad, la resistencia ocasionada por la viscosidad predomina sobre la resistencia por formación de olas, pudiendo llegar a ser hasta un 80 % de la resistencia total.

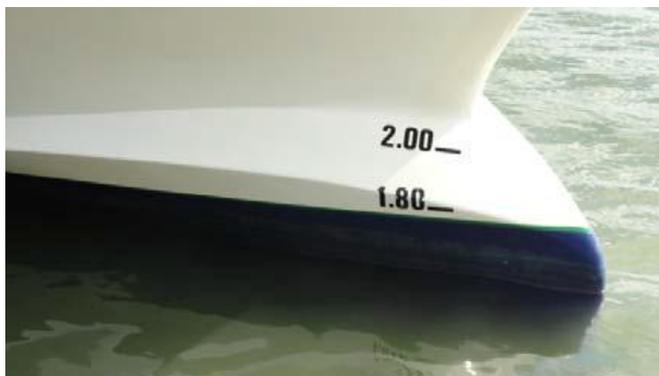
A medida que la velocidad crece, la resistencia por formación de olas también lo hace, mientras que la resistencia de origen viscoso crece más despacio. Cuando la velocidad del buque llega a ser suficientemente alta, el valor que toma la resistencia debida a la formación de olas es tan alto que supone una barrera infranqueable para carenas de formas convencionales.

La primera consecuencia de lo anterior es que, con independencia de la valoración estratégica subjetiva que los operadores hacen de la velocidad en navegación, la recomendación general para mejorar la eficiencia energética de todos los buques estudiados va hacia la necesidad de reducir esta velocidad.



4.4.1.2. BULBO DE PROA

Con los métodos de construcción actuales, en los buques de poliéster es relativamente sencillo y económico y da buenos resultados instalar un bulbo de proa no integrado.

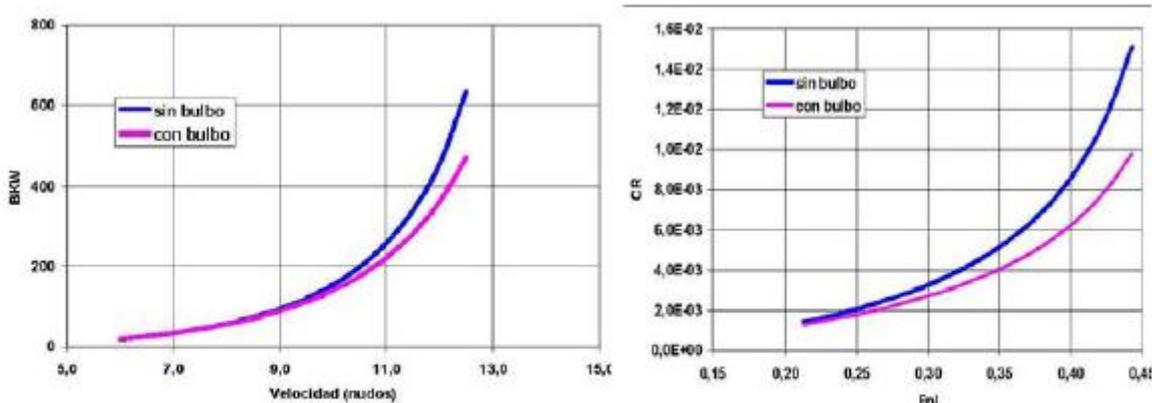


*Bulbo de proa no integrado*

Aunque, antes de proceder a la instalación de un bulbo es necesario un estudio detallado particularizado para ese buque concreto, con cierta aproximación se puede decir que las ventajas estimadas de esta reforma son:

- Aumento de Velocidad (+ 0,2-0,4 kn)
- Ahorro de Combustible (- 5 a 7 %)
- Mejor Comportamiento en la mar

A continuación se presenta un ejemplo de estudio sobre la conveniencia de la instalación de un buque en concreto:



*Ejemplo de predicción del efecto del bulbo de proa*



#### 4.4.1.3. OPERACIÓN DEL BUQUE.

Los buques se diseñan para obtener las máximas prestaciones el día de las pruebas de mar en aguas tranquilas y con el casco limpio, recién pintado y nada más salir de dique y, así, satisfacer al armador con los menores gastos posibles.

Con el uso, el buque se va ensuciando y encontrará en la mar olas y vientos que aumentan su resistencia al avance, con lo que la hélice funciona fuera del punto para el que fue diseñada, trabajando por lo tanto con un rendimiento no óptimo. La potencia necesaria para trabajar a la velocidad especificada es mayor y el consumo de combustible aumenta debido a:

- Aumento de la resistencia al avance del buque debido a las olas, al viento y al incremento de rugosidad del casco.
- Ha disminuido el rendimiento cuasi propulsivo porque la hélice ya no trabaja en el punto óptimo y, porque la rugosidad en las palas de las hélices ha aumentado.

En realidad, las condiciones de servicio del buque varían de día en día ya que las intensidades y direcciones del viento, y las alturas, rumbos y características de las olas lo hacen, aunque se pueden paliar sus efectos si en el proyecto se han tenido en cuenta, los rumbos, alturas y periodos de las olas más probables en la zona prevista de operación

En cualquier caso, el armador siempre tiene algunos recursos para tratar de reducir el incremento del consumo de combustible de su buque debido a estas causas:

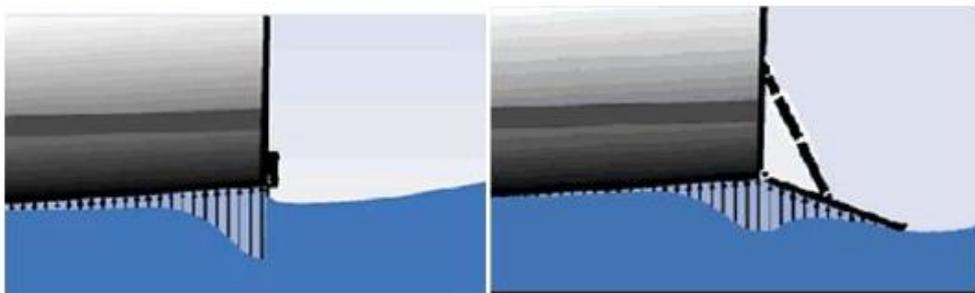
- **Optimización del asiento del buque:** las condiciones de carga del buque, desplazamiento y trimados, son variables, y la forma en que el armador o patrón pueden actuar para ahorrar combustible, es procurando que navegue con un trimado seguro y que sea favorable en cuanto a rendimiento propulsivo.

Está demostrado que el asiento afecta de forma importante al rendimiento propulsivo por lo que, a igualdad de desplazamiento, se puede ahorrar combustible si se lleva el buque a su trimado más favorable desde el punto de vista de su resistencia al avance.

Para conocer qué trimados son más recomendables y cuales menos, se pueden hacer una serie de ensayos en canal cuyo coste se amortiza en buques nuevos a los pocos meses de haber puesto al buque en operación.

Los asientos de mínimo consumo de combustible se pueden alcanzar alterando la disposición de pesos a bordo o mediante dispositivos especiales.

Una forma muy común de corregir los asientos dinámicos, y en general de disminuir los calados en popa, es haciendo reformas locales en el codaste para conseguir pequeños aumentos de la eslora del buque o mediante la adaptación de cuñas fijas adosadas en la popa. También se pueden disminuir los asientos dinámicos en popa montando flaps o interceptores regulables.



*Flaps y cuñas*



- **Rugosidad de casco y hélices:** pasado un cierto periodo de tiempo, después de que el buque sale del varadero recién pintado, la protección de la pintura va debilitándose y, empieza a aumentar la rugosidad del casco debido a la fijación en él de distintos organismos, primero microscópicos, y luego ya visibles como algas, moluscos, etc., que producen un notable incremento de la resistencia de fricción del buque, y en consecuencia aumentan el consumo necesario de combustible, para mantener las prestaciones del barco y, con ello, los costes de operación.

La velocidad con la que se produce esta adherencia de organismos y, por lo tanto, el aumento de rugosidad del casco depende, básicamente, de dos componentes:

- La rugosidad temporal provocada por la incrustación de organismos vivos.
- La rugosidad permanente debida a la acumulación excesiva de capas de pintura.

A partir de los estudios realizados por la British Ship Research Assotiation (BSRA), que llevó a cabo un amplio programa de investigación se llegó a una serie de conclusiones prácticas aproximadas muy concretas en las que afirman que:

- Para mantener una velocidad dada, un aumento de rugosidad del casco de 10 micras, hace necesario un aumento de potencia de 1 %.
- A igualdad de potencia, un aumento de rugosidad de 10 micras, implica una disminución de velocidad del 0,3 %.

Aunque depende de la calidad de producción del casco y de los métodos constructivos del astillero, se suele considerar como un valor medio aceptable, una amplitud de rugosidad media aparente, basada en una longitud de 50 mm, de 150  $\mu\text{m}$ . Durante la operación del buque, esta rugosidad aumenta y aunque se limpien los fondos se reducirá, nunca volverá a alcanzar su valor inicial.

Desde la aparición de las primeras pinturas anti-incrustantes sin biocidas para embarcaciones rápidas en 1996, se ha progresado mucho y hoy día se dispone de pinturas basadas en el uso de siliconas y de polímeros de flúor que, mejoran enormemente las prestaciones incluso para los buques menos rápidos. Algunos fabricantes prometen ahorros de los costes de combustible de hasta el 6%, dependiendo de las condiciones de servicio de los buques.

La ausencia de biocidas proporcionará también ahorros en las entradas en dique ya que el tratamiento de residuos y de las aguas de lavado del casco será más barato.

Aunque este tipo de pinturas son más caras hay que contar con que sus características de durabilidad, flexibilidad y resistencia frente a la abrasión, permiten alargar los periodos entre las entradas en dique hasta dos años o más.

#### 4.4.2. ANÁLISIS PROPULSIVO.

En el análisis del comportamiento de la propulsión hay que responder a preguntas como:

- ¿Es adecuado el equipo propulsor instalado?
- ¿Es adecuada la situación de la hélice en el codaste del buque?
- ¿Es adecuado el diámetro de la hélice?
- ¿Es adecuada la elección de la velocidad de giro de la hélice (RPM)?
- ¿Son adecuadas las restantes características principales de la hélice?

Para algunos buques, la respuesta a las preguntas anteriores no será la deseada, y ello indicará que, en la decisión correspondiente, prevalecieron en su día criterios no hidrodinámicos y como consecuencia el consumo de combustible es inadecuado.

Hace años podría ser aceptable seleccionar un reductor desfavorable desde el punto de vista del rendimiento de la hélice, para obtener por ejemplo, un coste de adquisición menor. Hoy en día, el mayor coste de un reductor más adecuado desde el punto de vista de rendimiento de la hélice, queda fácilmente compensado a los pocos años de operación del buque.



Por otra parte, la geometría de las hélices que montan este tipo de buques pesqueros está generalmente basada en series sistemáticas, que si bien proporcionan normalmente prestaciones satisfactorias, pueden mejorarse significativamente con un diseño ad hoc.

#### 4.4.2.1. CONSIDERACIONES SOBRE LA HÉLICE.

A continuación se exponen muy brevemente las consideraciones que se deben hacer sobre la bondad de una hélice que ya funciona en un barco en operación y las posibles respuestas a cada una de las preguntas.

##### **¿Es adecuado el tipo de propulsión instalado?**

En el caso de pesqueros la disyuntiva es montar hélices de paso fijo o de paso controlable, y en ambos casos decidir si la hélice va libre o en una tobera. La mayoría de los buques estudiados tienen instalada actualmente una hélice fija libre, mientras que, los mejores resultados en cuanto a eficiencia energética se obtienen con paso variable y tobera.

Un cambio en el sistema propulsor tiene muchas implicaciones, y es necesario sopesar con mucho detalle los “pros y contras” oportunos y las soluciones alternativas, ya que los costes implicados, tanto de adquisición de nuevos equipos como de instalación, son considerables y se han de justificar a partir del perfil operativo previsto para el buque.

##### **¿Es adecuada la situación de la hélice en el codaste del buque?**

El funcionamiento de la hélice será tanto mejor cuanto más uniforme sea el flujo que le llega. Se deben evitar por lo tanto codastes demasiado cerrados y hélices con sus puntas de pala muy cercanas al casco.

Se deben reducir al mínimo los apéndices del casco situados aguas arriba de la hélice y distanciarlos cuanto sea posible de ella. Si el flujo que llega a la hélice no es uniforme, el riesgo de que ésta cavite y de que se produzcan ruidos y vibraciones será alto por muy experimentado que sea el proyectista del propulsor.

El calado de la hélice también juega un papel importante: a mayor columna de agua sobre la hélice menor será su tendencia a la cavitación. Además, cuanto más sumergida esté menor será la probabilidad de que emerja cuando se navegue en estados severos de la mar.

En muchos de los buques estudiados los huelgos en el codaste son escasos, y las soluciones a estos casos son bastante problemáticas.

##### **¿Es adecuado el diámetro de la hélice?**

##### **¿Es adecuada la elección de la velocidad de giro de la hélice?**

La respuesta a estas dos preguntas ha de ser simultánea, pues el diámetro de mayor rendimiento de la hélice está íntimamente ligado a la elección de su velocidad de giro. Una vez conocida la resistencia al avance del buque es cuando se puede seleccionar la hélice más adecuada que entregue el empuje necesario con el mayor rendimiento posible.

Normalmente, las hélices de mayor diámetro girando a las menores RPM son las de mayor rendimiento. Sin embargo, el tamaño del codaste del buque limita el diámetro máximo de la hélice compatible con unas ciertas claras mínimas entre ella, el casco y el timón.

Por otro lado, el conseguir las RPM óptimas para la mayor hélice que quepa en el codaste del pesquero puede requerir relaciones de reducción de las RPM del motor excesivas. Ni el peso ni el empacho de estos reductores, ni el coste de fabricar un reductor ex profeso para cada buque harían viable su adquisición.

Por lo tanto, una vez más, se debe buscar una solución de compromiso en cada caso, analizando las opciones disponibles para optimizar el sistema instalado y seleccionando la combinación de diámetro y RPM de la hélice de mejor rendimiento, dentro de las restricciones impuestas por las características particulares de cada buque.



### ¿Son adecuadas las restantes características principales de la hélice?

La relación de áreas de la hélice vendrá determinada por su tendencia a la cavitación. Este fenómeno es siempre indeseable y cuanto mayor sea el riesgo de cavitación mayor será la relación de áreas necesaria, con lo que aumentará la resistencia de fricción al avance de las palas, disminuyendo así su rendimiento.

#### 4.4.2.2. CONDICIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO.

El estado de mantenimiento del casco y de la hélice del buque afectan al comportamiento hidrodinámico y, por lo tanto, a la eficiencia energética. Se incluyen aquí unos algunos comentarios relacionados con los aspectos propulsivos que se pueden ver más afectados.



*Varada de mantenimiento*

Durante la vida del buque, para una misma potencia absorbida por la hélice, las RPM del motor sufren una disminución gradual que llega a valores entre el 3 % y el 6 % de los nominales, y que se recupera sólo parcialmente cuando el buque entra en dique.

A par constante, es decir, a igualdad de consumo de combustible, esta disminución de RPM reduce la potencia propulsora y la velocidad del buque. Para mantener las RPM nominales del motor, hay que aumentar el par del motor, es decir, la presión media efectiva en los cilindros lo que, además de aumentar el consumo de combustible, sobrecarga el motor.

El incremento de la resistencia al avance que causa este “apesantamiento” de la hélice es debido, como ya se ha dicho, al aumento de la rugosidad del casco, desperfectos en la protección, abolladuras del mismo, etc.

La rugosidad también aumenta gradualmente en las palas de la hélice deteriorándolas. Ello trae consigo una pérdida del rendimiento con el consiguiente aumento del consumo de combustible necesario. Ello favorece también la aparición de la cavitación que, además de ruidos y vibraciones produce pérdidas del rendimiento y erosión de las palas que, a su vez aumenta aún más su rugosidad.

Por otra parte, la suciedad de la carena aumenta el espesor de la capa límite, lo que se traduce en un aumento del coeficiente de estela, que disminuye la velocidad de entrada del flujo a la hélice, alterando su punto de funcionamiento.

Un buen mantenimiento con entradas a varadero, programadas en las que, además de limpiar los fondos y las palas de las hélices, se compruebe que la protección catódica en el codaste de los buques funciona adecuadamente, que la superficie y volumen de los ánodos de sacrificio es la adecuada, y que estos no alteran el flujo que llega a la hélice, consigue reducir estos efectos hasta un límite razonable.

Además, resulta inevitable que, a lo largo de la vida del buque, su planta propulsora se deteriore debido a desgastes de las camisas de los cilindros, calentamientos excesivos de las partes móviles, rozamientos elevados en los apoyos y en las transmisiones, etc. Todos estos factores suponen, al final, además de un



aumento del consumo de combustible a igualdad de potencia entregada a la hélice, un mayor “apesantamiento” de la misma.

Estas circunstancias desfavorables deben tenerse controladas, realizando los trabajos de mantenimiento preventivo recomendados tanto para el motor principal como para los servicios auxiliares, y en las visitas realizadas a los buques en puerto se ha tratado de establecer la situación real de cada uno.

En cualquier caso, por bien mantenido que esté el buque, cuando ya tiene algunos años es necesario valorar la necesidad de tomar alguna de las medidas que se analizan en los puntos siguientes.

#### 4.4.2.3. ADECUACIÓN DE LA HÉLICE.

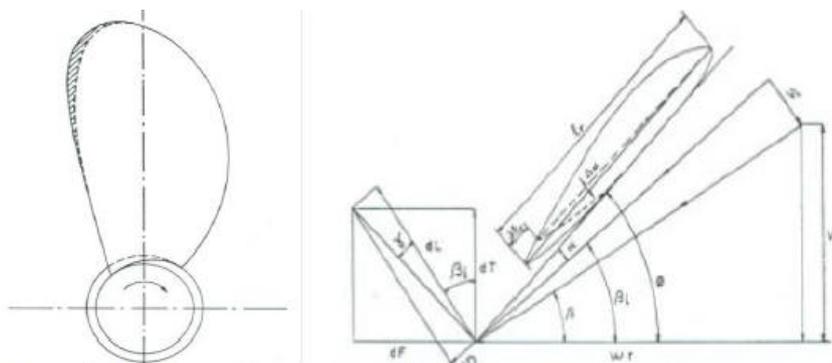
La predecible variación progresiva y continua a lo largo de la vida del buque de las condiciones de servicio del conjunto hélice – motor obliga al diseñador a tomar precauciones, que se traducen en proyectar, la hélice, en un cierto grado de ligereza que puede variar entre el 3 % y el 6 %, de forma que aquella absorba en pruebas del 85 % al 90 % de la potencia nominal al 100 % de las RPM.

Las pruebas realizadas en los trabajos de campo permiten evaluar la situación real de funcionamiento en que se encuentra y la necesidad o no de hacer cambios. La modificación de una hélice para aligerarla y ajustarla a sus condiciones reales de servicio tiene el objetivo de reducir su paso medio efectivo y puede hacerse de tres maneras:

- **Recortando el diámetro:** Es el sistema más drástico, rápido y fácil de llevar a cabo, y se puede realizar sin desmontar la hélice, pero reduce bastante el rendimiento y altera el momento de inercia polar de la hélice pudiendo aparecer vibraciones torsionales que antes no existían. Además, reduce el área de las palas lo que aumenta considerablemente el riesgo de cavitación.
- **Modificación del paso en caliente:** Consiste en aplicar calor a las palas hasta que se puedan retorcer controladamente las secciones cilíndricas más exteriores para reducir así el paso medio y conseguir el aligeramiento de la hélice.

Es un trabajo delicado, que exige desmontar la hélice y trasladarla al taller. No se puede garantizar un acabado perfecto y pequeñas diferencias entre las distintas palas pueden dar lugar a fluctuaciones de par y de empuje y a vibraciones inexistentes antes de la modificación. Además, si la reducción de paso es elevada, el paso de punta de pala puede quedar pequeño, lo que aumenta el riesgo de cavitación, que puede provocar erosión en las palas, y una caída importante del rendimiento.

- **Recorte en frío del borde de salida de las palas:** Se considera que éste es el método más efectivo para aligerar una hélice. Al modificar los perfiles se reduce el paso efectivo de las secciones afectadas con la correspondiente disminución del par absorbido por la hélice. Es de fácil ejecución, se puede realizar con bastante exactitud y la pérdida de rendimiento es poco apreciable.



Zonas afectadas por el recorte del borde de salida de la hélice y disminución del ángulo de ataque al recortar el perfil



En la práctica habitual basta con recortar las secciones cilíndricas exteriores a la correspondiente a  $x = r/R = 0.5$ , ya que la geometría de las secciones interiores tiene menos influencia en el par absorbido y en el empuje dado por la hélice.

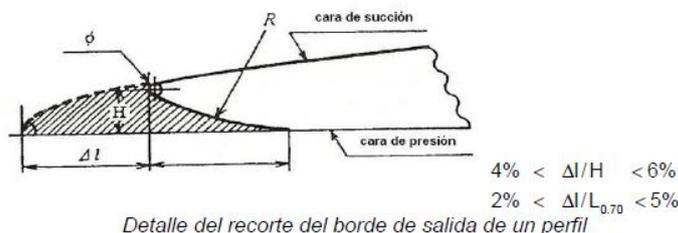
La figura muestra a la izquierda, de forma aproximada, la zona de la pala que se suele modificar, mientras que la figura derecha, muestra el perfil sin modificar y modificado, en el esquema habitual que describe sus condiciones de funcionamiento, las distintas componentes de la velocidad del flujo de agua que llega a la hélice, el paso geométrico del perfil y, por diferencia, su ángulo de ataque.

Al recortar el borde de salida, levantándolo, la línea que une los bordes de entrada y de salida del perfil cambia de pendiente con lo que disminuye el ángulo ( $\alpha$ ) de ataque efectivo del perfil con respecto al ángulo de paso hidrodinámico ( $\beta$ ) que permanece constante si no se altera el resto de condiciones.

Al reducirse el ángulo de ataque disminuye el coeficiente de sustentación del perfil, y al haberse reducido su longitud, disminuyen a la vez el par absorbido por la hélice y el empuje entregado, con lo que la pérdida del rendimiento es pequeña.

El paso medio resultante para la hélice recortada depende de la magnitud de las reducciones de longitud y del ángulo de ataque de las secciones cilíndricas modificadas, y es fácil de calcular.

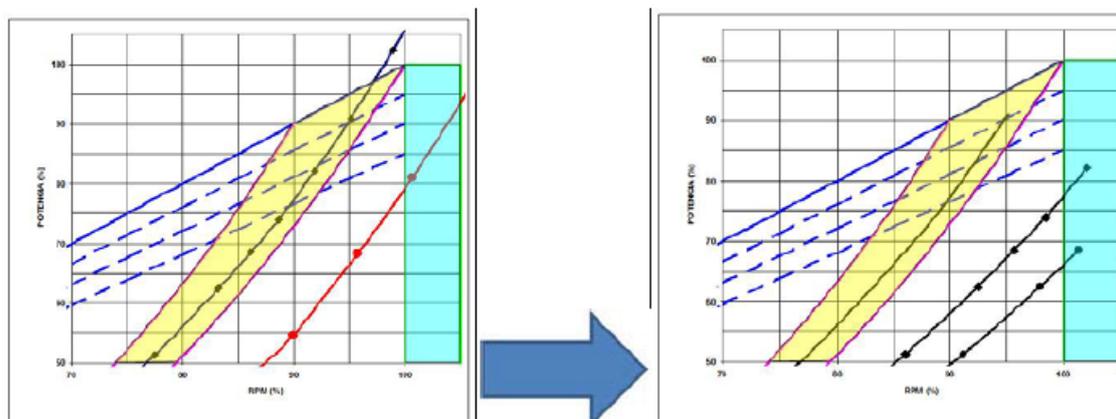
La figura expuesta a continuación, muestra el detalle de un recorte como los descritos, y cómo se altera la geometría del perfil de cada sección cilíndrica y se aprecia cómo se consigue levantar el borde de salida una distancia "H" reduciendo la longitud de la sección una distancia " $\Delta l$ "; el nuevo borde de salida se remata con un radio de acuerdo correspondiente. Es obvio que ni la planificación de un recorte de este tipo, ni su ejecución deben dejarse en manos de gente poco experta.



#### 4.4.2.4. REDUCTOR DE DOS VELOCIDADES.

Debido a las condiciones que habitualmente se dan en las condiciones de pesca, habitualmente arrastre y navegación, existe una manera relativamente fácil de adaptar las condiciones del tren propulsor con hélice de palas fijas a las condiciones de navegación. Esto se consigue a través de un reductor que dispone de dos relaciones distintas de reducción, es decir, se trata de montar un cambio de marchas mucho más sencillo de los que se usan corrientemente en la industria de la automoción. Dadas solamente las condiciones de trabajo explicadas anteriormente, parece suficiente que estos reductores dispongan sólo de dos ruedas reductoras.

Dado que la potencia propulsora instalada en los buques pequeños es considerable, el empacho de estos reductores limita la diferencia entre la velocidad de giro a su salida. Lo habitual es que esta diferencia sea entre el 10% y el 15%.



*Diagrama de funcionamiento de un motor propulsor diesel*

En la figura anterior, el diagrama de la derecha muestra un esquema típico del funcionamiento de un motor diesel marino y en ella la curva roja, con marcadores circulares corresponde al funcionamiento del motor navegando en lastre con el buque nuevo en condiciones de pruebas; el motor va desahogado y la hélice resulta ligera y sólo absorbe, el 79 % de la potencia máxima al 100 % de las RPM.

Por el contrario la curva negra, con marcadores romboidales corresponde al funcionamiento del motor cuando se navega en olas y a plena carga, a los dos años de salir de dique: El motor trabaja en zona de sobrecarga, la hélice es pesada y absorbe el par máximo del motor a un régimen de RPM inferior al nominal, y no se puede llegar al 100% de la potencia.

En la figura de la derecha se muestra la curva de funcionamiento del motor durante la operación de arrastre. En este ejemplo, (curva negra sin marcadores), el motor estaría trabajando en sobrecarga.

La adopción de un reductor de dos velocidades, con la segunda velocidad dando un 10% más de RPM que con la primera velocidad, haría que el motor trabajase, en las mismas condiciones de arrastre, siguiendo la curva inferior, negra con marcadores romboidales, que ya queda en la zona de funcionamiento continuo sin restricciones del motor.

Con este ejemplo quedan bastante claras las ventajas de la adopción de los reductores de dos marchas. Sus costes de adquisición se compensarán rápidamente evitando sobrecargas y averías del motor, permitiendo funcionar a las hélices con buenos rendimientos propulsivos.

#### 4.4.3. GESTIÓN ENERGÉTICA.

Como es lógico todas las embarcaciones tienen que emplear una parte del tiempo de la actividad pesquera a la navegación, periodo improductivo durante el cual además la demanda de energía es elevada. La distancia entre el puerto base del buque de pesca y el caladero donde tiene lugar la actividad extractiva, así como el porcentaje de carga del motor, son los principales factores a la hora de considerar el consumo de combustible en la navegación.

Durante la trayectoria puerto-caladero-puerto el estado de la navegación no influye en la productividad del buque (entendida ésta como periodo dedicado exclusivamente a pescar), por lo que se pueden adoptar acciones encaminadas a una reducción en el consumo de combustible que no afecten a la actividad pesquera.



Es posible aplicar medidas de ahorro energético que no implican inversiones económicas, gestionando la velocidad del buque durante la navegación. Esta gestión se basa principalmente en la organización del transporte de las capturas a puerto.

En definitiva se trata de modificar ciertos hábitos, de aplicación general a todo tipo de buques sea cual sea la actividad desarrollada.

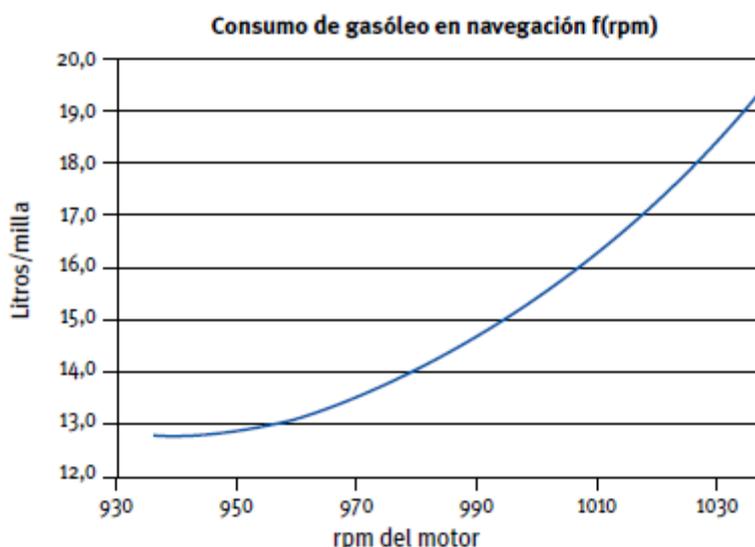
La navegación es un factor determinante en el consumo energético de los pesqueros. En muchos casos los buques tienen que realizar grandes desplazamientos, ocasionando que su coste energético provocado por la navegación llegue a alcanzar el 50% del total.

La práctica habitual de los patrones es emplear una velocidad alta del buque para desplazarse entre el caladero y puerto. Son varias las razones para ello: preservar la frescura de las capturas, llegar a tiempo a la hora de subastar el producto, etc. Durante los desplazamientos caladero-puerto-caladero, los patrones no tienen información suficiente del coste derivado del consumo energético que supone el tiempo empleado.

La potencia de trabajo de los motores de propulsión en el barco se eligen pensando en lograr velocidades de propulsión idóneas. Para aumentar la velocidad del barco se incrementan las revoluciones por minuto y la carga del motor, por lo que en consecuencia se incrementa el consumo instantáneo de combustible.

Una velocidad próxima a la máxima alcanzable por el buque implica un incremento exponencial del consumo respecto al aumento de la velocidad (como consecuencia del aumento de la resistencia al avance).

**Evolución del consumo de combustible (litros/milla) en función de las revoluciones del motor propulsor en un buque pesquero**



La siguiente tabla representa los datos de vueltas del motor, velocidad del buque y consumo que se pueden extraer para cada barco realizando una toma de datos en condiciones operativas. Se puede utilizar la distancia habitual al caladero para calcular el tiempo que le llevaría al barco recorrer dicha distancia en función de la velocidad de navegación. De este modo el patrón puede planificar la navegación, haciéndose una idea aproximada (influyen otras variables como viento, corrientes...) de cuánto va a tardar el barco en hacer la ruta y su traducción a litros de combustible gastados.



En este ejemplo, 35 millas representa la distancia existente entre el puerto y el caladero en el que trabaja un arrastrero de litoral, pero se puede utilizar para cada barco individualmente, por ejemplo, barcos de altura.

**Tabla representativa de las variables para la gestión de la navegación en un buque pesquero**

35 Millas			
rpm	Velocidad (nudos)	Tiempo (horas)	Consumo (litros)
935	8,00	4,38	442,54
945	8,25	4,24	444,78
955	8,50	4,12	451,82
966	8,75	4,00	463,66
976	9,00	3,89	480,31
986	9,25	3,78	501,76
997	9,50	3,68	528,01
1.007	9,75	3,59	559,07
1.017	10,00	3,50	594,93
1.028	10,25	3,41	635,60
1.038	10,50	3,33	681,07

El patrón dispondrá de la información adecuada para gestionar la velocidad de su embarcación y así adecuarla a un consumo óptimo en función de las necesidades de ese momento (habría que valorar la necesidad de llegar antes o no a puerto o al caladero por cuestiones comerciales, climatológicas...).

Se trata, en definitiva, de aportar herramientas al patrón que le permitan tener el conocimiento necesario para la optimización en la gestión del barco.

Factores que pueden influir de manera sustancial en la gestión de la navegación son los datos de condiciones climatológicas y de las corrientes. Partiendo de una previsión anticipada de estos datos se podrían variar las rutas de navegación a fin de evitar condiciones adversas o bien aprovechar las condiciones favorables para conseguir una reducción del consumo energético durante estos periodos.

Otro factor determinante a la hora de optimizar el consumo energético durante la navegación es la mejora de los métodos organizativos en los desplazamientos para realizar las descargas de las capturas en puerto, por lo que también cabría replantearse la duración de los periodos de pesca.

A continuación se enumeran algunas de las herramientas o modificaciones que podrían ser útiles a la hora de gestionar correctamente la energía a bordo del buque de pesca.



### 4.4.3.1. UTILIZACIÓN DE TOMAS DE FUERZA Y ALTERNADORES DE COLA.

Los motores principales de los barcos pesqueros son por necesidad de pequeño peso y volumen, por lo que, en la gran mayoría de los casos se recurre al uso de motores rápidos o semi-rápidos. Como consecuencia de ello, para que la hélice gire a las revoluciones óptimas se hace necesario el uso de una caja reductora de engranajes, en la que con frecuencia suelen incorporarse tomas de fuerza para generar energía auxiliar.

En aquellas embarcaciones, como es el caso de los arrastreros, en que se producen dos regímenes diferenciados de funcionamiento del sistema propulsor debido a que la velocidad adecuada durante la faena de pesca es inferior a la velocidad durante la navegación hasta el caladero o hasta el puerto base, es frecuente la utilización de alternadores de cola, para conseguir un mejor régimen de utilización del motor propulsor en la región de máximo rendimiento.

Se puede afirmar que la instalación de alternadores de cola y máquinas accionadas a través de puntos de fuerza son actuaciones que propician el aprovechamiento de la energía, de ahí que se haya extendido rápidamente y pueda decirse que ya es común en la flota pesquera española, sin embargo los alternadores de cola se han usado hasta ahora solamente en buques con hélice de paso variable por la necesidad de mantener un régimen de revoluciones constante para mantener la frecuencia.

Las tecnologías más recientes de motores con frecuencia variable, amplían el campo de utilización de los generadores de cola, posibilitando su uso en buques con hélice de paso fijo.

### 4.4.3.2. APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RESIDUALES.

Los barcos mercantes, de mayor porte que los pesqueros, montan sistemas y equipos que permiten el aprovechamiento de la energía térmica residual que genera la planta propulsora y que debe ser evacuada al medioambiente, localizada principalmente en los gases de exhaustación y en el agua de refrigeración.

Los barcos pesqueros carecen, en su mayoría, de sistemas adecuados para el aprovechamiento de las citadas energías térmicas residuales, debido, entre otras causas, a que por una parte se ha tratado de minimizar los costes de construcción de dichos barcos y, por otra parte, se ha considerado conveniente evitar la complicación de sus circuitos con objeto de que su operación y mantenimiento esté al alcance de las tripulaciones de los pesqueros, de menor cualificación que las tripulaciones de los mercantes. Por ello, salvo en pesqueros de grandes dimensiones no se han instalado hasta ahora dichos sistemas.

En el caso de los arrastreros del Mediterráneo, las limitaciones de espacio y la intermitencia del uso acentúan los problemas de utilización de estas tecnologías como puede verse en los apartados siguientes.

La mayoría de las tecnologías que se utilizan para recuperar energías residuales no son de aplicación a los buques contemplados en este proyecto por falta de espacio o porque podrían crear problemas de estabilidad al requerir la incorporación de equipos pesados y voluminosos en zonas altas.

Por estos motivos se ha desestimado la incorporación de tecnologías tales como la recuperación mediante plantas de vapor auxiliar, ya sea por medio de turbogeneradores o calderetas de exhaustación, o los equipos industriales de absorción.

La única opción que podría ser viable en este tipo de barcos pesqueros es la recuperación mediante equipos industriales de absorción que utilizan como fuente de energía el agua caliente, que podrían usarse para satisfacer las necesidades de climatización de las acomodaciones.



### 4.4.3.3. MOTORES ELECTRÓNICOS.

La electrónica, ampliamente utilizada en numerosos equipos y sistemas a bordo, se emplea ahora en los denominados motores electrónicos o inteligentes.

Estos motores aplican un sistema de control electrónico para su sistema de inyección de combustible de accionamiento hidráulico y su válvula de escape, así mismo de accionamiento hidráulico. La fuerza motriz procede de un circuito hidráulico, conocido como “common rail”, accionado por el propio motor, y que trabaja a una presión de unos 200 bar.

Estos motores suelen poseer sistemas de control que reciben la información de diferentes sensores localizados en zonas sensibles del motor que transmiten datos para que éste los evalúe y actúe. Se puede utilizar por control remoto desde cualquier parte del barco.

Los motores electrónicos se controlan mediante la regulación del flujo de combustible, no solo por la cantidad inyectada en la cámara de combustión, sino también por la presión, la sincronización y la duración de cada ciclo de inyección.

Aunque el precio de estos motores es hasta un 20% más elevado que el de los convencionales, sus ventajas son muchas, y entre ellas hay que destacar:

- La economía de consumo.
- Menores emisiones de NOx .
- Control eficaz del mantenimiento preventivo del motor.
- Registro de datos.
- Estrategias de protección.

Es esta, en resumen, una tecnología muy recomendable para aquellos buques que precisen un cambio de motor, hasta el momento no es viable la conversión de motores convencionales en electrónicos.

### 4.4.4. ACTUACIONES SOBRE HABILITACIÓN Y CUBIERTAS.

#### 4.4.4.1. ILUMINACIÓN.

El uso de sistemas de iluminación adecuados para barcos de pesca y la aplicación de la última tecnología disponible en el mercado (en términos tanto de calidad y bajo consumo como en vida útil de los equipos) permiten una importante reducción en el consumo energético (en torno al 25%) así como en el coste de mantenimiento y reposición.

En barcos nuevos se están integrando ya en el astillero luminarias modernas principalmente en el espacio exterior del barco. No obstante lo habitual es encontrarse buques que siguen utilizando potentes focos de hasta 2.000 W. Por otro lado, la iluminación interior suele obviarse en términos de ahorro energético, pero no hay que olvidar que se trata de una elevada cantidad de luminarias en funcionamiento prácticamente las 24 horas del día.

De modo general, para iluminación interior se utilizan fluorescentes de 18 W dispuestos en luminarias mejor o peor conservadas en función del habitáculo en el que se hallen. Así por ejemplo los camarotes, cocina y comedor suelen tener en buen estado las luminarias, si bien parques de pesca y bodega suelen tener las carcasas sucias y deterioradas como consecuencia de la actividad que se realiza en estos espacios.

Este hecho repercute no sólo en la eficacia de la transmisión de la luz sino que además, y puesto que se trata de lugares de trabajo, una correcta iluminación es fundamental para garantizar la visibilidad.



La adopción de las siguientes medidas pueden suponer un ahorro en el consumo energético:

- En tubos fluorescentes, la sustitución de las reactancias magnéticas por electrónicas supone pasar de un consumo de 8 W por cada tubo fluorescente a 1 W por cada punto de luz (que puede tener dos tubos). Además se elimina el efecto estroboscópico, lo que mejora el confort visual e incrementa la duración de la vida útil de la lámpara.
- Sustitución de los tubos de 18 W tradicionales (54- 765) por otros de 840 (puede haber en torno a 100 unidades en un palangrero o arrastrero de altura), que supone además un incremento en el flujo luminoso.
- La sustitución de las luminarias en mal estado, o bien limpieza de las que puedan recuperarse, para incrementar la transmisión de la luz a través de la carcasa.
- En el caso de existir bombillas incandescentes (de 60 a 100 W, en pañoles, baños...) por otras de bajo consumo (20 W) cuya vida útil es mucho mayor (12.000 horas frente a 1.000).
- Sustitución de los proyectores convencionales (halógenos lineales de 500, 1.000 y 2.000 W) por otros de halogenuros metálicos tubulares (de 250 ó 400 W), con flujo luminoso equiparable y una duración cinco veces mayor.

Se está estudiando la aplicabilidad del uso de tecnologías LED para iluminación exterior pero aún no se puede concluir sobre su utilidad salvo quizá en luces de posición. No obstante esta tecnología es, también en barcos pesqueros, muy prometedora.

#### 4.4.4.2. AIRE ACONDICIONADO, CALEFACCIÓN Y CLIMATIZACIÓN.

Existe la posibilidad de recuperar el calor residual del motor a través del uso de intercambiadores para calentar agua sanitaria y aclimatar las estancias del barco, mejorando el confort a bordo sin necesidad de incrementar el consumo.

Muchos barcos pesqueros de altura disponen de calentadores eléctricos de potencia relativamente baja (en torno a 2.000 W) para el agua de servicios sanitarios; respecto a la calefacción lo más habitual es utilizar radiadores eléctricos en los camarotes y comedor.

Instalar intercambiadores de calor que permitan calentar tanto el agua como las zonas de acomodo de la tripulación mediante la instalación de radiadores de agua convencionales es una opción muy rentable de ahorro energético si se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- En barcos ya existentes, sólo se recomendaría la instalación de una calefacción tradicional (y siempre con intercambiadores) en caso de que sea evidente el uso generalizado de calefactores eléctricos en los camarotes.
- En barcos de nueva construcción, sería recomendable instalar una calefacción tradicional con intercambiadores, ya que de lo contrario con el paso del tiempo se acaban instalando radiadores eléctricos.
- En el caso del ACS se estima su amortización en un plazo aproximado de tres años, y un posterior ahorro que podría llegar (para un palangrero tipo con una tripulación de 15 personas) a los 1.800 litros anuales.



#### 4.4.5. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS.

Aunque son varias las alternativas energéticas que de manera teórica se podrían aplicar a la actividad de la pesca y muchas las referencias bibliográficas, cuando se trata de ponerlas en marcha la realidad es diferente. Existe una profunda diferencia en cualquier actividad "cotidiana" en tierra cuando se traslada al mar, mucho más acentuada en barcos que se dedican a la pesca.

Las condiciones de la actividad pesquera son muy duras desde un punto de vista humano y laboral, y el ambiente en el mar muy hostil. El trabajo se realiza en espacios muy reducidos y aprovechados al máximo.

La insuficiencia de adaptación normativa para la aplicación en mar (y particularmente a la pesca) de sistemas que ya funcionan en tierra, así como la "desconfianza" del propio sector pesquero (reacios a ser pioneros en cambios), son elementos que ralentizan enormemente la evolución y aplicación de nuevos combustibles y sistemas en el sector.

Es necesario contar con un fuerte apoyo de la administración para facilitar el avance y para minimizar los riesgos económicos del cambio, pero es también imprescindible la colaboración del propio sector para encontrar armadores dispuestos a ser los primeros en dejar sus barcos para realizar pruebas piloto.

No es tarea sencilla; no obstante en los últimos años hay movimiento en esta línea en algunos puertos españoles. Se trabaja en conjunto entre puertos pesqueros, empresas de sector pesquero y energético, centros tecnológicos, con el apoyo de las administraciones autonómicas y estatal (Galicia, Cataluña y País Vasco destacan por sus iniciativas en I+D+i energética aplicada a la pesca). Destacan asimismo los resultados de carácter práctico obtenidos.

##### 4.4.5.1. GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

Se trata de una mezcla gaseosa de butano y propano que se almacena a presión (15 atm) en estado líquido. Es más denso que el aire, lo que implica que su aplicación a buques para propulsión sea más delicada por razones de seguridad; asimismo el almacenaje debe realizarse en tanques independientes y requiere la implantación de sistemas de control, seguridad, detección de gases y otros elementos más exigentes y complejos que en el caso del gasóleo o de la gasolina.

No hay constancia de la aplicación del GLP en propulsión de barcos de pesca de altura o de litoral, pero sí de pesca artesanal. El Centro Tecnológico de la Pesca (CETPEC) lideró esta iniciativa en Galicia para que 25 embarcaciones de pesca artesanal modificaran sus motores a gasolina para que pudieran utilizar GLP como combustible.

La adaptación técnica del motor, rápida y sencilla, consiste en la instalación de un kit y en la colocación de los amarres de las bombonas.



Lancha a GLP



Kit y bombonas embarcación con motor fueraborda



El coste de este gas es inferior al de la gasolina y la experiencia en estas embarcaciones (algunas de ellas con el kit instalado desde 2006) demuestran ahorros económicos medios de un 34% debido al combustible.

El impacto ambiental derivado de esta medida es muy importante y muy positivo, pues se elimina totalmente el riesgo de vertido de hidrocarburos a las rías (ecosistemas muy frágiles y sometidos a una fuerte presión antrópica), a la vez que se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y el ruido.

### 4.4.5.2. BIODIÉSEL.

Su uso es factible técnicamente y se podrían utilizar los mismos motores que hay en el barco, aunque su empleo hace disminuir el rendimiento del motor. Su almacenaje no requiere medidas de seguridad especiales.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> son menores pero no así las de NO<sub>x</sub>. No obstante, los derrames en el agua resultan menos contaminantes. Considerando solamente el precio de ambos combustibles, el uso del biodiésel no resulta rentable para los barcos de pesca.

### 4.4.5.3. GAS NATURAL LICUADO (GNL)

La aplicación del gas natural licuado ha sido estudiada en diferentes proyectos ya que es un combustible que efectivamente se puede considerar una alternativa factible para barcos de pesca. Menos denso que el aire, está compuesto principalmente por metano. Se trata de un combustible alternativo técnicamente adecuado para barcos de pesca. Sin embargo, el rendimiento de un motor de gas natural es menor que el de un motor diésel.

A modo de referencia, el precio del gas natural licuado en diciembre de 2010 era de 27,1 €/MWh, y el del gasóleo en esa misma fecha era de 68,0 €/MWh.

No obstante, el sistema de almacenamiento a bordo encarece el cómputo global. La estrategia de transporte más adecuada para barcos de pesca es por almacenamiento refrigerado en tanques criogénicos (15 atm a -160 oC).

Debido a la necesidad de más espacio para almacenar la misma cantidad de combustible equivalente al gasóleo, se convierte en un factor limitante a la hora de aplicar GNL a los barcos de pesca, donde el espacio es muy limitado y donde se necesita una autonomía de semanas para barcos de altura.

Sobre la aplicación a la flota pesquera, se ha constatado a través de un estudio realizado sobre la flota de Celeiro (que cuenta con una importante representación pesquera en bajura, litoral y altura), que la aplicación a barcos de arrastre de litoral sería más factible dado que tienen las bodegas sobredimensionadas, de modo que se podría utilizar el espacio sobrante para colocar los tanques. Además, estos barcos vuelven a puerto a diario por lo que la autonomía estaría asegurada para cada marea.

Comparado con otros combustibles, el gas natural presenta ventajas desde el punto de vista medioambiental ya que reduce los óxidos de nitrógeno en más de un 85%, prácticamente no emite partículas, no contiene plomo ni trazas de metales pesados, contribuye a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y reduce la contaminación acústica.

La propulsión mediante GNL está en pleno desarrollo, existiendo en la actualidad solamente en buques noruegos en operación.



#### 4.4.5.4. HIDRÓGENO.

La aplicación de hidrógeno a barcos está en fase de desarrollo y se puede decir que los sistemas de pila de combustible y de hidrógeno, para ser competitivas, deben reducir drásticamente el precio. Su implantación sólo será posible si se produjera una importante subida del precio del petróleo.

Es interesante el papel de las energías renovables en la fabricación de hidrógeno, pues éste sería un combustible muy adecuado para trasladar al barco la energía producida en tierra.

Destaca el proyecto CENIT SPHERA en el campo de la investigación de la aplicabilidad del hidrógeno en el sector naval.

La vida útil de las baterías es otro factor limitante por su baja autonomía. Además la fiabilidad de las pilas de combustible es limitada, pues el stack o conjunto de monoceldas que generan corriente a partir del hidrógeno es un elemento muy sensible y con una vida útil muy pequeña. Comparativamente con cualquier motor de combustión interna este sistema no es competitivo.

Orientado a su posible uso en la pesca el sistema de suministro podría diseñarse mediante el almacenamiento a presión del hidrógeno generado, por ejemplo, en los campos eólicos. Por otro lado el almacenamiento de hidrógeno en aplicaciones navales es un punto crítico que requiere una especial atención desde el punto de vista de la seguridad.

#### 4.4.5.5. CORRIENTES MARINAS

Existe la posibilidad de disminuir el consumo de combustible en los barcos que trabajan al arrastre conociendo la dirección y velocidad de las corrientes marinas.

Durante la maniobra de arrastre el patrón mantiene la velocidad de avance del barco a una velocidad de consigna. A esta velocidad se mantiene la forma de la red a la vez que se realiza el arrastre.

Es posible conocer la intensidad y dirección de la corriente instalando sensores de filtrado, para poder así adecuar la velocidad de arrastre y la dirección de la red a las corrientes marinas.

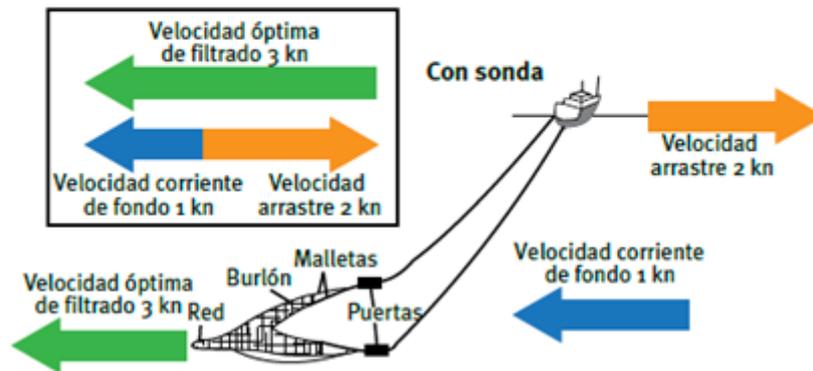
A modo de ejemplo, para conseguir una velocidad de filtrado de tres nudos en una red que está sometida a una corriente de agua de un nudo (información suministrada por el sensor), es suficiente que el barco mantenga una velocidad de avance de dos nudos, y no de tres. Reduciendo la velocidad del barco se está ahorrando combustible.

#### Esquema de arrastrero sin información de sensor de filtrado





### Esquema de arrastrero con información de sensor de filtrado





## 5. CONCLUSIÓN.

Como conclusión, parece obvio afirmar que existen multitud de medidas o acciones a tomar sobre la flota pesquera española de pequeño tamaño para la optimización del empleo de la energía a bordo, en ningún caso estas medidas deben ser adoptadas sin un estudio previo de la embarcación y una evaluación correcta del funcionamiento de los sistemas a bordo.

Pero con las medidas adecuadas, y según estudios realizados por importantes instituciones a nivel estatal, se puede afirmar que la media de ahorro por embarcación y sistema, una vez adoptadas las reformas pertinentes, quedaría de esta forma (a título orientativo):

MEDIDA	AHORRO DE COMBUSTIBLE ESTIMADO	INVERSION REQUERIDA
Puertas	5-20%	8.000-15.000€
Redes de arrastre	5-20%	14.000-22.000€
Adecuación de la velocidad e instalación de un caudalímetro	5-16%	4.300€
Acondicionamiento sala de máquinas	3,4%	7.300€
Instalación polarizador en el circuito de alimentación de combustible	2-4%	5.200-9.500€
Instalación reductora múltiple reducción	5-12%	30.000-35.000€
Instalación hélice paso controlable	6-15%	20.000-125.000€
Limpieza y disminución rugosidad casco y apéndices	4-5%	2.000€
Instalación flaps, quillas de balance y estabilizadores	1-3%	6.000-8.000€
Bulbos	3-5%	30.000-35.000€
Distribución eficiente pesos	5-10%	6.000-8.000€

*Ahorros alcanzados por cada medida ensayada.*

MEDIDA	AHORRO COMBUSTIBLE ESTIMADO
Reducción resistencia equipo de pesca	10-40% (fase de arrastre)
Mejora sistema de propulsión	5-16%
Mejora motor y adecuación cámara máquinas	2-7%
Disminución resistencia del buque	1-10%
Operación eficiente del buque	16%

*Fuente. Proyecto ESB Cataluña.*

Se debe puntualizar que muchas de las modificaciones que se recomiendan son de pequeña entidad, y por lo tanto de bajo coste, y están avaladas por la experiencia acumulada, de muchos años de ejercicio profesional en el complejo mundo del barco pesquero.

- Existe la certeza de un sobredimensionamiento de los motores y por lo tanto de las potencias instaladas, llegando en algunos casos a los 1.100 kW. Esta situación, muy común en los arrastreros del Mediterráneo corresponde a otras épocas en las que primaba la velocidad de navegación. En la situación actual, con los altísimos costes del combustible, todos los barcos navegan a velocidades reducidas, 10 – 11 nudos, tanto en la aproximación a los caladeros como en el regreso a puerto.
- Algunos buques disponen de bulbo de proa, el resto tienen proas convencionales con amplio abanico de proa y roda lanzada. Esto supone de media una ganancia de velocidad estimada en 3 ÷ 4 décimas de nudo aproximadamente respecto a los barcos sin bulbos.

Manteniendo la velocidad, la incorporación del bulbo puede suponer, en términos de potencia, un ahorro de un 8-10%. Esto puede confirmarse en los estudios de mediante CFD, en los que se aprecia una clara disminución de resistencia de presión en las proas cuando se incorpora un bulbo.

En consecuencia es altamente recomendable la incorporación de un bulbo postizo en todas aquellas unidades que carecen del mismo. Es una operación perfectamente factible y sencilla, siempre que el proyecto se estudie cuidadosamente y, además, no excesivamente onerosa.



- Los estudios de CFD señalan una disminución de Resistencia si se elimina el asiento. Por ello en la mayoría de los casos se recomendará la incorporación de flaps o, mejor todavía, cuñas y/o pantallas deflectoras de flujo que eleven el espejo del buque cuando navega a la velocidad operativa actual.
- Según estudios vistos los planos de formas y la disposición general de algunos buques, reflejan casos en los que la hélice está demasiado pegada al codaste. Como consecuencia, el flujo que le llega al disco del propulsor no está suficientemente uniformizado, lo que hace que puedan producirse fluctuaciones de presión y pérdidas en el rendimiento propulsivo. En aquellos casos en los que parezca posible, se recomendará separar la hélice intercalando un eje de cola y proteger su extremo de popa con un guardacabos. A la vista de los finales de las líneas de agua, se puede tratar de añadir si es posible un carenado suplementario para uniformizar todavía más las líneas de corriente a la entrada del disco de la hélice.
- Los propulsores habitualmente están correctamente proyectados y se ajustan bastante bien a las dos condiciones de servicio del buque: arrastre y navegación libre. En algunos casos, la realización de las pruebas demostrará, por diversas razones, que las hélices resultan pesadas, es decir, no alcanzan las revoluciones nominales en la condición de navegación libre sin que se sobrecargue el motor. En estos casos, se recomendará practicar un recorte en el borde de salida del propulsor, para disminuir el paso. Esta operación es sencilla y se puede realizar en seco sin desmontar la hélice del eje de cola.
- La incorporación de hélices en tobera a los arrastreros del Mediterráneo ha tenido, desde antiguo, una fuerte resistencia por parte de los Armadores, que siempre han alegado que el buque perdía velocidad. Sin dejar de ser cierto, el incremento del precio del combustible ha cambiado radicalmente el escenario y el ahorro de potencia/consumo con este sistema propulsor puede ser considerable –no menos de un 15%- en la condición de arrastre que ocupa, como poco, el 70% del tiempo de servicio de la embarcación, lo que supone como mínimo un 10% del total. Esta actuación tiene un coste moderado pues, además de incorporar el apéndice hay que sustituir la hélice por otra especial para funcionar en tobera, pero su implementación podría contar con ayudas estructurales.
- Según la experiencia de los patrones, la pérdida de velocidad de la embarcación entre dos varadas o, lo que es lo mismo, con el casco sucio o limpio, puede estimarse en un cuarto de nudo.

La utilización de nuevas pinturas a base de copolímeros de flúor y siliconas, garantizan una disminución de la resistencia viscosa que se puede cifrar hasta en un 6% de ahorro de la potencia, dependiendo de las condiciones. Estas nuevas pinturas son, sin duda, más caras que las convencionales (hasta un 50%) pero, además del ahorro tienen la ventaja adicional de que se pueden espaciar las varadas hasta dos años, como mínimo.

- Para las embarcaciones que disponen de hélice transversal de proa para atraques y maniobras de puerto y de arrastre me ha sido imposible encontrar información acerca de medidas que se puedan llevar a cabo para ahorrar energía.
- Se realizarán los cambios de aceite y filtros periódicamente (cada 350–400 horas de funcionamiento del motor), el equipo de pesca y de cubierta deberá estar cuidadosamente puesto a punto. El mantenimiento de ventilación tanto en cámara de máquinas como en habitación debe ser revisado con cuidado, de todos es sabido que un exceso de temperatura en cámara de máquinas (más de 50°) puede suponer pérdidas de potencia de un 10%. Por ello, recomendará, en varios casos sustituir la ventilación y aspiración natural por ventilación forzada y procurar inyectar aire directamente encima de las turbosoplantes para que estas entren y funcionen sin retraso.
- Cualquier resquicio que dé lugar a una mejora en el rendimiento de los sistemas puede ser beneficioso, así, se recomienda la monitorización de los sistemas de pesca empleados. Abundan los medidores de apertura horizontal de la boca de la red, los ecosondas de profundidad y otros equipos, todos ellos sumamente útiles, sobre todo a grandes profundidades, para conocer, en todo momento, el despliegue y comportamiento del arte.



### 5.1. REGLAS PARA EL AHORRO Y LA EFICIENCIA EN EMBARCACIONES Y BUQUES DE PESCA. (CETPEC).

- Es fundamental implicar a la tripulación en el proceso de ahorro energético.
- El buque debe estar optimizado para la tarea que se pretende realizar.
- Gestionar adecuadamente la velocidad del buque es de máxima importancia para disminuir el consumo. Debe seleccionarse según las necesidades reales de operación valoradas desde un punto de vista objetivo.
- El motor y la hélice representan más del 70% del consumo total de energía del buque. Cualquier estudio de ahorro energético debe iniciarse en este punto.
- El motor propulsor debe mantenerse el mayor tiempo posible cercano a su régimen óptimo (80-85 % de su potencia nominal) y su potencia debe seleccionarse teniendo esto en cuenta. Lo mismo sucede con los motores auxiliares.
- La selección correcta de la hélice es de gran importancia para aumentar la eficiencia energética del buque.
- Debe realizarse un correcto mantenimiento de los motores del buque y principalmente del motor propulsor.
- La correcta limpieza del casco y el propulsor minimizan la resistencia al avance y, por tanto, también el consumo.
- Cuando sea posible, se recomienda el uso de los servicios de puerto y en especial la electricidad, en sustitución de la generada a bordo.
- El aprovechamiento del calor residual es otra de las opciones en que se pueden obtener elevadas mejoras en la eficiencia energética del buque.
- Al valorar la posible adopción de medidas de ahorro energético, hay que tener en cuenta también los beneficios que implica la reducción de las emisiones contaminantes asociada a las mismas.
- En las embarcaciones pesqueras se pueden aplicar medidas de ahorro energético que no implican inversión económica y otras que sí implican inversión inicial.
- Existe una velocidad de navegación en la que la relación consumo/velocidad es óptima en función, principalmente, de las características del motor, la hélice y las formas de la embarcación. Navegando a dicha velocidad la relación consumo energético/milla recorrida es mínima.
- La optimización de la logística en las diferentes modalidades de navegación se pueden traducir en una reducción importante en el consumo anual de cada embarcación.
- En el caso de barcos de altura que trabajan cerca de tierra pero lejos de su puerto base puede resultar atractivo para ahorrar combustible trasladar la carga por camión y seguir faenando, en lugar de realizar el viaje de vuelta.
- Alargar el tiempo de la marea (reduciendo el número de desplazamientos hasta y desde el caladero) puede ser ventajoso si se emplean técnicas de conservación de la frescura del pescado a bordo, o incluso optar por la congelación de las capturas de los primeros días.
- El control del sistema de hélice de paso variable, empleando el mayor paso posible de la hélice en cada estado operativo, dará lugar al menor régimen de giro del motor de propulsión y menor consumo energético.
- Es posible conseguir un ahorro energético en las embarcaciones sustituyendo determinados equipos de iluminación tanto interior como exterior.
- Sustituir la tradicional cocina de placas por una de inducción puede alcanzar un ahorro energético directo durante el funcionamiento de un 45% e incrementa la seguridad a bordo.
- Instalando un intercambiador de calor convencional es posible aprovechar el calor residual de refrigeración del motor para producir agua caliente para consumo y calefacción.
- En embarcaciones de altura, modificando el paso de la hélice o bien sustituyéndola para adaptarla a la situación real de operación del motor, se obtendría un doble beneficio: el motor trabajaría de manera más eficiente y la hélice tendría un mayor rendimiento.



- En embarcaciones fueraborda la adaptación del paso de la hélice a las condiciones propias de cada embarcación puede suponer un ahorro importante del combustible consumido.
- La instalación de un sistema de generación de cola en palangreros de Gran Sol supone un importante ahorro en el consumo energético de los sistemas auxiliares.
- El uso de cables y redes de arrastre de material orgánico provoca una disminución del peso a transportar por el barco (el peso de la red disminuye de forma considerable), que puede dar lugar a una importante reducción del consumo en arrastre.
- Las puertas de arrastre verticales optimizan su eficiencia hidrodinámica (no arrastra por el suelo) a la vez que mantienen su eficacia productiva. Suponen un menor peso y esfuerzo para la embarcación durante la maniobra de arrastre.
- La instalación de un sensor de velocidad de filtrado en la red permite adaptar la velocidad de arrastre en función de la dirección e intensidad de la corriente de fondo. Se evita mantener velocidades excesivamente altas que además originan un consumo excesivo de combustible.
- Para las embarcaciones de artes menores con motor fueraborda a gasolina existe la posibilidad de adaptar el motor para que pueda utilizar gas licuado de petróleo (GLP) con un ahorro económico cercano al 34% anual.



## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- **Juan Manuel Liria Franch y José Fernando Núñez Basáñez:** “AUDITORIAS ENERGÉTICAS DE ARRASTREROS DEL MEDITERRÁNEO”. Octubre. 2012.
- **IDAE:** “Ahorro y Eficiencia Energética en Buques de Pesca”. Marzo. 2009.
- **IDAE:** “Ahorro y Eficiencia Enegética en Buques de Pesca. Experiencias y Prácticas”. Junio. 2011.
- **ANAVE:** “Plan de Gestión de la Eficiencia Energética SEEMP”. 2012.
- **International Maritime Organization (IMO):** “GUIDANCE FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP)”. Agosto. 2009.
- **Wilson, J.D.K.** “Medidas de ahorro de combustible y de costos para armadores de pequeñas embarcaciones pesqueras”. FAO. Documento Técnico de Pesca 383. 2005.
- **Pérez Sobrino , M., Callejón Baena , J. L.:** “Comportamiento de un propulsor de paso controlable en diferentes condiciones de funcionamiento”. Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo. 1978.
- **Núñez Basáñez , J.F.:** “Resultados obtenidos en arrastreros con hélices en tobera. Apuntes sobre buques pesqueros”. ETSIN. Sección de Publicaciones. 1984.
- **Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino:** “El Libro Blanco de la Pesca”. 2007.
- **Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino:** “Estadísticas Pesqueras”. Diciembre de 2008.
- **International Maritime Organization (IMO):** “Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978”. Febrero.2003.
- **Fondo Europeo de la Pesca en España (FEP):** “Proyecto ESB Cataluña, rentabilidad y sostenibilidad en la pesca de arrastre”. Septiembre. 2011.
- **IDAE:** “RESUMEN SOBRE EL DESARROLLO DE LA MEDIDA DEL PLAN DE ACCIÓN 2008-2012 . MEJORA DEL AHORRO Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR PESQUERO”. Marzo. 2010.
- **MEPC.OMI:** “Report of the Marine Environment Proteccion Committee on it’s 55º sesión”. Julio. 2009.
- **BOE:** “Resolución MEPC.203(62), ENMIENDAS AL ANEXO DEL PROTOCOLO DE 1997 QUE ENMIENDA EL CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR LOS BUQUES, 1973, MODIFICADO POR EL PROTOCOLO DE 1978”. Julio.2011.
- **MARPOL:** “Código Técnico NOx”. 2008.



ANEXO I. PROTOCOLO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA.

A1.1. DATOS GENERALES.

A1.1.1. DATOS GENERALES DE LA EMBARCACIÓN.

Datos generales identificativos de la embarcación			
Titular de la embarcación			
Domicilio social			
Tipo de barco <sup>(1)</sup>			
Población	Provincia	Código postal	
Datos persona de contacto	Cargo	Teléfono	Correo electrónico
Año de construcción		Tipo de embarcación	
Dimensiones			
Lpp (m)	B trazado (m)	T medio (m)	
Peso en rosca (t)	Capacidad de carga (TRBs)		
<small>(1) Referido a su actividad: arrastrero de litoral, arrastrero de altura, etc.</small>			
Datos generales de cámara de máquinas			
<i>Propulsor</i>			
Hélice	Número	Paso fijo	Paso variable
	Tipo de paso		
	Número de palas		
	Diámetro exterior (m)		
Otros	Características		
Datos generales de cámara de máquinas			
<i>Motores principales</i>			
Número de motores			
Motor 1	Potencia nominal (CV)	Constantes (rpm)	Variables
	Régimen (rpm)		
Motor 2	Potencia nominal (CV)	Constantes (rpm)	Variables
	Régimen (rpm)		
<i>Reductora</i>			
Índice de reducción			
Número de entradas	Motores principales		
	Otros (indicar cuántos y cuáles)		
Número de salidas	Hélices		
	Equipos de pesca		
	Alternador		
	Otros equipos (indicar cuántos y cuáles)		
<i>Motores auxiliares</i>			
Número de motores			
Motor 1	Potencia nominal (CV)		
	rpm		
Motor 2	Potencia nominal (CV)		
	rpm		
Motor 3	Potencia nominal (CV)		
	rpm		



A1.1.2. DATOS EMPRESA AUDITOR.

Datos empresa auditora			
Nombre de la empresa			
Domicilio social			
Población	Provincia	Código postal	
Responsable de la empresa auditora			
Nombre y Apellidos	Cargo	Teléfono	Correo

A1.2. DATOS DE FUNCIONAMIENTO INTERNO.

A1.2.1. GASTOS E INGRESOS.

Datos de funcionamiento interno	
Año	
Euros/litro combustible	
Precio medio (euros/kg pescado capturado)	
Toneladas de capturas anuales	
Litros combustible consumidos/año	
Número mareas/año	
Duración de marea (h)	
Gastos anuales (euros)	
Gasto anual en personal	
Gasto anual mantenimiento	
Gastos financieros- gastos amortizaciones	
Gasto anual en combustible	
Otros gastos	
<b>Total gastos anuales</b>	
<b>Total gastos por marea*</b>	
Ingresos anuales (euros)	
Ingresos amortizaciones	
Ingresos por venta de capturas	
Otros ingresos	
<b>Total ingresos anuales</b>	
<b>Total ingresos por marea *</b>	

\* Aplíquese la cantidad anual entre el número de mareas al año



A1.3. DATOS TÉCNICOS Y ENERGÉTICOS DE LA EMBARCACIÓN.

A1.3.1. CONSUMOS POR CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN Y MAREA.

En este capítulo se presentan unas tablas con los datos técnicos y energéticos fundamentales para la realización de la auditoría. De cara a facilitar la toma de datos, se considera necesario como mínimo, determinar el consumo y generación real de los motores principales y en cuanto al resto de los elementos, calcular el consumo teniendo en cuenta la potencia y una estimación de las horas de funcionamiento.

Las medidas reales de los diferentes sistemas que consumen energía en un buque, supone un despliegue elevado de sensores. Estas medidas complementan el cálculo recomendado en el párrafo anterior y dan mayor precisión al cálculo del consumo energético; además, la toma de datos de consumo de energía relacionados con la posición del buque en cada momento y su operación, hacen que los resultados y las mejoras a proponer sean más reales y eficientes.

Los datos horarios de funcionamiento, producción, etc., determinan el consumo en un periodo temporal (día, marea, año...). Lo recomendable sería trabajar por marea para homogeneizar todos los índices de rendimiento.

Horas operación por marea	
Horas navegando*	
Horas largando	
Horas virando	
Horas arrastrando	
Otros	

\* Se incluye navegación entre caladeros



A1.3.1.1 CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN – NAVEGACIÓN.

DATOS TÉCNICOS Y ENERGÉTICOS SEGÚN CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN								
Navegación								
Velocidad (Kn)		Horas <sup>(2)</sup>		rpm del motor		% ángulo de pala de la hélice		
Motores								
Motores principales						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kWh)	Hélices	Alternadores de cola	Otros equipos
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Energía total producida por motores principales (kWh)								
Motores auxiliares						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kWh)	Alternadores	Otros equipos	Alimentación PTI
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Motor 4								
Energía total producida por motores auxiliares (kWh)								
Energía total producida por motores (kWh)								
Alternadores								
	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación		% potencia nominal producida		Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>		
Alternador 1								
Alternador 2								
Alternador 3								
Alternador 4								
Alternador de cola 1								
Alternador de cola 2								
PTI*								
WARD LEONARD								
Otros								
Energía total producida por los alternadores (kWh)								

(2): Horas de operación para esa condición de navegación.

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(\*): Téngase en cuenta que la PTI transforma la energía eléctrica consumida en energía mecánica para propulsión.



Equipos consumidores de energía						
Sistema de frío						
		Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Sistema de refrigeración de bodegas	Compresores					
	Bomba					
Sistema de refrigeración de gambuzas	Compresores					
	Bomba					
Sistema de refrigeración túnel de congelación	Compresores					
	Bomba					
Sistema de generador de hielo	Compresores					
	Bomba					
Otros	Compresores					
	Bomba					
Energía total consumida frío (kWh)						
Agua sanitaria						
		Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Grupo hidróforo agua dulce sanitaria						
Grupo hidróforo agua salada sanitaria						
Calentador de agua						
Generador de agua dulce						
Otros						
Energía total consumida agua sanitaria (kWh)						

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



Cocina							
	Tipo (eléctrico, etc.)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida		Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>	
Placas							
Horno							
Microondas							
Otros							
Energía total consumida cocina (kWh)							
Centrales hidráulicas							
	Equipos accionados por la central (indicar cuáles)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida		Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>	
Central 1							
Central 2							
Central 3							
Otros							
Energía total consumida centrales hidráulicas (kWh)							
Equipos de arte de pesca							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Indicar accionamiento (motor principal, auxiliar...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Haladores							
Maquinillas arrastre							
Tambores							
Pasquetas							
Power block							
Otros							
Energía total consumida equipos de arte de pesca (kWh)							
Equipos de carga-descarga							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida		Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Grúas							
Maquinillas							
Otros							
Energía total consumida equipos de carga-descarga (kWh)							

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Equipos aire acondicionado y calefacción</i>						
	Tipo	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Aire acondicionado	Compresor					
Calefacción	Radiadores					
	Resistencias					
	Otros					
<b>Energía total consumida equipos de aire acondicionado y calefacción (kWh)</b>						
<i>Iluminación exterior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
<b>Energía total consumida iluminación exterior (kWh)</b>						
<i>Iluminación interior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
<b>Energía total consumida iluminación interior (kWh)</b>						

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<b>Ventiladores</b>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Cámara de máquinas					
Parque de pesca					
Túnel de congelación					
Otros					
<b>Energía total consumida ventiladores (kWh)</b>					
<b>Equipo de puente</b>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Equipos de navegación					
Pesca					
Comunicaciones					
Otros					
<b>Energía total equipo de puente (kWh)</b>					
<b>Bombas</b>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Achique					
Contra incendios					
Baldeo					
Servicios generales					
Otras					
<b>Energía total consumida bombas (kWh)</b>					
<b>Energía total consumida por equipos en navegación (kWh)</b>					

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



A1.3.1.2 CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN – LARGANDO.

DATOS TÉCNICOS Y ENERGÉTICOS SEGÚN CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN								
Largando								
Velocidad (Kn)		Horas <sup>(2)</sup>		rpm del motor		% ángulo de pala de la hélice		
Motores								
Motores principales						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kWh)	Hélices	Alternadores de cola	Otros equipos
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Energía total producida por motores principales (kWh)								
Motores auxiliares						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kWh)	Alternadores	Otros equipos	Alimentación PTI
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Motor 4								
Energía total producida por motores auxiliares (kWh)								
<b>Energía total producida por motores (kWh)</b>								
Alternadores								
	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación		% potencia nominal producida		Energía producida (kW h) <sup>(3)</sup>		
Alternador 1								
Alternador 2								
Alternador 3								
Alternador 4								
Alternador de cola 1								
Alternador de cola 2								
PTI*								
WARD LEONARD								
Otros								
Energía total producida por los alternadores (kWh)								

(2): Horas de operación para esa condición de navegación.

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(\*): Téngase en cuenta que la PTI transforma la energía eléctrica consumida en energía mecánica para propulsión.



Equipos consumidores de energía						
Sistema de frío						
		Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Sistema de refrigeración de bodegas	Compresores					
	Bomba					
Sistema de refrigeración de gambuzas	Compresores					
	Bomba					
Sistema de refrigeración túnel de congelación	Compresores					
	Bomba					
Sistema de generador de hielo	Compresores					
	Bomba					
Otros	Compresores					
	Bomba					
<b>Energía total consumida frío (kWh)</b>						
Agua sanitaria						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>	
Grupo hidróforo agua dulce sanitaria						
Grupo hidróforo agua salada sanitaria						
Calentador de agua						
Generador de agua dulce						
Otros						
<b>Energía total consumida agua sanitaria (kWh)</b>						

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Cocina</i>							
	Tipo (eléctrico, etc.)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>		
Placas							
Horno							
Microondas							
Otros							
Energía total consumida cocina (kWh)							
<i>Centrales hidráulicas</i>							
	Equipos accionados por la central (indicar cuáles)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>		
Central 1							
Central 2							
Central 3							
Otros							
Energía total consumida centrales hidráulicas (kWh)							
<i>Equipos de arte de pesca</i>							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Indicar accionamiento (motor principal, auxiliar...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Haladores							
Maquinillas arrastre							
Tambores							
Pasquetas							
Power block							
Otros							
Energía total consumida equipos de arte de pesca (kWh)							
<i>Equipos de carga-descarga</i>							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>	
Grúas							
Maquinillas							
Otros							
Energía total consumida equipos de carga-descarga (kWh)							

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Equipos aire acondicionado y calefacción</i>						
	Tipo	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh)
Aire acondicionado	Compresor					
Calefacción	Radiadores					
	Resistencias					
	Otros					
<b>Energía total consumida equipos de aire acondicionado y calefacción (kWh)</b>						
<i>Iluminación exterior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
<b>Energía total consumida iluminación exterior (kWh)</b>						
<i>Iluminación interior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
<b>Energía total consumida iluminación interior (kWh)</b>						

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Ventiladores</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Cámara de máquinas					
Parque de pesca					
Túnel de congelación					
Otros					
<b>Energía total consumida ventiladores (kWh)</b>					
<i>Equipo de puente</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Equipos de navegación					
Pesca					
Comunicaciones					
Otros					
<b>Energía total equipo de puente (kWh)</b>					
<i>Bombas</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Achique					
Contra incendios					
Baldeo					
Servicios generales					
Otras					
<b>Energía total consumida bombas (kWh)</b>					
<b>Energía total consumida por equipos largando (kWh)</b>					

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



A1.3.1.3 CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN – VIRANDO.

DATOS TÉCNICOS Y ENERGÉTICOS SEGÚN CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN								
Virando								
Velocidad (Kn)	Horas <sup>(2)</sup>		rpm del motor		% ángulo de pala de la hélice			
Motores								
Motores principales						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kW h)	Hélices	Alternadores de cola	Otros equipos
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Energía total producida por motores principales (kWh)								
Motores auxiliares						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kW h)	Alternadores	Otros equipos	Alimentación PTI
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Motor 4								
Energía total producida por motores auxiliares (kWh)								
Energía total producida por motores (kWh)								
Alternadores								
	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación		% potencia nominal producida		Energía producida (kW h) <sup>(3)</sup>		
Alternador 1								
Alternador 2								
Alternador 3								
Alternador 4								
Alternador de cola 1								
Alternador de cola 2								
PTI*								
WARD LEONARD								
Otros								
Energía total producida por los alternadores (kWh)								

(2): Horas de operación para esa condición de navegación.

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(\*): Téngase en cuenta que la PTI transforma la energía eléctrica consumida en energía mecánica para propulsión.



Equipos consumidores de energía						
Sistema de frío						
		Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Sistema de refrigeración de bodegas	Compresores					
	Bomba					
Sistema de refrigeración de gambuzas	Compresores					
	Bomba					
Sistema de refrigeración túnel de congelación	Compresores					
	Bomba					
Sistema de generador de hielo	Compresores					
	Bomba					
Otros	Compresores					
	Bomba					
Energía total consumida frío (kWh)						
Agua sanitaria						
		Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Grupo hidróforo agua dulce sanitaria						
Grupo hidróforo agua salada sanitaria						
Calentador de agua						
Generador de agua dulce						
Otros						
Energía total consumida agua sanitaria (kWh)						

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Cocina</i>							
	Tipo (eléctrico, etc.)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>		
Placas							
Horno							
Microondas							
Otros							
Energía total consumida cocina (kWh)							
<i>Centrales hidráulicas</i>							
	Equipos accionados por la central (indicar cuáles)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>		
Central 1							
Central 2							
Central 3							
Otros							
Energía total consumida centrales hidráulicas (kWh)							
<i>Equipos de arte de pesca</i>							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Indicar accionamiento (motor principal, auxiliar...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kW h) <sup>(3)</sup>
Haladores							
Maquinillas arrastre							
Tambores							
Pasquetas							
Power block							
Otros							
Energía total consumida equipos de arte de pesca (kWh)							
<i>Equipos de carga-descarga</i>							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>	
Grúas							
Maquinillas							
Otros							
Energía total consumida equipos de carga-descarga (kWh)							

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Equipos aire acondicionado y calefacción</i>						
	Tipo	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh)
Aire acondicionado	Compresor					
Calefacción	Radiadores					
	Resistencias					
	Otros					
Energía total consumida equipos de aire acondicionado y calefacción (kWh)						
<i>Iluminación exterior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
Energía total consumida iluminación exterior (kWh)						
<i>Iluminación interior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
Energía total consumida iluminación interior (kWh)						

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Ventiladores</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Cámara de máquinas					
Parque de pesca					
Túnel de congelación					
Otros					
<b>Energía total consumida ventiladores (kWh)</b>					
<i>Equipo de puente</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Equipos de navegación					
Pesca					
Comunicaciones					
Otros					
<b>Energía total equipo de puente (kWh)</b>					
<i>Bombas</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Achique					
Contra incendios					
Baldeo					
Servicios generales					
Otras					
<b>Energía total consumida bombas (kWh)</b>					
<b>Energía total consumida por equipos virando (kWh)</b>					

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



A1.3.1.4. CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN – ARRASTRANDO.

DATOS TÉCNICOS Y ENERGÉTICOS SEGÚN CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN								
Arrastrando								
Velocidad (Kn)		Horas <sup>(2)</sup>		rpm del motor		% ángulo de pala de la hélice		
Motores								
Motores principales						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kW h)	Hélices	Alternadores de cola	Otros equipos
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Energía total producida por motores principales (kWh)								
Motores auxiliares						Equipos accionados (indicar cuáles)		
	Tipo de combustible	Pot. media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kWh)	Alternadores	Otros equipos	Alimentación PTI
Motor 1								
Motor 2								
Motor 3								
Motor 4								
Energía total producida por motores auxiliares (kWh)								
Energía total producida por motores (kWh)								
Alternadores								
	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación		% potencia nominal producida		Energía producida (kW h) <sup>(3)</sup>		
Alternador 1								
Alternador 2								
Alternador 3								
Alternador 4								
Alternador de cola 1								
Alternador de cola 2								
PTI*								
WARD LEONARD								
Otros								
Energía total producida por los alternadores (kWh)								

(2): Horas de operación para esa condición de navegación.

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(\*): Téngase en cuenta que la PTI transforma la energía eléctrica consumida en energía mecánica para propulsión.



Equipos consumidores de energía					
Sistema de frío					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Sistema de refrigeración de bodegas	Compresores				
	Bomba				
Sistema de refrigeración de gambuzas	Compresores				
	Bomba				
Sistema de refrigeración túnel de congelación	Compresores				
	Bomba				
Sistema de generador de hielo	Compresores				
	Bomba				
Otros	Compresores				
	Bomba				
Energía total consumida frío (kWh)					
Agua sanitaria					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Grupo hidróforo agua dulce sanitaria					
Grupo hidróforo agua salada sanitaria					
Calentador de agua					
Generador de agua dulce					
Otros					
Energía total consumida agua sanitaria (kWh)					

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Cocina</i>							
	Tipo (eléctrico, etc.)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>		
Placas							
Horno							
Microondas							
Otros							
Energía total consumida cocina (kWh)							
<i>Centrales hidráulicas</i>							
	Equipos accionados por la central (indicar cuáles)	Potencia nominal (kW)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>		
Central 1							
Central 2							
Central 3							
Otros							
Energía total consumida centrales hidráulicas (kWh)							
<i>Equipos de arte de pesca</i>							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Indicar accionamiento (motor principal, auxiliar...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Haladores							
Maquinillas arrastre							
Tambores							
Pasquetas							
Power block							
Otros							
Energía total consumida equipos de arte de pesca (kWh)							
<i>Equipos de carga-descarga</i>							
	Tipo (eléctrico, hidráulico...)	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>	
Grúas							
Maquinillas							
Otros							
Energía total consumida equipos de carga-descarga (kWh)							

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Equipos aire acondicionado y calefacción</i>						
	Tipo	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh)
Aire acondicionado	Compresor					
Calefacción	Radiadores					
	Resistencias					
	Otros					
<b>Energía total consumida equipos de aire acondicionado y calefacción (kWh)</b>						
<i>Iluminación exterior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
<b>Energía total consumida iluminación exterior (kWh)</b>						
<i>Iluminación interior</i>						
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Tipo luminaria	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
<b>Energía total consumida iluminación interior (kWh)</b>						

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



<i>Ventiladores</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Cámara de máquinas					
Parque de pesca					
Túnel de congelación					
Otros					
<b>Energía total consumida ventiladores (kWh)</b>					
<i>Equipo de puente</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Equipos de navegación					
Pesca					
Comunicaciones					
Otros					
<b>Energía total equipo de puente (kWh)</b>					
<i>Bombas</i>					
	Unidades operando <sup>(4)</sup>	Potencia nominal (kW/Ud)	% tiempo en operación	% potencia nominal consumida	Energía consumida (kWh) <sup>(3)</sup>
Achique					
Contra incendios					
Baldeo					
Servicios generales					
Otras					
<b>Energía total consumida bombas (kWh)</b>					
<b>Energía total consumida por equipos arrastrando (kWh)</b>					

(3): Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (2) por los datos de las columnas precedentes.

(4): Se refiere sólo a los equipos operativos en esta condición de navegación, no a los instalados.



A1.3.2. CONSUMOS TOTALES POR MAREA.

Consumos energéticos totales por marea y equipos		
Consumidores	Energía total (kWh)	% sobre el total potencia consumida
Sistema de frío		
Agua sanitaria		
Cocina		
Centrales hidráulicas		
Equipos de arte de pesca		
Equipos de carga-descarga		
Equipos aire acondicionado y calefacción		
Iluminación exterior		
Iluminación interior		
Ventiladores		
Equipo de puente		
Bombas		

Consumos por marea de motores						
Motores		Potencia media desarrollada (kW) <sup>(*)</sup>	Consumo medio (l/h) <sup>(*)</sup>	Energía total (kWh)	Consumo marea (l)	Ratio (l/kW)
Motores principales	Motor 1					
	Motor 2					
	Motor 3					
Motores auxiliares	Motor 1					
	Motor 2					
	Motor 3					
	Motor 4					
<b>Total</b>						

(\*): Para el calculo de estos parámetros se deberá tener en cuenta que es la suma de ese parámetro en cada condicion de navegación por el tiempo relativo en esa condición.

A1.4. Ratios de operación.

Ratios por marea		
Coste medio combustible	€/l	
Energía total consumida por capturas (Energía TOTAL producida por todos los motores/Cantidad de pescado capturado por marea en kg)	kWh/kg pescado	
Energía consumida en equipos y sistemas por capturas (Σ Energía total consumida por equipos para cada condición de navegación/Cantidad de pescado capturado por marea en kg)	kWh/kg pescado	
Combustible invertido por capturas (Consumo TOTAL de todos los motores por marea/Cantidad de pescado capturado por marea en kg)	l/kg pescado	
Energía consumida por marea (Energía TOTAL producida por todos los motores/Cantidad de tiempo empleado en una marea en horas)	kWh/horas de marea	
Energía consumida en equipos y sistemas por marea (Σ Energía total consumida por equipos para cada condición de navegación/Cantidad de tiempo empleado en una marea en horas)	kWh/horas de marea	
Combustible invertido por tiempo de marea (Consumo TOTAL de todos los motores por marea/Cantidad de tiempo empleado en una marea en horas)	l/horas de marea	
Combustible invertido por energía total generada (Consumo TOTAL de todos los motores por marea/Energía TOTAL producida por todos los motores)	l/kWh	
Gasto en combustible en una marea/gastos totales (Consumo TOTAL de todos los motores por marea/TOTAL de gastos por marea)	(%)	



**A1.5 RECOMENDACIONES.**

Se incluirán las recomendaciones sobre las mejoras que deberían llevarse a cabo, tanto en el diseño como en el manejo de los distintos equipos, priorizando la implantación de las mismas en función de la dificultad de implantación así como de su repercusión energética y económica. En caso de que una de las recomendaciones sea la sustitución del motor principal, se marcará como destacada esta opción y se indicará claramente la potencia recomendada para el nuevo motor. (Añadir tantas como sean necesarias).

Mejoras recomendadas relativas a una marea						
	Inversión necesaria (€)	Ahorro energético (kWh/marea)	Ahorro combustible (l/marea)	Incremento costes de mantenimiento (€/marea)	Ahorro neto total (€/marea)	Amortización (mareas)
MEJORA Nº 1						
	DESCRIPCIÓN:					
MEJORA Nº 2						
	DESCRIPCIÓN:					
MEJORA Nº 3						
	DESCRIPCIÓN:					
MEJORA Nº 4						
	DESCRIPCIÓN:					