



AUDITORÍA ENERGÉTICA DE ARRASTREROS DEL MEDITERRÁNEO





CEPESCA POR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



cepesca

Confederación Española de Pesca

***Auditoría energética de
Arrastreros del Mediterráneo***

Asociaciones Colaboradoras:
Asopesca, OP Marina Alta, Asociación Local de Empresarios
de Pesca Litoral de Castellón de la Plana



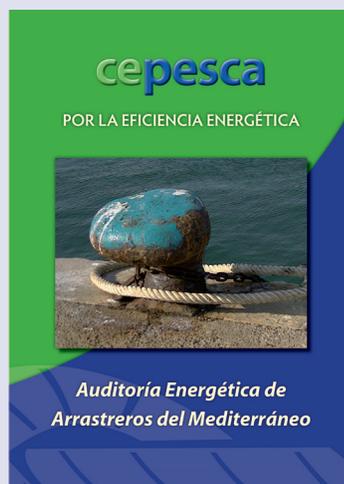
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



UNION EUROPEA
Fondo Europeo de Pesca (FEP)







ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
• OBJETIVOS CIENTÍFICO-TECNOLOGICOS (p. 12)	
• OBJETIVOS ECONÓMICOS (p.12)	
• OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES (p. 13)	
3. CONTRIBUCION DEL PROYECTO A LOS OBJETIVOS DE LA PCP	14
4. PLAN DE TRABAJO	14
4.1. SELECCIÓN DE LAS FLOTAS OBJETO DEL TRABAJO (p. 14)	
4.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO PROPULSIVO Y OPERATIVO (p. 17)	
4.2.1. <i>Determinación del comportamiento del buque mediante CFD</i>	
<i>General</i>	
<i>Metodología</i>	
<i>Ejemplo de Cálculo de los Pesqueros Auditados</i>	
4.2.2. <i>Determinación de las condiciones de trabajo del EP</i>	
4.2.3. <i>Análisis de la gestión de la energía a bordo</i>	
4.2.4. <i>Estudio de viabilidad económica</i>	
<i>Identificación de las actuaciones</i>	
<i>Generación de Costes</i>	
<i>Caso Práctico</i>	





	Página
5. METODOLOGÍA	34
5.1. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO (p. 35)	
<i>Consideraciones sobre las formas de los pesqueros</i>	
<i>Consideraciones sobre la Resistencia a la Marcha en pesqueros</i>	
<i>Predicción de la Resistencia al Avance de Pesqueros</i>	
<i>Oportunidad de la instalación de Bulbos de Proa</i>	
<i>Consideraciones sobre la Operación del Buque</i>	
<i>Análisis de la operación de los buques arrastreros</i>	
5.2. ANÁLISIS DE LA PROPULSIÓN (p. 49)	
<i>Motor principal. Rendimiento según carga demandada</i>	
<i>Consideraciones sobre la Adecuación de la Hélice</i>	
<i>Condiciones de Mantenimiento</i>	
<i>Recorte o sustitución de las hélices</i>	
<i>Reductores de dos Velocidades</i>	
5.3. GESTION DE LA ENERGÍA A BORDO (p. 64)	
5.3.1. <i>Selección de auxiliares. Alternativas de funcionamiento</i>	
5.3.2. <i>Consumidores principales</i>	
5.3.3. <i>Integración del tren propulsivo en la generación de potencia eléctrica y accionamiento de equipo</i>	
5.3.4. <i>Aprovechamiento de Energías Residuales</i>	
5.3.5. <i>Utilización de Motores Electrónicos</i>	
5.3.6. <i>Gestión de la lubricación</i>	
6. RECONOCIMIENTO Y PRUEBAS DE MAR DE LOS BUQUES	72
6.1. RECONOCIMIENTO DEL BUQUE (p. 72)	
6.2. PRUEBA DE VELOCIDAD EN NAVEGACIÓN LIBRE (p. 73)	
6.3. PRUEBA DE TIRO A PUNTO FIJO (p. 74)	
6.4. EQUIPOS EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS (p. 78)	
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
8. BIBLIOGRAFÍA	83
APÉNDICE: OTROS ASPECTOS DEL CONSUMO VINCULADOS A LA ACTIVIDAD	85
ANEXO: PROTOCOLO DE RECONOCIMIENTO DE LA EMBARCACIÓN	91





Figura 1. Arrastreros en puerto

1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto objeto del presente informe se enmarca en la línea de actuación de Auditorías Energéticas, contemplada en la Orden ARM/1193/2009, así como en el artículo 9-a) del Reglamento (CE) nº 744/2008 de 24-7-08, referido a Auditorías energéticas en buques de pesca.

Ha sido liderado por CEPESCA (Confederación Española de Armadores de Pesca) y sus asociaciones, mientras la ETS de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid, ha sido la encargada de la realización del Trabajo Técnico y Científico, así como de las Actuaciones de Campo.

CEPESCA es una Entidad Asociativa sin ánimo de lucro del sector pesquero extractivo, de carácter nacional, y cuenta entre sus asociados con un buen número de las Asociaciones empresariales pesqueras, constituidas en diferentes puertos del Mediterráneo, que agrupan buques de arrastre.

Como instrumentos para la realización de la Investigación se promovieron dos Acuerdos de Colaboración, el primero con el Departamento de Sistemas Oceánicos y Navales (DEPSON), adscrito a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), cuyo personal se ha encargado de la realización del trabajo científico y de las actuaciones de campo, y el segundo con las Asociaciones Empresariales Pesqueras integradas en CEPESCA, que han sido las encargadas de gestionar las relaciones con los Armadores concretos que han puesto sus buques a disposición del proyecto, y de resarcir a los mismos de los gastos producidos.

Entre otras actividades, el DEPSON, a través de los investigadores del Área de Ingeniería de los Recursos Oceánicos (IRO) ha realizado numerosos proyectos, estudios e investigaciones sobre temas relacionados con la Pesca Marítima y, en los últimos años, ha dedicado parte de su esfuerzo a la investigación en el campo del ahorro energético en los buques de pesca, y al desarrollo de tecnologías innovadoras para el mismo.

Las Asociaciones de Cepesca que han participado en el segundo Acuerdo de Colaboración citado, son todas ellas Asociaciones Empresariales que cuentan entre sus miembros con armadores de buques de pesca de arrastre del mediterráneo, y son las siguientes:

- Asociación Provincial de Empresas de la pesca de Almería (ASOPESCA).
- Asociación Local de Empresarios de Pesca Costera o Litoral de Castellón de la Plana.
- Organización de Productores Pesqueros de la Marina Alta (Denia, Calpe y Jávea).



2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVOS CIENTÍFICO-TECNOLOGICOS

Un objetivo tecnológico claro ha sido suministrar a la industria herramientas que permitan la incorporación de una mayor cultura de eficiencia energética, mediante la consolidación del procedimiento de auditorías energéticas, tal como el que se plantea aquí, de forma que, en el futuro, sean los actores del propio sector quienes lo demanden a corto plazo para identificar soluciones de mejora.

La utilización de tecnologías avanzadas para la realización de análisis hidrodinámicos que incorpora la propuesta, y los métodos para comprobar la eficiencia con la que están trabajando realmente en el mar las plantas propulsora y generadora, pueden ser muy útiles igualmente en el futuro para contrastar la eficacia de las medidas aplicadas.

OBJETIVOS ECONÓMICOS

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.

Dado que el consumo de combustible representa una de las más importantes partidas en los costes de explotación del tipo de buques a estudio, es un objetivo primordial del proyecto el alcanzar soluciones de mejora de la eficiencia energética que puedan ser aplicadas de forma económica en la flota existente y permitan mejorar directamente la cuenta de resultados de los buques con un período de retorno de la inversión reducido.

El objetivo económico del proyecto no pasa por obtener soluciones mágicas al problema del combustible, que obviamente no existen, sino en aprovechar la experiencia de los solicitantes y



Figura 2. Arrastrero llegando a puerto

de los investigadores y técnicos que han colaborado en el proyecto, para caracterizar el origen del problema y proponer soluciones aplicables a corto y medio plazo.

Asimismo, la comparación de los resultados de las auditorías energéticas entre buques que, si bien se dedican a la misma pesquería, son de distinto tamaño y construcción, permitirá comparar la eficiencia energética entre unos y otros, posiblemente revelando al armador que la inversión en buques más eficientes y menos contaminantes es posible y rentable.

La aplicación de estas soluciones de mejora repercutiría en la I+D y la industria naval española así como en otras flotas con similares problemas, y se estima que es posible alcanzar reducciones de consumo de entre un 5% y un 25% en función de la inversión y alcance de las soluciones implementadas.

Por último, la colaboración de los armadores y el contraste con los análisis económicos, son esenciales para hacer una correcta selección entre las variadas soluciones tecnológicas disponibles para la mejora de la eficiencia energética que existen, pues solamente aquellas que mejoren la rentabilidad final de los buques serán aceptadas.



Figura 3. Labores en puerto

OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES

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.

3. CONTRIBUCION DEL PROYECTO A LOS OBJETIVOS DE LA POLÍTICA PESQUERA COMÚN

Los objetivos generales de la PPC están enunciados en el Artículo 33 del Tratado y quedaron reformulados en el Reglamento (CE) no 2371/2002 del Consejo, de 20 de diciembre de 2002, sobre la conservación y la explotación sostenible de los recursos pesqueros en virtud de la política pesquera común, como: "La explotación sostenible de los recursos acuáticos vivos y de la acuicultura, en el contexto de un desarrollo sostenible, y teniendo en cuenta de manera equilibrada los aspectos medioambientales, económicos y sociales.

La situación creada, por los sucesivos incrementos de los precios del gasoil, que se iniciaron a partir de la primavera de 2004 y desembocaron en la crisis de primavera-verano de 2008, produjo graves y generalizadas dificultades económicas y sociales en todo el sector pesquero, y llevó a la UE a la aprobación del Reglamento 744 de 24 de julio de 2008, por el que se establece una acción específica temporal para promover la reestructuración de las flotas pesqueras de la Comunidad Europea afectadas por la crisis económica.

En el mismo se establecen medidas temporales para fomentar nuevas técnicas de pesca que consuman menos energía, así como la posibilidad de contribuir con fondos comunitarios a acciones colectivas para la realización de auditorías energéticas de grupos buques. Es claro pues que este tipo de medidas, cuya ejecución se prevé en el presente proyecto para un grupo de buques de un segmento determinado de flota española, quedaron así perfectamente encuadradas en el cumplimiento de los objetivos de la PPC.

4. PLAN DE TRABAJO

A continuación se resumen las principales tareas y acciones desarrolladas:

4.1. SELECCIÓN DE LAS FLOTAS OBJETO DEL TRABAJO

a) Selección de los buques que participarán en el proyecto

La fase de selección de los buques objeto de las auditorías ha corrido a cargo del personal de CEPESCA, junto con las Asociaciones de Armadores afectadas indicadas anteriormente, que agrupan al colectivo de buques.

La selección final de los puertos ha sido realizada por CEPESCA, buscando un equilibrio entre sus asociaciones. Por razones prácticas, y para limitar y aprovechar al máximo los desplazamientos de los equipos, se han concentrado las actuaciones en un número limitado de puertos (5) para, de esta forma poder alcanzar con el mismo esfuerzo un mayor número de buques de la flota analizada y poder llegar así a los 32 buques arrastreros que se habían fijado finalmente como objetivo.

La selección de los buques individuales dentro de cada puerto o asociación fue realizada por esas mismas asociaciones entre los buques que se presenten voluntarios, dando preferencia a los más modernos, al suponerse que tienen una mayor vida útil y que, por tanto, en ellos podría ser más rentable efectuar las reformas que se pudieran derivar de la auditoría.

b) Obtención de la documentación técnica de cada uno de los buques seleccionados

En esta actuación se ha recabado toda la información disponible de los buques. Cada uno de los armadores ha aportado, como mínimo, la siguiente documentación:

- Plano de Formas y toda aquella información relacionada con las características hidrodinámicas del buque.
- Experiencia de Estabilidad, Condiciones de Carga, Hidrostáticas, Curvas KN, etc.
- Equipo propulsor: Motor Principal, Hélice, Tobera, etc.
- Maquinaria Auxiliar: Grupos Generadores, Alternadores, Compresores, Equipo de Frío, etc.
- Información disponible de consumos

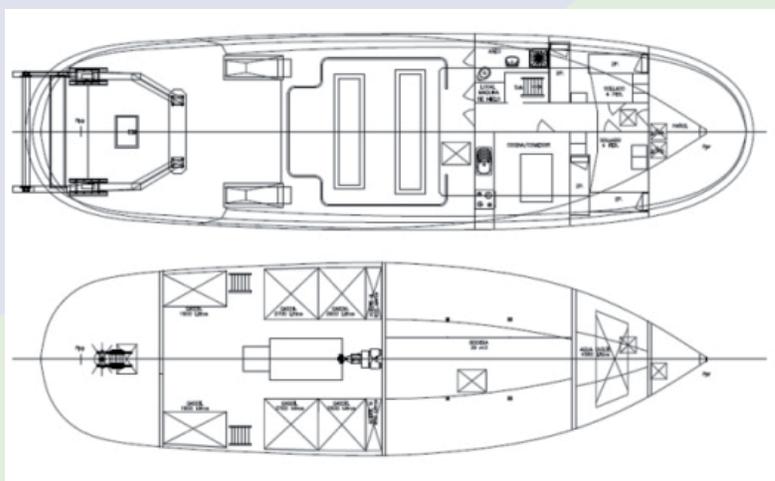
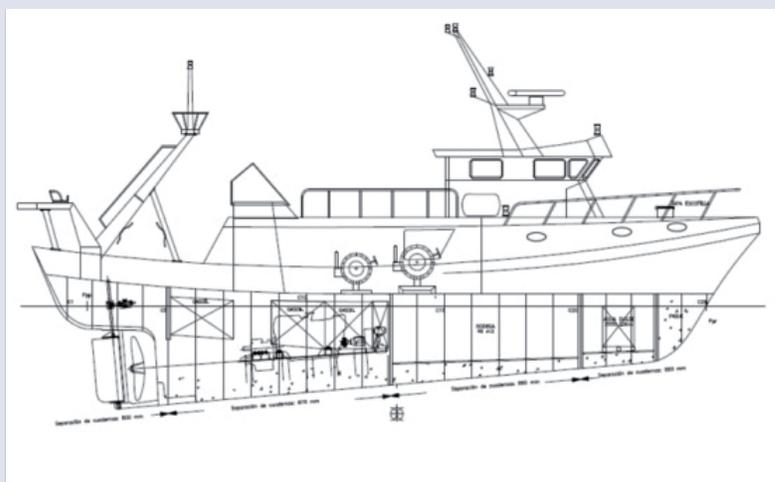


Figura 4. Disposición general de un Buque Arrastrero

Las dificultades encontradas en este capítulo han sido de cierta importancia ya que, por sus características y por la dispersión geográfica, la flota de arrastreros del Mediterráneo tiene un nivel de organización bajo, lo que implica una mayor dificultad para conseguir y contrastar datos técnicos, especialmente en buques de una cierta edad, de tal forma que, en muchos casos, ha sido necesario recurrir a los astilleros constructores (aquellos que todavía no han cerrado), o

a los fabricantes de equipos y, muchas veces, ni aun así ha sido posible recabar la información necesaria. Es por ello que esta labor ha requerido la convergencia de los esfuerzos de todos los participantes.

c) Análisis de la información

La información recopilada ha sido supervisada y analizada por el Grupo de Trabajo de la ETSIN que, en algunos casos, ha podido completar aquella por medio de gestión directa con los astilleros y talleres que aún se mantienen activos. Toda la información ha sido tratada de forma confidencial, con total respeto a la legislación vigente relativa a la protección de datos.

d) Reconocimiento a flote 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.



Figura 5. Arrastrero en seco.

4.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO PROPULSIVO Y OPERATIVO

4.2.1. Determinación del comportamiento del buque mediante CFD

4.2.1.1. General

Los avances numéricos e informáticos copan cada día parcelas en donde la metodología experimental era su único ocupante. El mundo hidrodinámico no es ajeno a esta tendencia y son muchos los desarrollos informáticos que abogan por ser capaces de dar resultados de tanta fiabilidad como los tradicionales ensayos hidrodinámicos.

Actualmente, las simulaciones numéricas llevadas a cabo mediante ordenador se han convertido en una herramienta insustituible para la optimización de formas. Los comúnmente llamados CFD (siglas de la expresión anglosajona Computational Fluid Dynamics) permiten probar un gran número de carenas en un corto espacio de tiempo y con un coste económico reducido en comparación con el que tendrían los ensayos tradicionales. Resulta lógico, por tanto, utilizarlos en las primeras etapas de diseño para detectar desde un principio los fallos de concepto, entendiéndose como tales los aspectos que no siendo indispensables por otras consideraciones del proyecto perjudican gravemente la resistencia al avance. A pesar de que la precisión en el cálculo de la resistencia no es muy alta, los métodos potenciales son los más utilizados para mejorar las formas y son los que se utilizan en la realización de esta Investigación.

Por otra parte, los resultados ofrecidos por el ordenador permiten visualizar el comportamiento del fluido en cada punto del casco, mientras que en los ensayos con modelos, únicamente se obtienen resultados globales como la resistencia o el trimado. Por este motivo, es mucho más fácil encauzar las modificaciones parciales que se puedan realizar en un buque ya construido hacia una disminución de la resistencia, sin tener que fiarse el investigador solamente de su intuición y experiencia profesional.

No obstante, los ensayos de resistencia en canal siguen siendo necesarios. En el estado del arte actual no es posible estimar la resistencia total con la precisión requerida por los astilleros y armadores, y algunos fenómenos importantes, como puede ser por ejemplo la interacción entre la hélice y el casco, no han sido modelizados numéricamente de forma satisfactoria. Sin embargo, los cálculos por ordenador permiten reducir al mínimo los ensayos de canal, limitándose estos a probar una o dos alternativas y a determinar el propulsor y la planta propulsora.

En este contexto, el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la ETSIN lleva años invirtiendo grandes esfuerzos en el desarrollo de programas informáticos en numerosos campos, como pueden ser la maniobrabilidad, el comportamiento en la mar y, naturalmente, la resistencia al avance. En este orden de cosas, el Centro dispone del programa CFX de ANSYS para la resolución de problemas hidrodinámicos mediante la utilización de la ecuación de Navier-Stokes promediada (RANS). Este programa ha sido validado en la ETSIN con cascos de distintos tipos de pesqueros, modelos similares a los que se estudian en este trabajo.

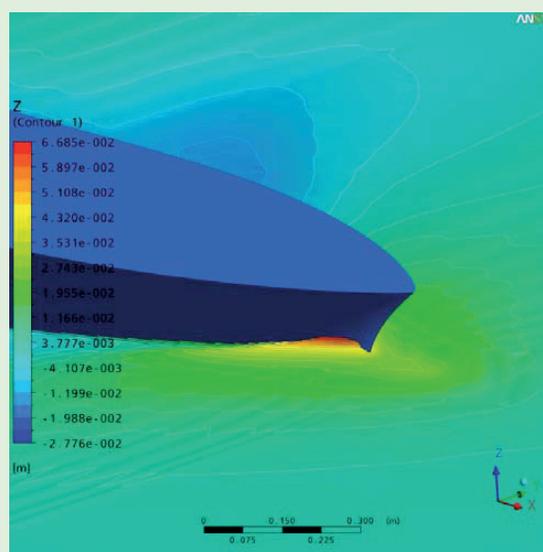


Figura 6. Aplicación de CFD. Entrada de olas.



4.2.1.2. Metodología

El objetivo del presente estudio ha consistido en realizar un análisis comparativo de la resistencia al avance que presentan una serie de embarcaciones pesqueras. Este análisis se ha llevado a cabo simulando el movimiento de cada uno de los buques en el seno de dos fluidos, el agua y el aire, utilizando métodos computacionales, CFD's.

Los CFD ("Computational Fluid Dynamics") son herramientas matemáticas que permiten resolver de forma aproximada las ecuaciones que gobiernan el movimiento del fluido alrededor de un buque.

El Método de los Paneles.

Las leyes que rigen el comportamiento de los fluidos se pueden resumir en unas ciertas relaciones entre la variación de velocidad del fluido y las causas que provocan esta variación, que son las diferencias de presión, la viscosidad entre partículas y la acción de la gravedad. Estas relaciones las cumple tanto el agua que se encuentra en el interior de un vaso como los gases a velocidad supersónica que produce un cohete espacial.

Se trata, por lo tanto de un problema bien determinado, pero no por ello simple. El sistema de ecuaciones diferenciales al que se llega si imponemos dichas leyes no tiene solución conocida mas que en cascos muy sencillos como puede ser el flujo paralelo a una placa plana o alrededor de un cilindro. En todos los demás casos es necesario actuar de forma numérica; es decir, se considera un caso en particular y se encuentra una distribución de velocidades y de presiones que cumpla las leyes de la mecánica de fluidos en un cierto número de puntos, que llamaremos puntos de control. Así obtendremos una solución aproximada, que será más parecida a la exacta cuantos más puntos de control tomemos.

Existe una infinidad de métodos numéricos. Una gran familia está formada por los que distribuyen los puntos de control en todo el volumen del fluido e imponen en los mismos formas discretizadas de las ecuaciones diferenciales que rigen el fenómeno. El método utilizado en este estudio pertenece a la otra gran familia. Se parte de unas soluciones particulares y se combinan para conseguir en flujo global que cumpla las condiciones de contorno del problema.



Figura 7. Arrastrero de formas modernas

El campo de velocidades potencial producido por un panel plano sobre el cual se haya colocado una distribución uniforme de manantiales es conocido. Dado un cierto panel y una intensidad de los manantiales, se puede calcular directamente la velocidad inducida en cualquier punto del espacio. En el método desarrollado se representa el casco del buque y la superficie del agua cercana al casco como dos superficies formadas por paneles. Se supone que en cada panel hay una distribución uniforme de manantiales, pero cuya intensidad desconocemos. Además, se sitúa en el centro de cada panel un punto de control. En los puntos de control que se encuentran sobre el casco ha de cumplirse que la velocidad del líquido sea tangente al panel. En los que se encuentran en la superficie del agua deben cumplirse las dos condiciones siguientes:

- La cinemática indica que la velocidad del líquido debe ser tangente a la superficie libre.
- La dinámica dice que la presión tiene que ser igual a la presión atmosférica.

Gracias a la Ecuación de Bernoulli podemos transformar estas dos ecuaciones en una sola. No es necesario imponer las leyes de la mecánica de fluidos pues el flujo global será la suma de los producidos por todos los paneles y cada uno de ellos cumple dichas leyes. El problema se limita a encontrar el valor de los manantiales en cada uno de los paneles para que cumplan las condiciones en todos los puntos de control.

Los métodos de los paneles tienen como ventaja que permiten obtener resultados más preciso de las velocidades en la superficie del casco con un número mucho menor de puntos de control. El inconveniente es que no se conocen las velocidades en el seno del fluido. Pueden calcularse posteriormente pero entonces este método sería bastante más lento. Para estudios de resistencia al avance solo nos interesan las presiones sobre el casco, por los que los métodos de paneles son muy aconsejables.

El código desarrollado en la ETSIN se basa en el método de paneles con superficie libre que fue introducido inicialmente por Dawson {1977}. Este código calcula el flujo con superficie libre alrededor de un buque mediante el método de las fuentes de Rankine de la forma propuesta por Dawson y ha sido desarrollado por el equipo de hidrodinámica numérica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid.

El procesador gráfico de nuestra plataforma informática permite la visualización del perfil de ola y de las distribuciones de presión y velocidad alrededor del buque. Las rutinas gráficas utilizadas son OPEN GL. La malla que se ha utilizado para discretizar la carena, se ha construido aproximando por "splines" cúbicos las líneas de agua y distribuyendo regularmente sobre éstos, los vértices de los paneles que forman dicha malla.

Para la obtención de las simulaciones se ha considerado a ambos fluidos con viscosidad y densidad constante (véase Tabla 1). Se trata de un código RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) en volúmenes finitos y se ha elegido el modelo de turbulencia k-ε.

TABLA 0.1: VALORES DE REFERENCIA PARA EL AGUA DE MAR Y EL AIRE ATMOSFÉRICO

	Densidad [kg/m ³]	Viscosidad [kg/(m·s)]
Agua de mar	1026,65	0,0012165
Aire atmosférico	1,19	0,1855080



4.2.1.3. Ejemplo de Cálculo para uno de los Pesqueros Auditados

El estudio presenta, en cada caso, la misma estructura para poder realizar un análisis comparativo más eficiente. Una vez especificadas las características del buque y las características informáticas se procede a la descripción de los resultados de las simulaciones. En este último apartado se define la resistencia al avance, la potencia de remolque y un indicador de la resistencia por formación de olas.

Este indicador se ha calculado representando gráficamente la altura de la superficie libre frente a la eslora, todo ello adimensionalizado mediante ésta, y hallando el área encerrada bajo la curva elevada al cuadrado para representar en cierta medida la energía transmitida a las olas. No conviene olvidar que la energía de las olas es una función del cuadrado de su amplitud.

Se ha considerado la elevación de la superficie libre en un corte de ola situado a 0.05565B y desde la intersección de la eslora de flotación con el casco hasta dos esloras por detrás del buque, siguiendo las directrices de la ITTC.

Además, se incluye en cada caso una representación de la distribución de presiones y una imagen cenital de la superficie libre.

Características del buque

Como ejemplo de aplicación se ha elegido uno de los buques que han sido auditados cuyas características principales son las siguientes:

- Eslora entre perpendiculares, Lpp	22,45 m
- Manga, B	6,70 m
- Puntal, D	3,12 m
- Desplazamiento, Δ	90,7 Tm
- Calado en perpendicular de proa, Tpr	2,86 m*
- Calado en perpendicular de popa, Tpp	2,09 m*
- Calado medio, Tm	2,48 m*

(*) Los calados están referidos a la Línea de Base

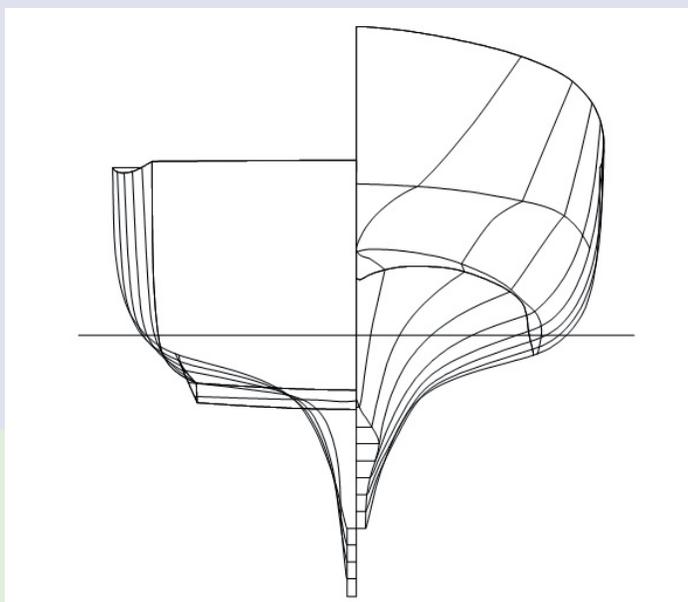


Figura 8. Caja de cuadernas

En la Figura 8 aparece reflejada la Caja de Cuadernas del Plano de Formas real del Buque, proporcionado en formato digital por el Astillero constructor

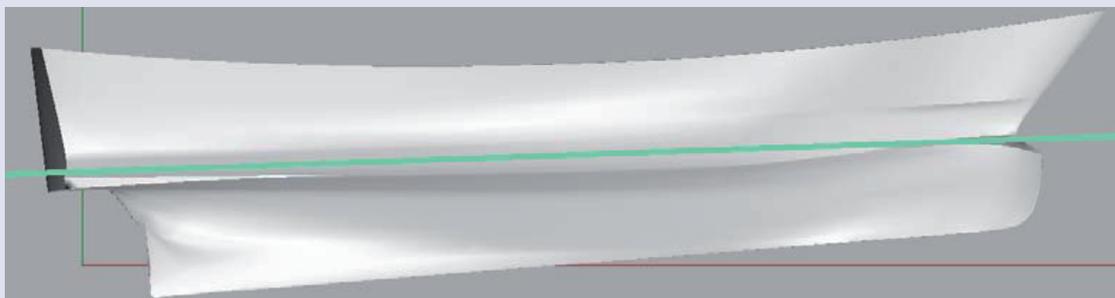


Figura 9. Perfil del buque y posición de la línea de flotación

En las Figuras 9 y 10 se muestran los resultados gráficos de las modelizaciones:

- Perfil del buque y posición de la línea de flotación
- Perspectiva del buque



Figura 10. Perspectiva del buque

Características informáticas (Según el Método de los Paneles)

- Número de elementos de la malla: _____ 2.335.229
- Tiempo de cálculo (h): _____ 26,8
- Ordenador y número de procesadores: _____ 7

En las Figuras 11 y 12 se muestran diversas vistas del mallado o panelizado resultante de los cálculos por ordenador.

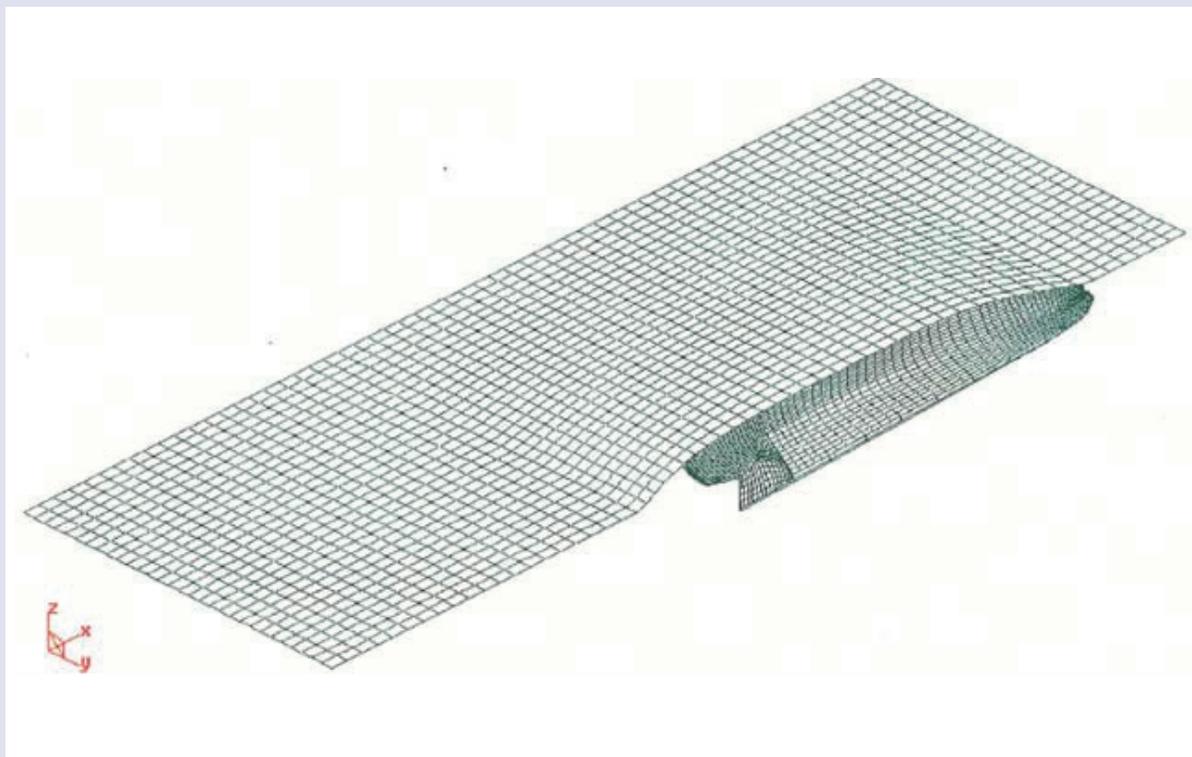


Figura 11. Panelización del casco y de la superficie libre



Figura 12. Panelización tren de olas

Presiones y Velocidades

En las Figuras 13 y 14 se han reflejado las distribuciones de velocidades y presiones alrededor del casco, resultantes de la modelización. En la carena, con bulbo, se producen unos gradientes más suaves en las zonas del bulbo y la zona de transición entre velocidades extremas entre el bulbo y el shoulder es más amplia. Todo ello implica, como debe ser, menor disipación de energía que en una carena sin bulbo

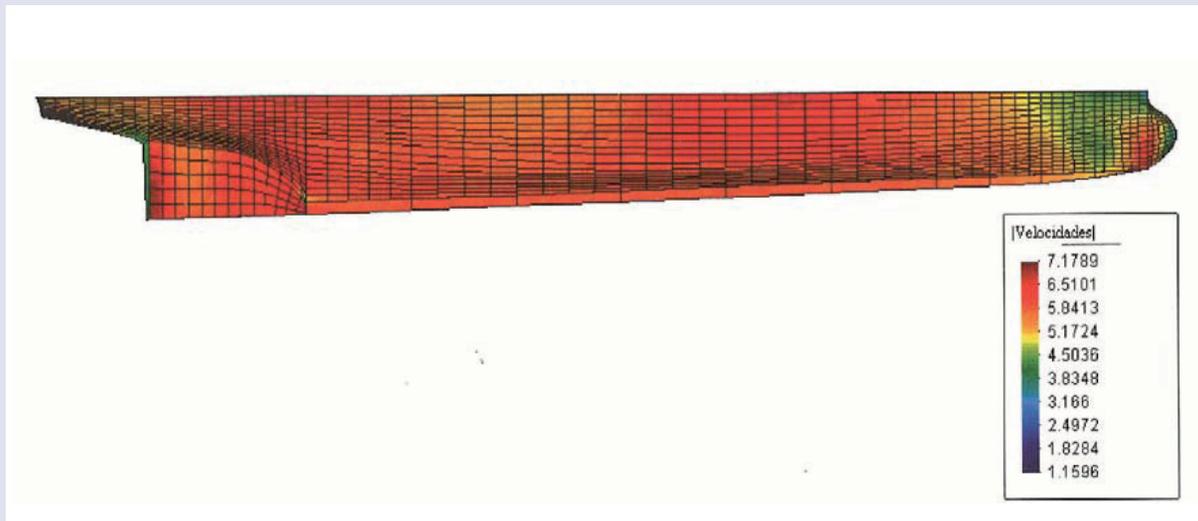


Figura 13. Distribución de velocidades

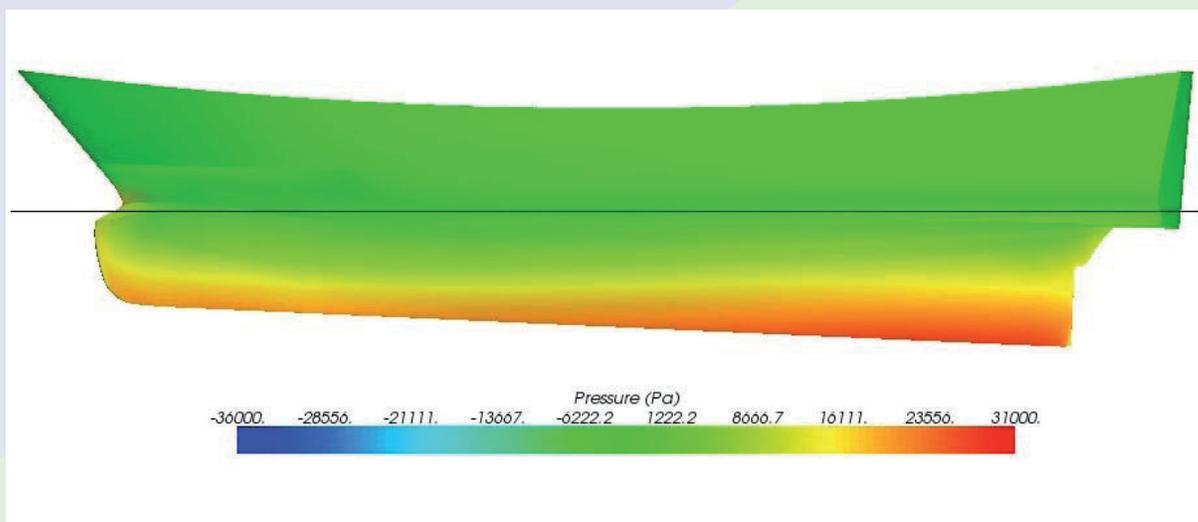


Figura 14. Distribución de presiones

En la Figura 15 se muestra el Mapa de Distribución de Velocidades en la Superficie Libre. Se ve claramente como la carena, que está dotada de un bulbo de proa, presenta menores gradientes de velocidades en la superficie libre y, por tanto disipa menos energía

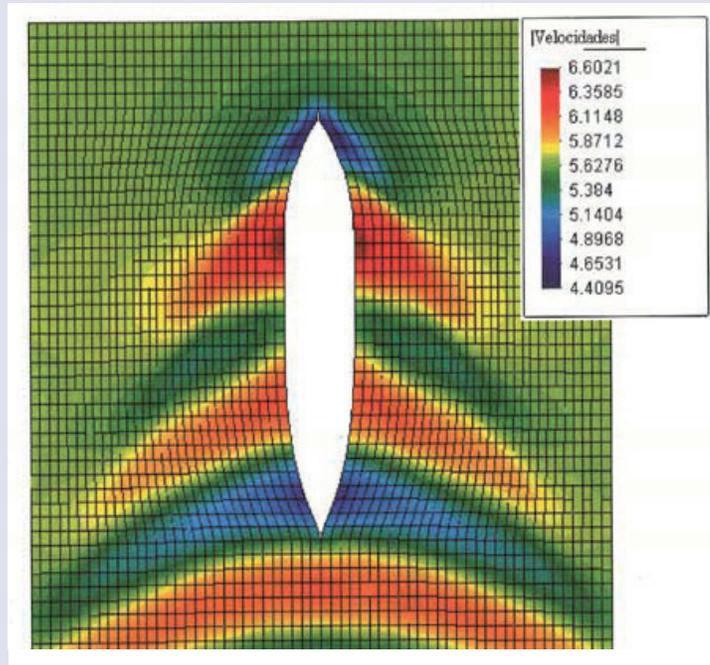


Figura 15. Distribución de Velocidades sobre la Superficie Libre

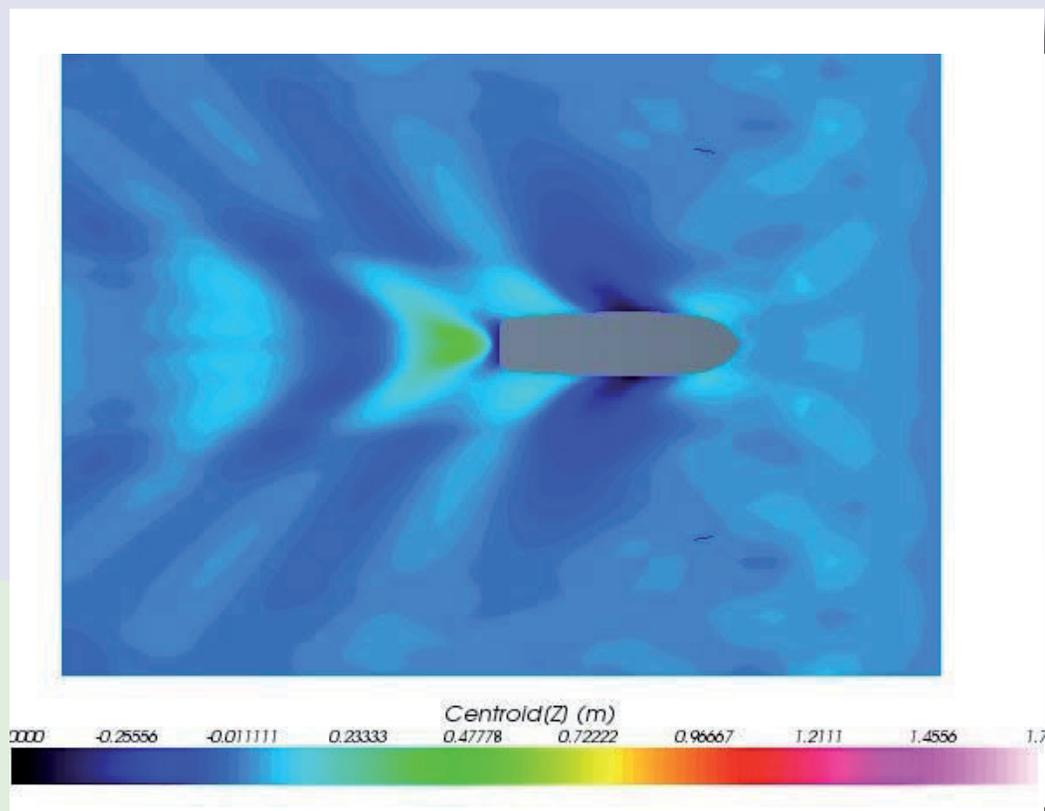


Figura 16. Elevación de la Superficie Libre

Resultados de la modelización

La simulación ha sido realizada para una velocidad del buque de 12 nudos, los resultados obtenidos a partir de esta aparecen reflejados en la Tabla siguiente:

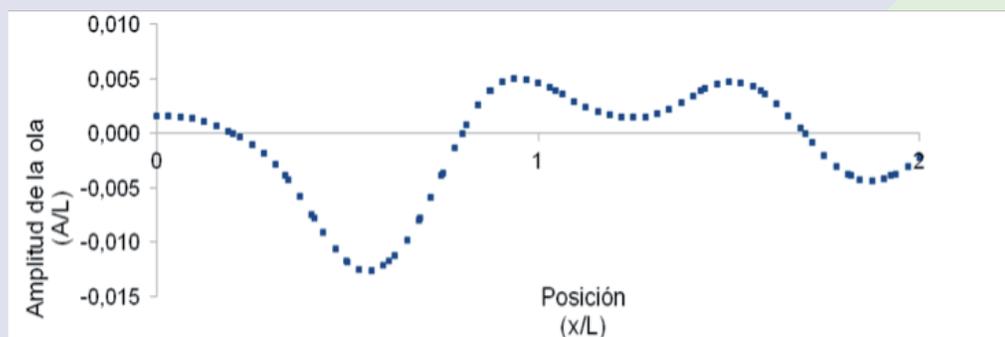
TABLA 0.2

Resistencia al avance (kN)	30,26
Potencia de remolque (kW)	187,00
Indicador de la resistencia por formación de olas	4,31·10⁻⁵

Mapas de Perfil de la ola

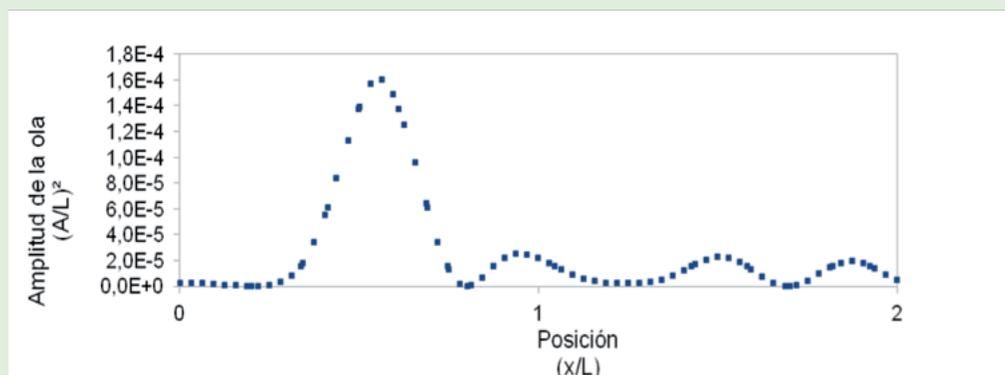
En los gráficos que se presentan más abajo se ha reflejado el perfil de la ola a lo largo de la eslora del buque en función de la amplitud de aquella (A/L) y su segunda potencia (A/L)². Ambos indicadores reflejan perfectamente la configuración de la ola a lo largo del buque. Todas las escalas utilizadas están en metros.

Gráfico 1



Los valores obtenidos mediante el cálculo numérico son muy similares y del mismo orden que los que se obtienen mediante ensayos con modelos. Indicándonos la altura de la ola la energía disipada por la carena en su avance, con lo que menor altura de olas generada significa menor resistencia al avance.

Gráfico 2



4.2.2. Determinación de las condiciones de trabajo del equipo propulsor

Los buques arrastreros trabajan en dos condiciones diferentes durante su operación: faenando en arrastre y navegando. La hélice, tanto en carga como en grado de avance, tiene un comportamiento diferente en estas dos condiciones extremas.

Aunque la determinación del ajuste del propulsor, y de la potencia absorbida por este en cada condición, puede calcularse teóricamente, es más exacto y preferible realizar pruebas de mar, siempre que sea posible. Estas pruebas son dos:

- **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.** En la que se determina la velocidad del buque en esta condición, mediante el empleo del GPS y el radar. Conociendo las revoluciones desarrolladas durante la prueba, las temperaturas de los gases de escape y la posición de la cremallera, se puede hacer una estimación bastante precisa de 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).

Con esta información que ha sido recogida in situ, por equipos desplazados al efecto a los puertos por la ETSIN, puede analizarse la idoneidad del proyecto del propulsor y, en consecuencia, los puntos de funcionamiento y carga del motor en cada condición.

4.2.3. Análisis de la gestión de la energía a bordo

La mejora de la eficiencia energética en el barco 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 dínamo. 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 diésel sobre el grupo hidráulico, bien mediante un motor eléctrico.



Figura 17. Grupo auxiliar hidráulico

Si bien las necesidades específicas hacen que la alternativa escogida en cada embarcación sea diferente, 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.

En esta actuación se ha buscado 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 que se realiza en un barco, si esta fuese considerada como una concurrencia de energías, que deben ser aplicadas de la mejor manera posible para conseguir el máximo beneficio en dicha actividad.



Figura 18. Grupo electrógeno

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 en un momento determinado y a los consumos en tiempo real, es una dificultad para un mayor desarrollo de una gestión energética satisfactoria. Como consecuencia de la visita 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.

Por varias razones, a lo largo del tiempo la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración baja y el consumo de electricidad sube. Por otra parte, el sistema empieza a fallar más a menudo y las averías y fugas abundan.



Figura 19. Cubierta interior

Mediante un diagnóstico electromecánico del sistema de refrigeración se pueden identificar y luego corregir posibles fugas, errores de diseño y el uso de tecnología obsoleta. Es importante complementar los cambios tecnológicos con la puesta en marcha de procedimientos adecuados de mantenimiento. Por otra parte, la inversión relacionada con el diagnóstico electromecánico y la implementación de posibles cambios depende del tamaño y la complejidad del equipo de refrigeración y el estado de mantenimiento en el cual se encuentra.

4.2.4. Estudio de viabilidad económica

A lo largo de la realización de este Estudio se han analizado, entre otras cosas, las posibilidades técnicas que se pueden presentar a un Armador de Buques Pesqueros para mejorar su explotación mediante la realización de algún tipo de transformación o modificación en sus buques que redunde en una mejora de su eficiencia energética.

Se han estudiado, asimismo, diversas alternativas técnicamente posibles, en relación con las cuales se han identificado los costes correspondientes, de forma que pueda disponerse de un importe fiable de las inversiones correspondientes.

Esos datos permiten disponer de unos valores de partida, muy importantes, pero que en sí mismos nada dicen sobre la bondad de las inversiones a las que se refieren, pues quedan pendientes otros costes de inversión, así como el análisis de sus posibles resultados sobre la base de los beneficios que cabe esperar de la misma.

El objetivo de este apartado ha sido, basándose en experiencias anteriores como las que se reflejan en la Referencia 5, el desarrollo de una herramienta de utilización relativamente sencilla que permita evaluar de forma rápida y fiable la viabilidad económica y financiera de posibles alternativas de inversión a efectuar en un buque en explotación cuando se afronta la problemática de la mejora de las condiciones energéticas del mismo.

Así, en el estudio particularizado de cada buque se ha utilizado un sistema simplificado de costes que permite realizar las estimaciones necesarias, validadas previamente, mediante los datos de casos reales. El esquema básico ha sido el siguiente:

4.2.4.1. Identificación de las actuaciones

En el Estudio se han identificado las siguientes posibilidades de acciones sobre los buques pesqueros, que pueden dar lugar a mejoras de su rendimiento energético y para las que se van a establecer los generadores de costes que permitan estimar un presupuesto:

Relativos al casco del buque:

- Nuevo bulbo. Modificación de uno existente o incorporación de uno nuevo.
- Disminución de la rugosidad (chorreado y pintado)
- Otros trabajos de casco, como la incorporación de embonos, aletas y otros elementos sobre la carena del buque.

Relativos al propulsor:

- Recorte del borde de salida. Incluye en general modificaciones locales a las palas de las hélices para mejorar su ajuste y comportamiento en servicio.
- Cambio de hélice (convencional)
- Cambio de hélice (tobera)

Relativo a la Cámara de Máquinas (Energía principal y auxiliar):

- Mejoras e incorporaciones de equipos en la planta auxiliar
- Mejoras e incorporaciones de equipos en la planta principal
- Recuperación de energía (Cogeneración, Ventilación, etc.)
- Mejoras en aislamientos

En todos los casos se dan por conocidos los **datos principales del buque**, que denominamos:

- **ESLORA**, en m.
- **MANGA**, en m.
- **PUNTAL**, en m, a la cubierta principal.
- **CALADO MEDIO**, en m, en condiciones operativas.

Para las actuaciones descritas en el **propulsor** y en la **cámara de máquinas**, es necesario especificar la **POTENCIA**, en Kw, además del tipo de actuación a realizar.

4.2.4.2. Generación de Costes

Con los parámetros anteriores se pueden estimar los costes de las modificaciones del casco del buque, simplemente indicando un valor en cada caso que fije la dimensión del cambio a introducir, como por ejemplo la longitud del bulbo de proa postizo y, por lo tanto, la nueva eslora total que tendrá el barco.

Cada modificación, tratada individualmente, se compone de los siguientes conceptos:

COSTE DE LA MODIFICACIÓN =	COSTE DE VARADA Y SERVICIOS + COSTE DE MATERIALES + COSTE DE MANO DE OBRA
-----------------------------------	--

a) Coste de Varada y Servicios

Este coste depende fundamentalmente de la eslora del buque y de los días de estancia en el astillero, o sea, de la duración del trabajo a desarrollar. Habría que añadir, si es el caso, el **COSTE DEL EQUIPO A INSTALAR**

COSTE DE VARADA Y SERVICIOS =	COSTE DEL EQUIPO A INSTALAR + K-VARADA x ESLORA x N (días)
--------------------------------------	---

Donde **K-VARADA** es el coste unitario por metro de eslora y día de estancia en el varadero. (Se puede tomar, en primera aproximación, un coste de 90,00 EUR/(día * m))

b) Coste Ingeniería

El coste de la ingeniería, asociado al concepto de VARADA y SERVICIOS, para un determinado trabajo, se calculará a través de los costes unitarios que se exponen a continuación:

COSTE DE INGENIERÍA =	COSTE - HORA INGENIERÍA x HORAS - INGENIERÍA
------------------------------	---

El coste-hora de la ingeniería puede depender de la oficina que se utilice, pero si no se conoce se puede utilizar un valor medio siguiente de 60,00 EUR/h.

c) Coste de los Materiales

Para la estimación del coste de los materiales se hace uso del material paramétrico que se describe en la Referencia 5, pero simplificado en acero (o laminado de FRP) del casco TMC, otro material (tuberías, electricidad, etc.) TE y la propulsión P. Si en la modificación se va a incluir un nuevo sistema deberá incluirse su coste ya que es imposible automatizar el coste de cualquier sistema posible a incorporar.

COSTE DE LOS MATERIALES =	COSTE/TMC x TMC + COSTE/TE x TE + COSTE/P x P
----------------------------------	--

d) Coste Mano de Obra

El coste de producción de la mano de obra a utilizar en estas modificaciones se van a referir también a las TMC y TE respectivamente, es decir:

COSTE DE LA MANO DE OBRA =	COSTE- HORA/TMC x TMC + COSTE - HORA/TE x TE
-----------------------------------	---

4.2.4.3. Caso Práctico

La inversión de colocación de un bulbo en el buque, de acuerdo con el procedimiento descrito en el apartado anterior, implica un coste cuya determinación se expone a continuación

Dimensiones principales del buque:

- Eslora Total: 32,0 m.
- Manga: 8,0 m.
- Puntal: 4,0 m.

Los materiales a utilizar y las horas de mano de obra a emplear resultan:

MATERIAL Y HORAS							
caso	coef. TMC	TMC	coef. TE	TE	horas ING	horas - TMC	horas TE
1	0,4	4	0,3250	1	17	359	466



Y el coste correspondiente:

COSTES					
caso	VARADA Y SERVICIOS	INGENIERÍA	MATERIALES	MANO DE OBRA	TOTAL
1	5.350	1.350	8.320	18.310	33.330

Es decir, el coste de construcción de un bulbo en un astillero adecuado para el pesquero de referencia es de alrededor de 33.300 . Se trata, por tanto, del importe de la inversión a realizar para modificar el buque dotándolo de la mejora.

Para la realización de la obra de colocación del bulbo en el buque no es necesario contabilizar nuevos costes, por cuanto el desarrollo de la modificación solamente exige disponer de los planos y construir el bulbo con antelación para adosarlo convenientemente a la proa del buque cuando éste suba a dique o varadero. El trabajo a desarrollar es sencillo y de hecho lleva poco tiempo su realización, de modo que la eventual prolongación del tiempo de estancia del buque en dique no es particularmente importante.

Contra esta inversión, la futura explotación del buque promete un mejor aprovechamiento del consumo de energía, habida cuenta de las nuevas condiciones hidrodinámicas en las que el buque se va a desenvolver.

Puede considerarse, por tanto, que no existen costes adicionales que contabilizar por razón de la colocación del bulbo aprovechando una de las varadas habituales que realiza este tipo de buques para su mantenimiento. Es decir, no se pierden días de explotación y, por tanto, no se produce lucro cesante.

Un asunto importante al que en todo momento se ha hecho referencia es el de la vida útil que le queda al buque y, en definitiva, el tiempo de que dispone el armador para la amortización de la mejora. Este es un dato que hay que tomar de la realidad en cada caso, de forma que se hacen diversos tanteos, sobre la base de 5 años y, para cada caso, puede verse la sensibilidad de los resultados a variaciones en la vida útil del buque.



Figura 20. Pescado en la lonja

Otro factor a considerar es el posible incremento de costes anuales de explotación derivados de la mejora. En nuestro caso, creemos que tan sólo cabe pensar en un ligerísimo incremento de los costes de mantenimiento y pintura del casco. Teniendo en cuenta los costes de varada, reparaciones y mantenimiento de este tipo de buque se puede estimar en unos 300 anuales el incremento de costes de explotación directamente imputables a la mejora producida en el buque.

Es preciso, asimismo, fijar unas tasas de crecimiento a las variables que van a ir evolucionando a lo largo del tiempo: los precios del combustible, que fijarán el ahorro imputable al bulbo, y los costes de mantenimiento y pintura del casco, que determinarán el incremento de costes motivado por la obra a realizar en el buque.

No es fácil, por supuesto, averiguar cuál o cuales van a ser las tasas de crecimiento de esos costes, si bien el relativo a mantenimiento y pintura del bulbo es de escasa importancia, habida cuenta de que recae sobre una cifra ciertamente pequeña. No ocurre lo mismo con la evolución de los precios del gas-oil, que no sólo afecta a un ahorro de entidad muy superior, sino que es una cifra creciente desde hace años y con una gran volatilidad. De todos modos, y teniendo en cuenta la evolución de los precios del crudo y de los combustibles marinos, hemos calculado que, en los últimos 20 años, el crecimiento medio anual acumulativo del precio del crudo puede estimarse en un 8,5%, aproximadamente (período 1990-2010, cuya primera mitad arroja precios relativamente estables, mientras en la segunda el crecimiento es ciertamente importante) y el del gas-oil también en un 8,5%, aproximadamente.

En resumen, a efectos de cálculo, y para seguir un criterio claramente conservador, se supone que el incremento anual de los costes de mantenimiento y pintura será del 2,% y el del combustible –y, por tanto, el del ahorro energético–, del 8 %. Y ello, a lo largo de la vida útil de la inversión, que consideramos coincide con el número de años de vida que le quedan al buque.

Sobre estas bases, si la financiación de la inversión (33.300) se acomete en un 40% con recursos propios y en el 60% restante con fondos ajenos de financiados en un 60% mediante un préstamo a 5 años, con un tipo de interés del 6%, un ahorro de combustible del 8% [sobre unos 200.000 lts. de consumo de gas-oil anuales (a 0,60 /lt)], unos mayores costes de mantenimiento y reparaciones de unos 300 /año y un incremento anual del orden del 2,5% del precio del gas-oil e, igualmente, del mayor coste de mantenimiento y reparaciones, el resultado de la inversión puede apreciarse en los cuadros adjuntos, elaborados para una determinada vida útil de la inversión, es decir, para el número de años que razonablemente puede ser explotado el buque a partir de la modificación: 10 años, 15 años y 20 años.

Primer Supuesto. Financiación Ajena

VIDA ÚTIL (años)	TIR (%)	VAN (euros)	PAY BACK (años)
5	11,11	4.903	4
10	25,39	30.621	4
15	28,04	68.974	4



Segundo Supuesto: Fondos Propios

<i>VIDA ÚTIL (años)</i>	<i>TIR (%)</i>	<i>VAN (euros)</i>	<i>PAY BACK (años)</i>
<i>5</i>	<i>24,77</i>	<i>no ha lugar</i>	<i>3</i>
<i>10</i>	<i>41,74</i>	<i>no ha lugar</i>	<i>3</i>
<i>15</i>	<i>43,56</i>	<i>no ha lugar</i>	<i>3</i>

Como puede verse, los resultados son francamente favorables. Puede observarse que, tan pronto se tiene tiempo para amortizar la inversión (a partir de 10 años, pues 5 es muy poco tiempo), los resultados resultan espectaculares.

En el segundo supuesto se ha calculado también sobre los fondos propios, es decir, sobre la parte de inversión no financiada con recursos ajenos. Lógicamente, los resultados resultan todavía mejores.

5. METODOLOGÍA

En este Trabajo se ha pretendido, en primer lugar, realizar un **análisis crítico** y exhaustivo de la situación en que se encuentra en buque, desde los puntos de vista antes enunciados: hidrodinámico, propulsivo y energético.

En este análisis se han ponderado las diferentes mejoras potenciales en función del tamaño del buque, de la modalidad de pesca, de la antigüedad de las unidades y de los distintos segmentos de las flotas que integran las diferentes Asociaciones Pesqueras.

En segundo lugar, y en función de los resultados del análisis, se recomienda la incorporación de aquellos avances tecnológicos que, potencialmente, pueden suponer una mejora en el comportamiento y en las prestaciones del buque.

- El **Trabajo de Campo** ha consistido en lo siguiente:
- Reconocimiento a flote del buque, prestando especial atención a la carena, al sistema propulsor y la maquinaria y equipos instalados a bordo. En algún caso, ha sido necesario realizar el reconocimiento en seco, al no disponerse de la información técnica suficiente.

Realización de Pruebas de Tiro a Punto Fijo, utilizando un dinamómetro electrónico especial para ello, y Pruebas de Mar en Navegación Libre (velocidad y consumos).

Una vez realizado el análisis y el trabajo de campo se ha procedido a realizar las **recomendaciones técnicas** que correspondan y el estudio de **viabilidad económica**.

5.1. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO

5.1.1. Consideraciones sobre las formas de los pesqueros

Aunque no pueden darse normas rígidas para el proyecto de las formas de los buques pesqueros, que han de satisfacer numerosos condicionamientos impuestos por el proyecto y por las condiciones de servicio de estos buques, es posible establecer unas observaciones generales que han de tenerse en cuenta para un mejor comportamiento hidrodinámico del buque.

- En muchos casos, estos buques deberán ir dotados de una proa de bulbo que ha de permitir una disminución de la resistencia por formación de olas, que tiene la máxima importancia en este caso. No es posible dar normas aplicables a todos los buques para el dimensionamiento del bulbo, ya que sus características han de estar de acuerdo con las condiciones especiales de cada caso en lo que se refiere a dimensiones principales, calados y trimados operativos, velocidades de servicio, coeficientes de afinamiento, etc. La eficacia del bulbo puede variar sustancialmente si el buque modifica apreciablemente el trimado operativo, de tal forma que el bulbo puede llegar a ser desfavorable en aquellos buques que en servicio empleen trimados muy diferentes a los que sirvieron para el proyecto de sus formas de proa.
- El parámetro de esbeltez obtenido como el cociente entre el coeficiente de bloque y la relación eslora / manga del buque, ($C_b \cdot B/L$) tiene una marcada influencia en la resistencia a la marcha, si bien pueden obtenerse valores satisfactorios de la resistencia a la marcha con valores moderados de este parámetro. Por ejemplo, los buques atuneros de mejor comportamiento hidrodinámico suelen tener valores de este parámetro oscilando entre 0,115 y 0,125.
- Igualmente, existen unos valores más aconsejables del coeficiente prismático para los cuales se reduce la resistencia por formación de olas de los buques pesqueros en aguas tranquilas. Se estima que los valores más adecuados del coeficiente prismático deben estar comprendidos entre 0,62 y 0,64. Si el coeficiente prismático supera el límite superior indicado en el párrafo anterior, el reparto longitudinal de volumen será demasiado uniforme y resultará más desfavorable desde el punto de vista de la resistencia por formación de olas. Por otra parte, valores más pequeños del coeficiente prismático (C_p), a igualdad del coeficiente de bloque (C_b), han de conducir a valores muy altos del coeficiente de la maestra (C_m), que también son desfavorables con respecto al comportamiento hidrodinámico de la carena.
- La posición longitudinal del centro de carena tiene también su importancia, siendo conveniente, su situación a popa de la cuaderna media de trazado. Esta posición no es muy crítica, admitiendo una variación $\pm 0,5\%$ de la eslora entre perpendiculares (L_{pp}) con respecto a sus valores óptimos. Desde el punto de vista de comportamiento en la mar, la posición óptima del centro de carena debería estar ligeramente a proa de la aconsejable para aguas tranquilas. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se estima que la posición más recomendable del centro de carena es del orden del 3 al 3,5% de L_{pp} a popa de la cuaderna media.
- Para conseguir una adecuada inmersión de la hélice resulta conveniente un asiento de trazado por popa cercano al 2 % de la eslora. Por otra parte, un pequeño valor del asiento de trazado suele ser también favorable desde el punto de vista de la resistencia a la marcha.
- Evidentemente, el coeficiente de afinamiento de la cuaderna maestra (C_m) ha de tomar valores compatibles con los valores recomendados del coeficiente prismático y con la esbeltez del buque. También resulta conveniente la adopción de un valor moderado de astilla muerta.



- La relación de la eslora a la manga (L_{pp}/B) tiene influencia en la resistencia a la marcha. En algunos casos, para obtener el valor deseado de los coeficientes de afinamiento, de bloque y/o prismático, puede recurrirse a adoptar valores excesivos de la manga, en combinación con cuerpos de entrada y salida relativamente finos. Ello puede dar lugar a una excesiva resistencia por formación de olas, por originarse olas parásitas y/o fenómenos de turbulencia, formación de torbellinos, separación, olas rompientes, etc., producidos por existir fuertes cambios de curvatura en determinadas zonas del casco.
- La posición longitudinal de la cuaderna maestra ha de estar ligeramente a popa de la cuaderna media, pudiéndose fijar su posición a la vista del reparto de pesos del proyecto y considerando, al mismo tiempo, el semi-ángulo de entrada en la flotación más beneficioso.
- Para los buques pesqueros, sobre todo para los más rápidos, suele resultar conveniente el empleo de popa de espejo, ya que ello contribuye a aumentar la zona disponible en cubierta para las maniobras de pesca, favoreciendo al mismo tiempo a la estabilidad del buque y a su comportamiento en la mar.
- Generalmente los buques pesqueros suelen llevar codaste cerrado, lo que resulta adecuado para proteger a la red en las maniobras de pesca, evitando que se trabe con la hélice.

5.1.2. Consideraciones sobre la Resistencia a la Marcha en Pesqueros

Aunque la variedad de buques de pesca es muy grande y no es posible dar reglas generales, lo que les caracteriza desde el punto de vista de la resistencia al avance es que todos ellos tienen la necesidad, o al menos eso es lo que quieren sus armadores, de alcanzar el caladero y regresar de él lo antes posible.

Por consiguiente, son barcos a los que se les exige navegar a gran velocidad. 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 cómo Número de Froude (F_n), cuya expresión es:

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

Un barco de pesca navega a números de Froude próximos a 0,40, en estas condiciones, la componente de la resistencia al avance debida a la formación de olas del buque tiene un valor significativo. Los buques pesqueros son, como se ha dicho antes, barcos de los considerados rápidos y tienen, o al menos deben tener, el centro de carena a popa de la cuaderna maestra. Hay que decir, sin embargo, que la gran variedad de barcos de pesca impide dar normas indiscutibles sobre lo que es mejor, pues cada caso es distinto.

Sin embargo, lo que sí es cierto es que, debido a tener que permanecer durante largos períodos de tiempo en la mar, necesitan un excelente comportamiento en condiciones duras. Por eso se admite que el centro de carena puede estar un poco a proa de la posición óptima desde el punto de vista de la resistencia y esa es la razón por la que los buques pesqueros tienen más manga que la necesaria si se tuvieran en cuenta criterios exclusivamente relacionados con la resistencia al avance.

La magnitud relativa de cada uno 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.

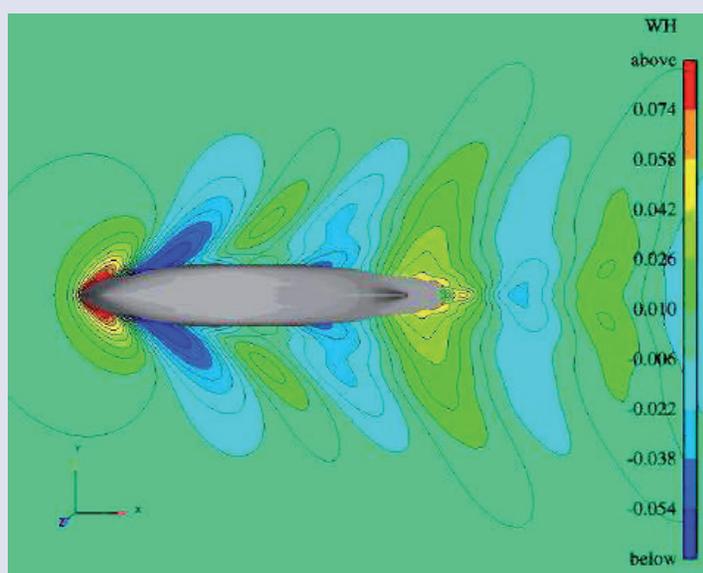


Figura 21. Análisis de formas de pesquero con CFD

Lo primero que hay que tener en cuenta cuando se trata de estudiar la influencia de las formas geométricas de la carena sobre la resistencia, es que el sistema de olas se produce porque el barco, al avanzar, se abre camino empujando el agua, por lo que perturba el equilibrio de la superficie libre. Cuanto mayor es la perturbación que el barco produce en la superficie libre, mayor será el sistema de olas y, por consiguiente, mayor la resistencia al avance.

Por lo tanto, la base del proyecto hidrodinámico de un buque pesquero - embarcación rápida, como se ha dicho antes- está en hacer que la perturbación que produce al navegar sobre la superficie del agua sea la menor posible. Por esta razón, los buques rápidos tienen proa y cuerpos de entradas muy finos, de manera que el área de las secciones cambie suavemente y el golpe que el casco le pega al agua para separarla esté producido principalmente por la velocidad.

El lanzamiento de la proa, característica común en los barcos pesqueros, tiene la misma razón de ser, aunque en este caso es para evitar que la proa rompa el agua simultáneamente en todas las líneas de agua, con esto la proa corta el agua más suavemente y la perturbación es menor. La finura de la proa hace que en los barcos rápidos el desplazamiento del cuerpo de proa sea menor que el del cuerpo de popa y, por lo tanto, que el centro de empuje esté a popa de la cuaderna media.

La importancia de la resistencia por formación de olas a altas velocidades y su dependencia de la perturbación creada en la superficie libre pone de manifiesto la necesidad de cuidar al máximo el proyecto de las formas en este tipo de barcos. Un error en las líneas de agua de un barco rápido se paga muy caro, al menos desde el punto de vista hidrodinámico.

Por otra parte debe señalarse que el consumo de combustible de un buque pesquero depende del rango de velocidad a la que navega en operación. Esto es debido a que la componente residual de la resistencia al avance – donde se incluye la componente por formación de olas (R_w) - aumenta exponencialmente (con valores del exponente de hasta 5 y 6) en aquellos buques que navegan, como es el caso, a altos números de Froude.

Esta circunstancia queda reflejada claramente en la gráfica de la figura 22, donde un aumento dado de velocidad en rangos elevados exige un incremento de potencia muy superior al que correspondería a rangos más moderados de velocidad.

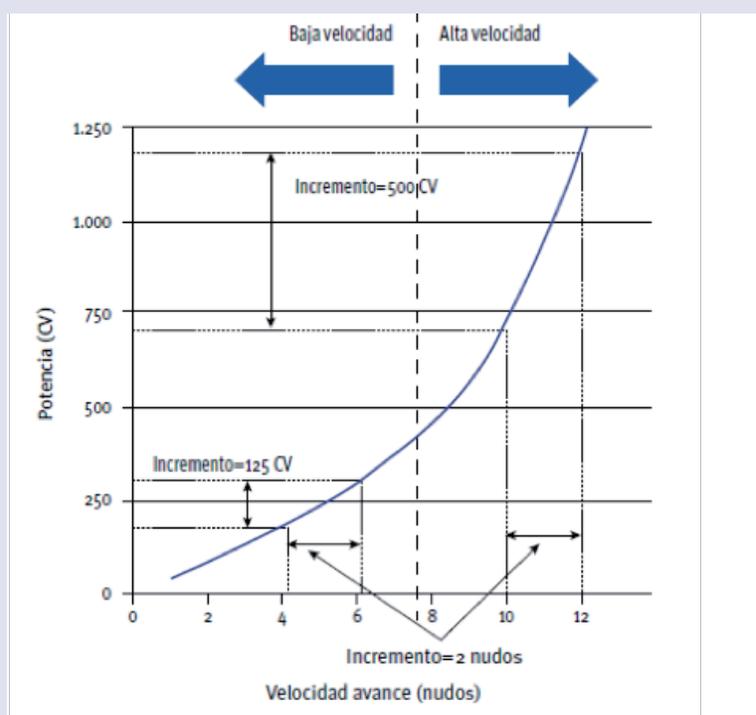


Figura 22. Incremento de potencia propulsora con la velocidad para un arrastrero en navegación libre

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.

5.1.3. Predicción de la Resistencia al Avance de Pesqueros

En la Investigación de la Referencia se pusieron a punto y mecanizaron los cálculos necesarios para la predicción de la resistencia al avance de buques pesqueros, de acuerdo con tres métodos que han demostrado a lo largo de los años su utilidad. Se proponen tres métodos distintos ya que los rangos de las dimensiones principales, velocidades y coeficientes de forma de los buques para los que cada uno de los métodos ha demostrado su validez, son diferentes.

Estos métodos pueden usarse para hacer estudios paramétricos de dimensionamiento previo de nuevos proyectos de buques pesqueros. Se tiene así una forma cómoda de evaluar rápidamente y en las primeras fases del proyecto la bondad de una carena, lo que repercute, de una manera importante, directa e inmediata en los gastos de operación de los buques.

Estos métodos de predicción de resistencia al avance de buques pesqueros también son de utilidad para conocer el efecto, por ejemplo, del aumento de desplazamiento, en la potencia necesaria de la máquina propulsora para mantener una cierta velocidad.

Se ha preferido, en la selección de los métodos a aplicar, hacer uso de aquellos procedimientos elaborados para su aplicación específica a los buques pesqueros, en vez de usar otros métodos basados en regresiones amplias y de aplicación a muchos tipos diferentes de buques. Así, se tiene un poco más de certeza sobre la idoneidad de los métodos seleccionados para su aplicación a los objetivos marcados en este trabajo de investigación.

Los métodos de predicción de resistencia al avance que se propusieron en el Estudio de la referencia son:

1. **Método de Van Oortmerssen** (Referencia), de aplicación para buques pequeños como arrastreros, etc.
2. **Método de García Gómez** (Referencia), de aplicación para buques pesqueros, con o sin bulbo de proa, con esloras entre 25 y 60 metros.
3. **Método de Calisal y McGreer**, (Referencia), de aplicación para buques pesqueros, arrastreros y cerqueros, de baja relación eslora/manga.

Basados en los métodos de predicción de resistencia al avance descritos más arriba, se proponen dos herramientas auxiliares. La primera es de utilidad para realizar una estimación de la oportunidad de montar un bulbo de proa en un proyecto nuevo, o de añadirlo en un buque existente cuyas prestaciones se quieran mejorar.

La segunda herramienta es de utilidad para evaluar el efecto de un cierto alargamiento de un buque en la potencia necesaria para propulsarlo a una velocidad determinada. Esta posibilidad, como es lógico, no es de aplicación a esta Investigación.

Como siempre, se debe indicar que estas herramientas deben utilizarse teniendo en cuenta sus rangos de aplicación y comprobando que las características del buque que se está proyectando o analizando quedan dentro de las consideradas durante el desarrollo de la herramienta empleada. Esa es la razón por la que se han propuesto varios procedimientos para predecir la resistencia al avance de los buques pesqueros.

5.1.4. Oportunidad de la instalación de Bulbos de Proa

Usando el método expuesto en la referencia de este Estudio se está en condiciones de estimar la oportunidad o no de instalar un bulbo de proa en un pesquero. Bastará con aplicarlo a un pesquero sin y con bulbo y comparar los resultados.



Figura 23. Bulbo de proa no integrado

El análisis de la expresión (4.14), realizado en la referencia [2], produce una conclusión inmediata: normalmente, los bulbos de proa no serán beneficiosos para pesqueros con relaciones entre la eslora entre perpendiculares y la manga superiores a 4.5. En estos casos se tiene que:

$$\%DES [F_{nbul}; (Lpp/B)] \leq 0$$

Sin embargo, es evidente que existen pesqueros dotados de bulbo de proa y con relaciones LPP/B mayores de 4.5.

Una vez más se debe insistir, como hace su autor, en que el método presentado en la referencia debe ser tratado con prudencia y utilizado siempre dentro de los rangos de dimensiones de los buques estudiados para elaborar la formulación que ahí se propone.

En cualquier caso, la resistencia al avance total de un buque no depende sólo de sus dimensiones sino también de sus formas. Los bulbos de proa, además de producir la reducción del tren de olas en proa aumentan ligeramente la superficie mojada del buque.

La cuantificación fiable, global y final de los efectos, beneficiosos o perjudiciales, de los bulbos, deberá ser confirmada experimentalmente y dependerá, en gran medida, de los asientos del buque y los calados de proa correspondientes a las condiciones de carga más significativas de los buques.

La referencia [2] propone también un método para optimizar la protuberancia del bulbo que deriva del mismo planteamiento del método para calcular la resistencia al avance de pesqueros con y sin bulbo.

Se trata simplemente de encontrar los máximos de la expresión (4.14) para el número de Froude del bulbo correspondiente a la velocidad de optimización. Los máximos de "%DES", correspondientes a los mínimos de la relación "RR/RT". Por lo que se debe resolver la siguiente ecuación:

$$\frac{d [\%DES]}{dF_{nbul}} = 0$$

Así, una vez conocido el número de Froude que produce el máximo de "%DES" se puede obtener la protuberancia de máximo ahorro de combustible para la velocidad de optimización.

A modo de ejemplo, la figura 24 muestra la predicción realizada con este método de la resistencia al avance sin apéndices de un pesquero sin bulbo proa de 21.25 m de eslora, y del mismo buque dotado de un bulbo de proa optimizado para una velocidad de 10 nudos.

Se puede observar que a partir de siete nudos el bulbo resulta favorable, prometiendo un ahorro de potencia propulsora del orden del 9 % para diez nudos.

Ejemplo de predicción del efecto del bulbo de proa

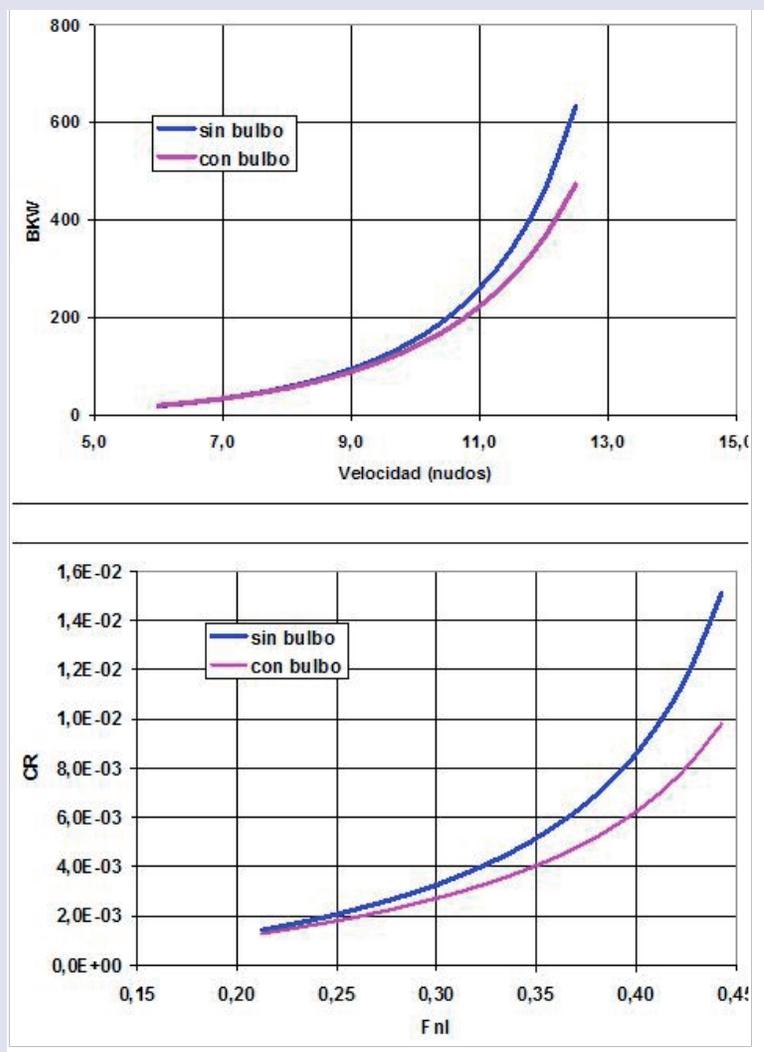


Figura 24. Curvas de potencia con y sin bulbo

5.1.5. Consideraciones sobre la Operación del Buque

Cuando se entrega un buque, el contrato de construcción especifica una velocidad máxima para el mismo, en pruebas, en aguas tranquilas y con el casco limpio, recién pintado y nada más salir de dique.

En consecuencia, los ingenieros del astillero han proyectado el buque, como es su obligación, para obtener las máximas prestaciones el día de las pruebas de mar y, así, satisfacer al armador con los menores gastos posibles.

A partir de ese día, el buque se irá ensuciando y se encontrará en la mar olas y vientos que aumentarán su resistencia al avance, con lo que la hélice tendrá que funcionar fuera del punto para el que fue diseñada, trabajando por lo tanto con un rendimiento no óptimo.



Se incrementará por lo tanto la potencia necesaria para trabajar a la velocidad especificada y aumentará el consumo de combustible por dos razones:

- Ha aumentado la resistencia al avance del buque debido a las olas, al viento y a la mayor rugosidad del casco.
- Ha disminuido el rendimiento cuasi propulsivo porque la hélice no trabaja en el punto para el que se optimizó y, además, porque la rugosidad en las palas de las hélices también 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.

Estas circunstancias ambientales son independientes de la voluntad del armador, pero sí se pueden paliar sus efectos si se han tenido en cuenta, a la hora de proyectar el buque, los rumbos, alturas y periodos de las olas más probables en la zona prevista de operación del buque.

En cualquier caso, el armador siempre tiene algunos recursos para tratar de disminuir el consumo de combustible de su buque.

Asiento del Buque

Las condiciones de carga del buque, desplazamiento y trimados, también varían, así como la rugosidad del casco y de la hélice. En estos aspectos, las actuaciones del armador pueden y deben ser muy claras a la hora de ahorrar consumo de combustible, procurando que su buque navegue con un trimado seguro y que sea favorable desde el punto de vista del rendimiento propulsivo del buque.

Se ha demostrado muchas veces que el asiento del buque afecta de una forma importante al rendimiento propulsivo por lo que, a igualdad de desplazamiento, se puede ahorrar mucho 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 amortizará a los pocos meses de haber puesto al buque en operación.



Figura 25. Ensayo en el CEHINAV (ETSIN-UPM)

La consecución de estos asientos de mínimo consumo de combustible se puede alcanzar alterando la disposición de pesos a bordo, cuidando siempre de no forzar los aspectos estructurales del buque. También se puede actuar disponiendo algún sistema corrector del trimado cuya eficacia, siempre es importante.

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

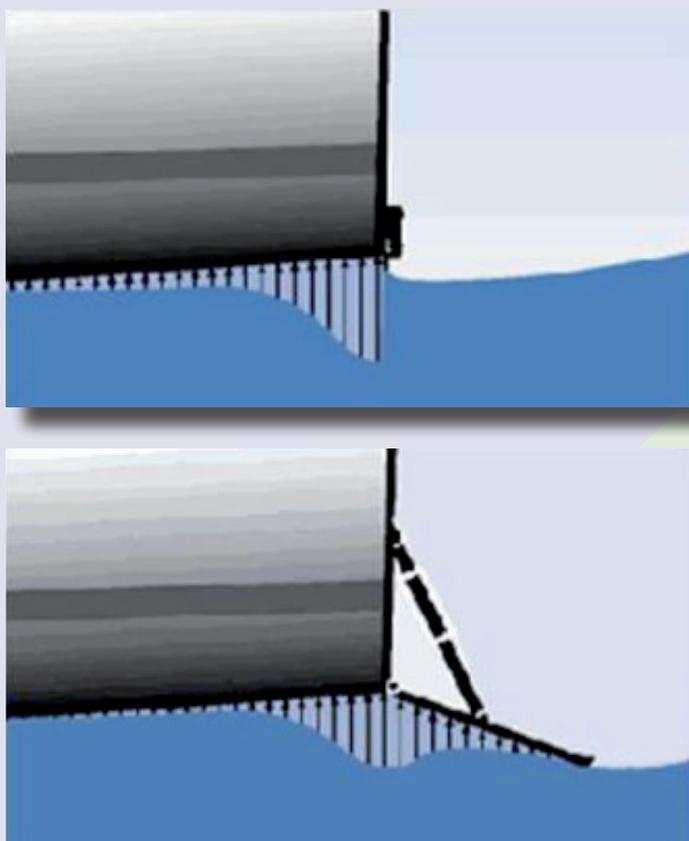


Figura 26. Flaps y cuñas

Rugosidad del Casco y de la Hélice

Un efecto importante a considerar en la componente viscosa de la resistencia al avance 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 barco 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.

De acuerdo con lo anterior, pasado un cierto periodo de tiempo, después de que el buque salga de varadero recién pintado, la protección de la pintura va debilitándose y, a partir

de un cierto momento, empieza a aumentar la rugosidad del casco debido a la fijación en él de distintos organismos, primero microscópicos y luego perfectamente visibles como algas, moluscos, etc.

Si el proceso continúa sin que se le ponga freno, se producirá un notable incremento de la resistencia de fricción del buque. En este caso el consumo de combustible, para mantener unas ciertas prestaciones del barco, se dispararía y, con ello, los costes de operación del pesquero.

La velocidad con la que se produce esta adherencia de organismos y, por lo tanto, el aumento de rugosidad del casco depende, principalmente, de unas cuantas variables que se indican a continuación:

- **Rugosidad del buque nuevo:** Recientemente se han llevado a cabo investigaciones y experiencias acerca de la influencia de la rugosidad superficial del forro exterior en la resistencia al avance por fricción, que da lugar a variaciones sensibles en la velocidad del buque para una potencia dada, o bien, en la potencia requerida para alcanzar una determinada velocidad.

De entre las causas que dan lugar al deterioro de la lisura de la superficie exterior del casco, podemos distinguir dos grandes grupos:

- a) Rugosidad temporal provocada por la incrustación de organismos vivos. Este ensuciamiento de los fondos, ya sea en forma de organismos vegetales (algas) o animales (balanos, túbulas, etc.) produce en periodos de tiempo relativamente cortos un aumento muy apreciable de la rugosidad del casco, provocando fuertes descensos en la velocidad del buque, o bien, incrementos notables de potencia y consumo para mantener una velocidad dada.
- b) Rugosidad permanente debida a la acumulación excesiva de capas de pintura, que a la larga se ve agravada por la aparición de cuarteamientos, desconchados y desprendimientos. Otra causa es la preparación inadecuada del casco antes del pintado en las varadas.

A partir de los estudios realizados por la British Ship Research Assotiation (BSRA), que llevó a cabo un amplio programa de investigación al respecto que se cita, por ejemplo, en la referencia [27], J.R. Scott y Lanckenby llegaron a unas conclusiones prácticas aproximadas muy concretas en las que afirman que:

1. Para mantener una velocidad dada, un aumento de rugosidad del casco de 10 micras, hace necesario un aumento de potencia de 1 %.
2. 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 (MAA), basada en una longitud de 50 mm, de 150 μm .

Durante la operación del buque, esta rugosidad irá aumentando. Al limpiar fondos se reducirá, pero nunca volverá a alcanzar su valor inicial. La rugosidad del casco, nada más salir el buque del varadero crecerá a lo largo de toda su vida.

- **Tipo de Pintura.** 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 (fluoropolymer®) que, en comparación con otras protecciones basadas también en siliconas, mejoran enormemente sus prestaciones incluso para los buques menos rápidos.

En la referencia [29], los fabricantes de uno de estos productos aseguran que la aplicación de sus protecciones a buques convencionales, incluidos petroleros, etc., con velocidades de servicio superiores a unos diez nudos, puede proporcionar las siguientes ventajas:

- Menor rugosidad media del casco (25%) que origina un menor coeficiente de resistencia friccional (38%).
- Mejor resistencia estática frente a las incrustaciones (80%).
- Mejores propiedades frente al desprendimiento de las incrustaciones (40%).
- Mejor resistencia a la abrasión (60%).

En comparación con las pinturas basadas en copolímeros auto pulimentantes (SPC), los fabricantes de este nuevo producto (Intersleek® 900) 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.



Figura 27. Pintura anti-fouling con siliconas y polímeros de flúor

Como es lógico, las excelentes características de durabilidad, flexibilidad y resistencia frente a la abrasión de estas pinturas podrán alargar los periodos entre las entradas en dique.

Resumiendo, pinturas como el Intersleek® 900 representan el último avance en el control del aumento de la rugosidad del casco, debido a la creación de una superficie muy lisa y deslizante, con poca resistencia de fricción, a la que los organismos marinos tendrán dificultad de incrustarse y, los que lo consigan, lo harán de una forma débil por lo que se podrán eliminar con facilidad.

5.1.6. Análisis de la operación de los buques arrastreros

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 barco ineficiente energéticamente durante gran parte de su vida útil.

Por ello, 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. No obstante, 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.

Tiempos y consumos en las condiciones de navegación y pesca por marea

Navegación Libre

En esta flota de arrastreros del Mediterráneo, la relación entre el tiempo de navegación y el tiempo en arrastre varía entre un 30/70%, para los barcos que se alejan mucho de la costa y un 20/80% para los que faenan más cerca de puerto. La conversión de estas cifras a consumo, depende del buque, las formas, potencia del motor, hélice, etc., pero también del factor humano, el patrón, que decide la velocidad en navegación.

Como datos orientativos, se puede apuntar que, para barcos del día de bajura, como es este caso, 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%, siendo un 50% del combustible consumido para propulsión por marea.



Figura 28. Buque arrastrero en navegación libre

Como ejemplo, se pueden analizar los efectos en el consumo del hecho de que un buque, que navegue en travesía a 9 nudos, experimente un incremento de velocidad de 2 nudos, pasando a 11.

En el caso del arrastrero del Mediterráneo, aumentaría en un 6% el tiempo disponible para faenar, que podría cifrarse en una hora y quince minutos, aproximadamente. Sin embargo, ese incremento de tiempo disponible supondría un aumento del consumo total por marea de un 18%.

En cualquier caso, la condición de Navegación Libre es la más significativa en cuanto a consumo de combustible y la más claramente modificable para alcanzar mayores ahorros energéticos. No cabe duda que el parámetro más importante será la velocidad y, por tanto, la valoración de cambio de ésta habrá que tomarla considerando, no sólo el incremento o disminución 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.

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

Largado y virado del aparejo

Las características de esta maniobra varían de acuerdo con el arte que se emplee y la profundidad a la que se realice el lance. A cada una de estas actividades se puede asignar entre un 5 y un 6% del tiempo total por marea, con la particularidad de que al largar, el buque va navegando a poca velocidad y al virar, por el contrario, el buque permanece quieto.



Figura 29 Maquinilla largando

Hay que señalar que, al largar, sólo se emplea la potencia del motor para dar al barco avance poca y no entran otros consumidores; por el contrario, al virar, el barco no se mueve pero entran otros consumidores como las bombas hidráulicas de las maquinillas de pesca. El consumo durante estas operaciones es, no obstante, equivalente y se puede cifrar entre un 5 y un 10%.

Arrastre:

Para poder apreciar las posibilidades de mejora de la eficiencia energética en arrastre es importante ver primero cómo se reparte de forma aproximada el tiempo y el consumo de energía. 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 3 y 8 toneladas).

En arrastre, dada la baja velocidad (2-4 nudos), la resistencia a la marcha debida al buque se reduce mucho hasta el punto de que puede darse como aceptable que en esta condición, la parte de energía consumida que se dedica a propulsar el barco es solamente del orden de un 6/7%, mientras que la empleada en remolcar el aparejo de arrastre varía 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.

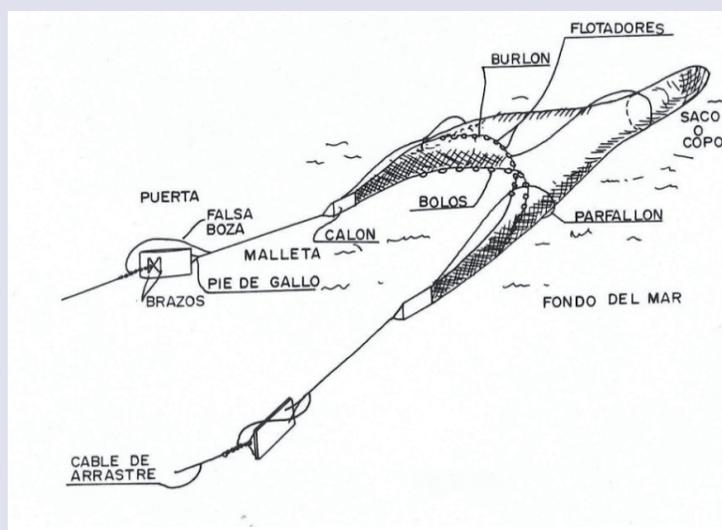


Figura 30. Arte de arrastre de fondo

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



Figura 31. Buque en arrastre

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).

5.2. ANÁLISIS DE LA PROPULSIÓN

5.2.1. 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.

Téngase en cuenta que el mínimo consumo específico de los motores diésel convencionales se encuentra aproximadamente en el 80% de su potencia nominal (MCR).

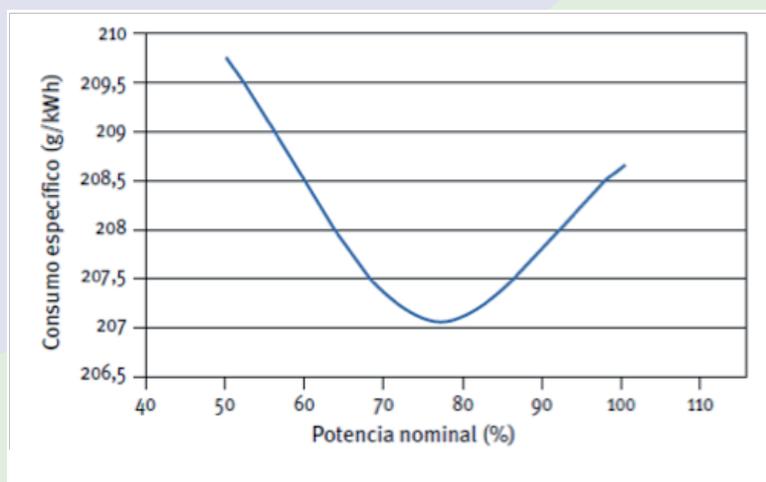


Figura 32. Consumo específico de un motor de 950 kW a 1.200 rpm de revoluciones

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.

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 (Figura 33).

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).

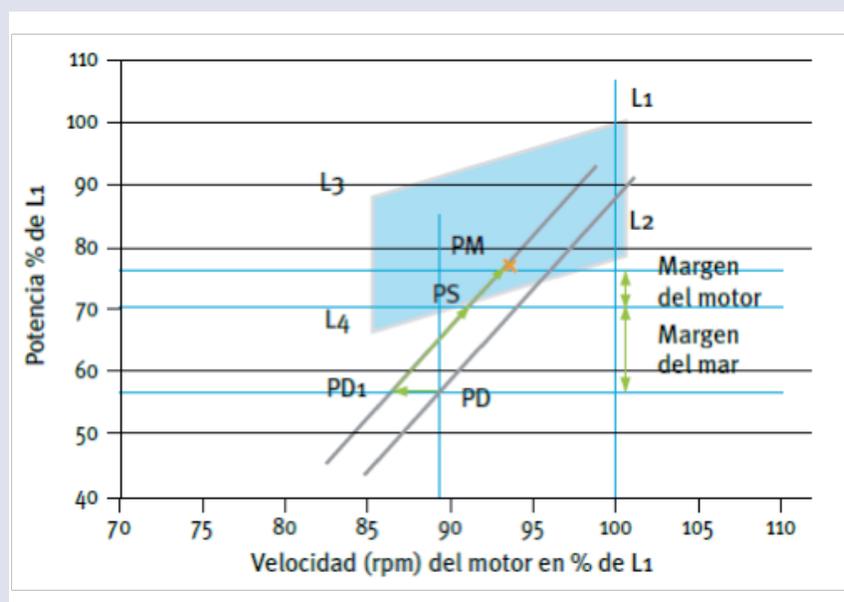


Figura 33. Punto de diseño del propulsor del buque en relación al paralelogramo de diseño de un motor diésel

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 barco, 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).

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 respetarse 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.

5.2.2. Consideraciones sobre la Adecuación de la Hélice

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.

Correcta integración propulsor motos-línea de ejes

Generalmente, los motores que se suelen montar en los buques pesqueros suelen ser del tipo semi-rápido, con lo que sus RPM nominales resultan demasiado altas para accionar directamente a la hélice. Por lo tanto, se hace necesario instalar un reductor que disminuya las RPM en la hélice, ya que, de otra forma, el rendimiento propulsivo de ésta sería extremadamente bajo y sus condiciones de funcionamiento inaceptables.

En el caso de las hélices de paso fijo, el proyectista ha de elegir pues el reductor más adecuado para que su hélice dé su mejor rendimiento bien cuando el pesquero esté arrastrando, o bien cuando va en tránsito hacia o desde el caladero. Sin embargo, normalmente se busca una solución de compromiso sopesando la importancia en el perfil operativo del buque de cada una de las dos situaciones mencionadas.

Ya se ha dicho que la solución ideal para conseguir que la hélice dé buenas prestaciones tanto en la condición de tránsito como en la de arrastre consiste en instalar una de paso controlable. También se ha dicho que esta solución resulta bastante cara y que aumenta los gastos de mantenimiento del buque, por lo que cada vez es más frecuente buscar una solución intermedia, más barata, montando reductores de dos velocidades.

Es evidente que el proyecto de la hélice de cualquier buque ha de realizarse de forma de que se evite la sobrecarga del motor propulsor a lo largo de su vida útil. El aumento de la resistencia al avance debido al ensuciamiento y al deterioro del casco, la pérdida gradual de potencia del motor, y la disminución del rendimiento de la hélice debido al aumento de la rugosidad de sus palas, son las causas más frecuentes de que los motores propulsores de los buques se sobrecarguen.

En el caso específico de los pesqueros, durante las maniobras de arrastre se pueden también sobrecargar los motores propulsores.

El proyectista de la hélice debe pues tener en cuenta las características de funcionamiento del motor seleccionado, que se suelen resumir en diagramas como el de la figura 34 que son elaborados por los fabricantes del motor.

Esta figura muestra un esquema típico del funcionamiento de un motor diesel marino y se comenta a continuación:

- En la mencionada figura se aprecia una zona verde clara, a la derecha del diagrama (área AEGFA), correspondiente a velocidades de rotación (RPM) superiores a las nominales del motor. Aunque el motor no debe trabajar nunca en esta zona, excepcionalmente se admite su funcionamiento ahí durante las pruebas de mar del buque: la mar estará en calma, el casco limpio y el calado será normalmente inferior al de plena carga, por lo que la hélice resultará "ligera" y se absorberá la máxima potencia nominal del motor a unas RPM superiores a las nominales.

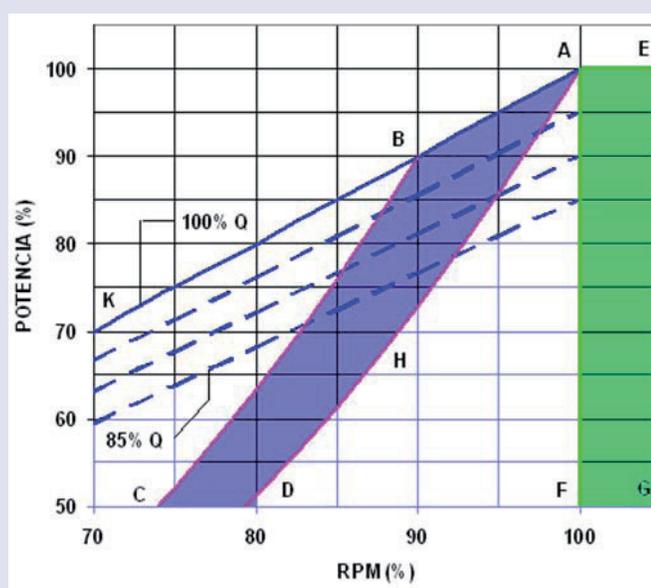


Figura 34. Diagrama de funcionamiento de un motor propulsor diesel

- La recta inclinada azul, ABK corresponde al funcionamiento del motor cuando está entregando el par máximo a diferentes regímenes de RPM.
- Las otras rectas azules, a trazos en el diagrama, corresponden al funcionamiento del motor a distintos regímenes de RPM cuando está entregando el 95 %, el 90 % y el 85 %, respectivamente, del par máximo. Normalmente, el par entregado por los motores diesel se suele considerar directamente proporcional a la presión media efectiva en cilindros que viene a depender, a su vez, de la cantidad de combustible inyectado en los mismos.
- La curva AHD corresponde a la cúbica que relaciona la potencia al freno del motor, medida en el banco de pruebas, con las RPM de funcionamiento del mismo.
- El funcionamiento en la zona sombreada de azul (BAHDCB), en la que se supera la potencia de banco a igualdad de RPM, sólo está permitido durante un tiempo limitado. Cuando el motor trabaje en esta zona estará en sobrecarga por lo que se tendrán consumos de combustible muy elevados y se producirán calentamientos excesivos del motor que contribuirán a su deterioro prematuro y al incremento de la probabilidad de averías del mismo.
- En la zona sombreada de azul (BAHDCB) la hélice absorberá la potencia máxima a

menos RPM que las nominales. En estos casos el motor se sobrecarga por par o por presión media efectiva y se dice que la hélice ha resultado "pesada".

- Queda por lo tanto la zona en blanco (área AFDHA) en la que el motor podrá funcionar de forma continua sin limitaciones de horas de operación y sin poner en riesgo el mantenimiento o la vida del motor.

Debe indicarse que no todos los motores funcionan de acuerdo con el esquema de la figura 34. Los hay que presentan una meseta de potencia constante al 100 % de la misma para RPM inferiores a las nominales, los hay con zonas de sobrecarga intermitente mayores, menores, o incluso inexistentes, etc.

Además, la forma y tamaño de la zona de utilización continua dependerá también, para un motor dado, del plan de mantenimiento del mismo y del uso del motor. Es lógico pensar que la utilización de un motor montado en un yate difiere totalmente de la de un motor idéntico montado en un buque pesquero.

En la figura 35 se han representado dos curvas de funcionamiento del motor de un buque pesquero en condiciones extremas de Navegación Libre, quizás demasiado exageradas, pero muy adecuadas para describir la utilidad de estos diagramas:

- La curva roja, con marcadores circulares corresponde al funcionamiento del motor cuando se navega en lastre con el buque nuevo, y en condiciones de pruebas. Se observa que el motor va más que desahogado y que la hélice resulta muy ligera ya que al 100 % de las RPM sólo absorbe, aproximadamente, el 79 % de la potencia máxima.
- 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. En estas condiciones el motor trabaja en la zona de sobrecarga. La hélice resulta pesada y absorbe el par máximo del motor a un régimen de RPM inferior al nominal. En estas condiciones tampoco se puede absorber el 100% de la potencia del motor.

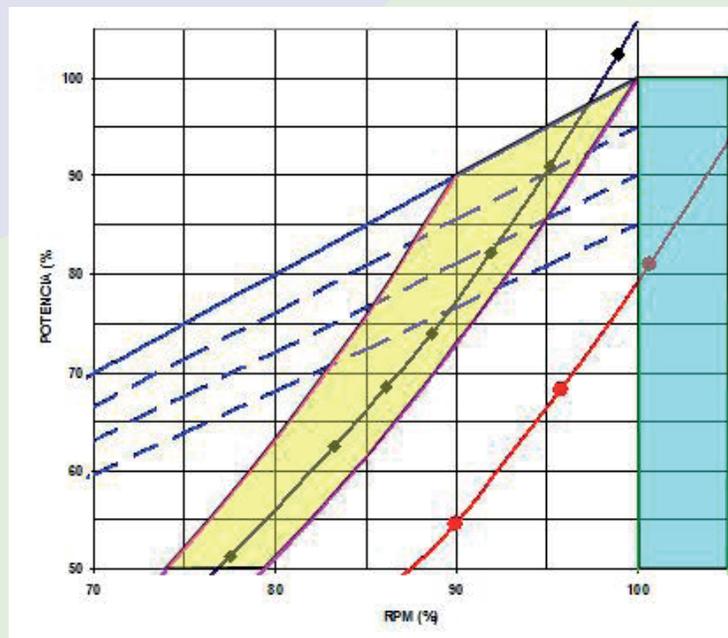


Figura 35. Ejemplo de uso del diagrama de funcionamiento de un motor

A la vista del diagrama de la figura 35, se justifica la costumbre de los proyectistas de hélices que suelen diseñarlas, salvo en casos particulares, para que absorban en pruebas entre el 85 % y el 90 % de la potencia al 100 % de las RPM, con lo que la hélice resultará ligera a la entrega del buque.

Durante la vida del buque, debido al ensuciamiento del casco, al incremento de su desplazamiento, al estado de la mar, etc., la resistencia del buque irá aumentando y la curva de funcionamiento del motor, medida el día de las pruebas de entrega, irá desplazándose hacia la izquierda hasta llegar, si no se remedia antes, a causar la sobrecarga del mismo.

Lo deseable y habitual es que, antes de entrar en la zona de sobrecarga del motor, el buque entre en dique a limpiar fondos con lo que la curva de funcionamiento se volverá a desplazar hacia la derecha y el proceso volverá a comenzar para evitar siempre la sobrecarga del motor.

Ya se ha indicado que, durante las operaciones de arrastre, el riesgo de sobrecargar al motor propulsor es importante, por lo que debe estudiarse el comportamiento de la planta propulsora durante esta operación.

La figura 36 muestra la curva de funcionamiento del motor durante la operación de arrastre de un buque arrastrero. En este ejemplo, curva negra sin marcadores, se comprueba que, el motor estaría trabajando en sobrecarga.

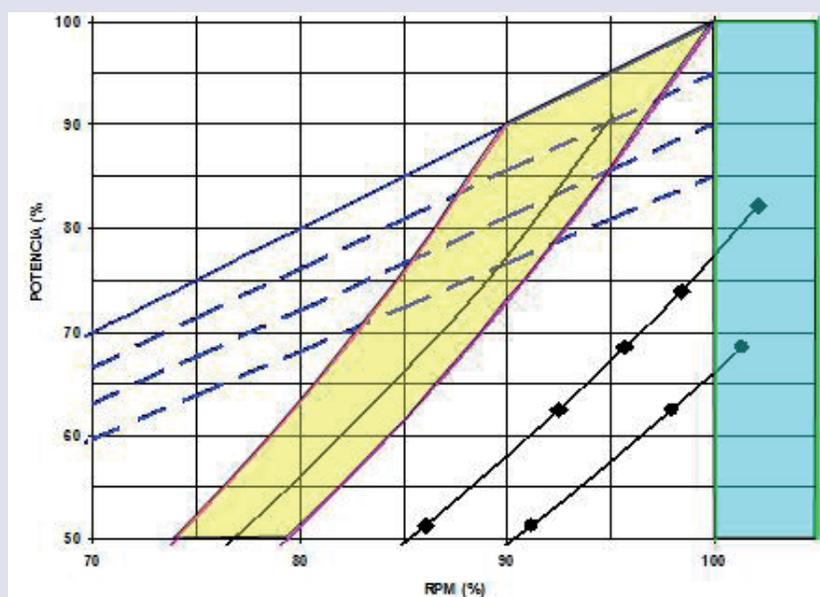


Figura 36. Funcionamiento del motor durante la maniobra de arrastre

En definitiva, 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.

En el análisis del comportamiento del buque se deben realizar unas cuantas comprobaciones relacionadas con el equipo propulsor. Estas comprobaciones deben responder a unas cuantas preguntas cuyas respuestas estarán normalmente interrelacionadas:

- ¿Es adecuado el tipo de propulsor seleccionado?
- ¿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?

Algunas veces, las respuestas a las preguntas anteriores pueden no ser las deseadas porque hayan prevalecido en la decisión correspondiente criterios no hidrodinámicos. Este hecho debe resultar cada vez menos frecuente porque los aspectos hidrodinámicos están íntimamente relacionados con los costes predominantes en la explotación del buque, es decir con el consumo de combustible.

Hace años podría ser aceptable el seleccionar un reductor desfavorable desde el punto de vista del rendimiento de la hélice debido, por ejemplo, a 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 compensado a los pocos años de operación del buque.

Salvo que se trate de grandes buques pesqueros de última generación y altas prestaciones, la geometría de las hélices que montan estos buques suelen basarse en series sistemáticas que proporcionan normalmente prestaciones satisfactorias.

A continuación se exponen muy brevemente las consideraciones que se deben hacer sobre la bondad de una hélice a montar en un nuevo proyecto o que ya funciona en un barco en operación.

¿Es adecuado el tipo de propulsor seleccionado?

En el caso de pesqueros se puede presentar la duda entre instalar hélices de paso fijo o de paso controlable (Figura 37). La ventaja que tiene esta última es que, teniendo en cuenta que cada valor del paso implica una nueva ley del propulsor, se puede seleccionar ésta de tal forma que, para la condición de velocidad o de arrastre, el motor funcione de modo más eficiente que en el caso de paso fijo.



Figura 37. Hélice de palas regulables montada en un pesquero

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.

En la Figura 38 se muestra el comportamiento de una hélice de paso variable según las distintas opciones de variación de paso de pala

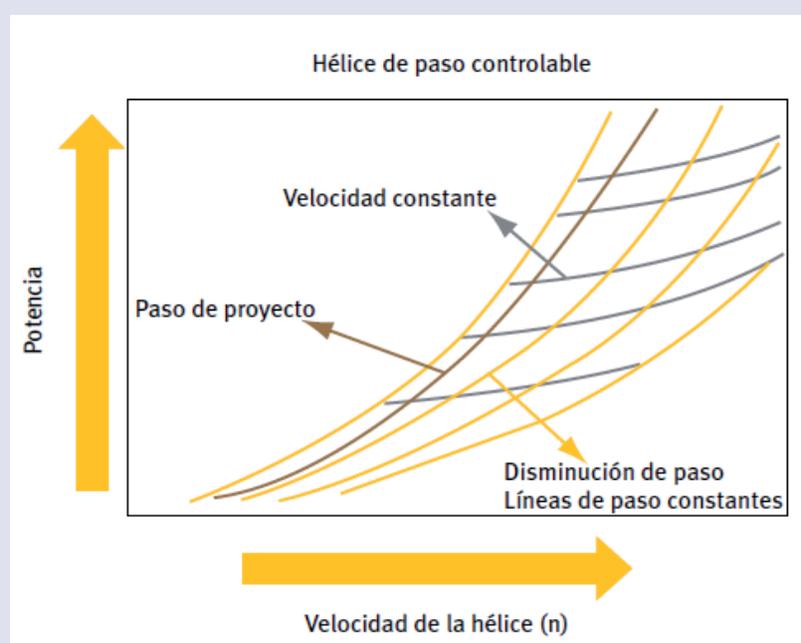


Figura 38 –Comportamiento hélice PV

Las principales desventajas de una hélice de paso variable a igualdad de condiciones que la hélice equivalente de paso fijo (diámetro, relación de áreas y paso) son su mayor coste (puede hasta triplicar el de una hélice convencional) y su menor rendimiento, aunque los sistemas de cambio de paso de las hélices de paso controlable son cada vez más fiables y de menor tamaño, con lo que los diámetros de los núcleos van siendo más pequeños y, por lo tanto, también lo son las pérdidas de rendimiento.

Por ello, el mayor coste, tanto de adquisición como de mantenimiento de las hélices de paso controlable, se ha de justificar a partir del perfil operativo previsto del buque. Los estudios, a partir de dicho perfil operativo, de comparación de los méritos de una hélice de paso fijo y otra de paso controlable pueden ser laboriosos pero resultan sencillos y fiables y se pueden traducir fácilmente en la cantidad de dinero con la que se incrementan o reducen los costes anuales de operación del pesquero. 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.



Figura 39. Hélice en tobera de buque arrastrero

En cuanto a la instalación de **hélices en tobera**, se recomienda realizar los estudios de “pros y contras” oportunos, en aquellos casos en que se prevea que el tiempo en el que el buque ha de arrastrar va a ser claramente mayor que el dedicado en navegación libre. 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.

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.

Para la realización de los mencionados estudios comparativos de estimación de las prestaciones de uno u otro tipo de hélice existe suficiente información fiable relacionada con el funcionamiento de series sistemáticas de hélices sin y con tobera. Una vez más, la conclusión puede reducirse a una cifra de dinero que incremente o reduzca los costes anuales de operación del buque.

¿Es adecuada la situación de la hélice?

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. La ya mencionada solución de dotar a los pesqueros de bulbos de popa resulta ideal.

Si el flujo que llega a la hélice no es uniforme, el riesgo de que ésta Cavite (Figura 40) y de que se produzcan ruidos y vibraciones será muy alto por muy experimentado que sea el proyectista del propulsor. Ya se han mencionado los problemas de fatiga que pueden surgir en el casco y en el equipo propulsor debido a las oscilaciones del par absorbido y del empuje entregado por la hélice y a las fluctuaciones de presión que se producen.



Figura 40. Ensayo de cavitación en túnel

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 la hélice menor será la probabilidad de que emerja cuando se navegue en estados severos de la mar.

¿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 hacerse simultáneamente ya que 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 hay que 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 serán las de mayor rendimiento. Sin embargo, el tamaño del codaste del buque limitará 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, y una vez más, se debe buscar una solución de compromiso: se ha de seleccionar la combinación de diámetro y RPM de la hélice de mejor rendimiento dentro de las restricciones impuestas por las características particulares de cada buque.

La búsqueda de esta solución de compromiso ha de hacerse caso por caso. El proceso puede ser laborioso pero, ya se ha dicho, existe suficiente información fiable relacionada con el funcionamiento de hélices, sin y con tobera, para llevarla a cabo con éxito y seleccionar la mejor combinación posible de diámetro, relación paso / diámetro, y velocidad de giro de la hélice.

Esta solución intermedia consiste en montar una hélice de palas fijas accionada 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. Dado que normalmente existen en un pesquero dos condiciones de trabajo claramente diferenciadas, buque arrastrando o en tránsito, parece suficiente que estos reductores dispongan sólo de dos ruedas reductoras.

Dado que la potencia propulsora instalada en los buques pequeños no suele ser poca, el empacho de estos reductores limita la diferencia entre la velocidad de giro a su salida. Lo habitual es que las velocidades de giro de las dos salidas se diferencien una de otra entre un 10 % y un 15 %.

¿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 friccional al avance de las palas, disminuyendo por lo tanto su rendimiento.

El número de palas de la hélice será normalmente aquel con el que se consiga el máximo rendimiento siempre que se haya comprobado que no se producirán fenómenos resonantes relacionados con el número de cilindros del motor propulsor o con la frecuencia propia de algún equipo importante situado cerca del codaste. La influencia de esta característica en el rendimiento propulsivo de la hélice es de segundo orden.

Las actuaciones sobre otras características de la hélice como el tipo de perfiles de las secciones cilíndricas, la forma de pala, etc., queda para casos especialmente comprometidos para los que será necesario realizar proyectos individualizados.

5.2.3. Condiciones de Mantenimiento.

Evidentemente, el estado de mantenimiento del casco y de la hélice afectan a su comportamiento hidrodinámico y, por lo tanto, a su eficacia energética. En consecuencia, se incluyen en este apartado unos cuantos comentarios relacionados con aquellos aspectos propulsivos que se verán más afectados por el estado de mantenimiento del casco y de la hélice del buque.



Figura 41. Varada de mantenimiento

Ya se ha dicho que durante la vida del buque, para una misma potencia absorbida por la hélice, las RPM del motor sufren una disminución gradual que puede llegar a valores entre el 3 % y el 6 % de los nominales. También se ha dicho que esta reducción de RPM se recupera sólo parcialmente cuando el buque entra en dique.

A par constante, es decir, prácticamente a igualdad de consumo de combustible, la disminución de RPM produce una reducción de la potencia propulsora y por tanto de la velocidad del buque. Si se quisiese mantener las RPM nominales del motor, se debería aumentar el par del motor, es decir, de la presión media efectiva en los cilindros lo que, además de aumentar el consumo de combustible, podría sobrecargar 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 a causa de adherencias de organismos, corrosión, desperfectos de la protección del casco, abolladuras del mismo, etc.

La rugosidad también aumenta gradualmente en las palas de las hélices deteriorándolas. Cualquier aumento de la rugosidad trae consigo una pérdida del rendimiento de la hélice con el consiguiente aumento del consumo de combustible necesario para dar una potencia determinada.

Evidentemente, la rugosidad de las palas de las hélices favorece la aparición de la cavitación que, además de ruidos y vibraciones produce pérdidas del rendimiento y erosión de las palas que, a su vez, hace que aumente su rugosidad.

Se debe por lo tanto evitar la corrosión producida por la acción galvánica debida a la ionización originada entre las palas de la hélice, generalmente de bronce, y los distintos elementos estructurales cercanos del codaste, normalmente de acero.

En las entradas a varadero, programadas para el mantenimiento del buque, además de limpiar los fondos y las palas de las hélices, se debe comprobar 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.

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

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 y reducirse hasta un límite razonable realizando los trabajos de mantenimiento preventivo recomendados tanto para el motor principal como para los servicios auxiliares. Muchas veces, este mantenimiento preventivo no requiere la entrada del buque en varadero, por lo que bajan los gastos de mantenimiento que, normalmente, constituyen una inversión que casi siempre compensa.

Si en un momento determinado de la vida del buque se ha de sustituir el motor y/o el reductor, resulta más que conveniente realizar los estudios oportunos, incluso soportados por ensayos en canal, para comprobar que la potencia propulsora y la relación de reducción seleccionadas siguen siendo adecuadas para un buque que, además de avejantarse, puede haber cambiado el perfil de operación para el que fue concebido en su día.

5.2.4. Recorte o sustitución de las hélices

La variación progresiva y continua a lo largo de la vida del buque de las condiciones de servicio del conjunto hélice – motor obliga a tomar una serie de precauciones durante el diseño de la hélice del buque.

La hélice con la que sale el buque del astillero se suele proyectar, siempre que la especificación de contrato lo permita, con un cierto grado de ligereza que puede variar entre el 3 % y el 6 %. Así, la hélice absorberá en pruebas, entre un 85 % y un 90 % de la potencia nominal al 100 % de las RPM nominales.

Por lo tanto, pasado un cierto tiempo, y según se vayan degradando las condiciones del casco y de la hélice, y/o cuando el buque navegue en olas, lo que será frecuente, el equipo propulsor trabajará más cerca y en torno a las condiciones nominales del conjunto hélice – motor, dando el 100 % de la potencia nominal al 100 % de las RPM del motor.

También, si las condiciones de trabajo se modifican, puede ser conveniente modificar la hélice del buque aprovechando una entrada en varadero para ajustarla a las nuevas condiciones de funcionamiento. 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:

1. Recortando el diámetro de la hélice. Este sistema es el más drástico, rápido y fácil de llevar a cabo, se puede realizar sin desmontar la hélice. Realmente se aligera mucho la hélice pero a costa de perder bastante rendimiento.

El recorte altera el momento de inercia polar de la hélice y por lo tanto pueden aparecer vibraciones torsionales resonantes en el eje de cola que antes de la modificación no existían.

Por otra parte, la reducción de diámetro reduce obviamente el área de las palas por lo que aumenta considerablemente el riesgo de cavitación.

2. Modificación del paso de la hélice en caliente. Hay empresas especializadas en esta operación consistente en aplicar calor a las palas hasta que se puedan retorcer controladamente las secciones cilíndricas más exteriores para reducir así el paso medio del propulsor y conseguir el aligeramiento de la hélice.

Esta operación es delicada, exige desmontar la hélice y trasladarla al taller. A pesar de ello, no se puede garantizar que el acabado de las palas se conserve como el original, ni que puedan existir pequeñas diferencias entre los pasos finales de las distintas palas. Evidentemente, estas diferencias de paso pueden dar lugar a fluctuaciones de par y de empuje y a vibraciones inexistentes antes de la modificación.

Si la reducción de paso necesaria es elevada, el paso de punta de pala puede ser excesivamente pequeño, con lo que aumenta mucho el riesgo de cavitación en la cara de presión de la punta. Esta cavitación puede causar, además de la erosión de las palas en esa zona, una caída importante del rendimiento.

3. Recorte en frío del borde de salida de la hélice. 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.

Este método es de fácil ejecución, se puede realizar con bastante exactitud y no requiere la aplicación de calor a las palas. Además, la pérdida de rendimiento es poco apreciable.

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 42, tomada de la referencia [6], muestra, de forma aproximada, la zona de la pala que se suele modificar, mientras que la figura 43, tomada de la misma referencia [6], mues-



tra el perfil sin modificar y modificado, integrado en el esquema habitual que describe sus condiciones de funcionamiento, mostrando 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.

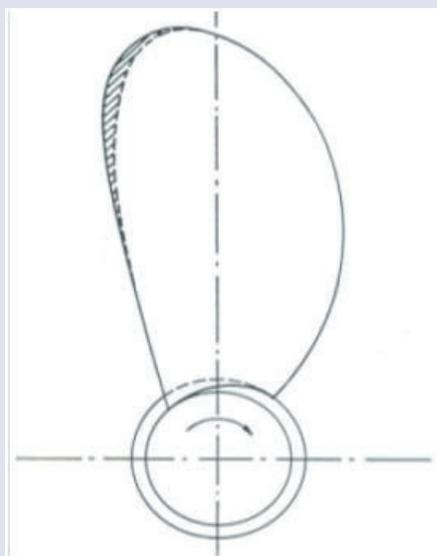


Figura 42. Zonas afectadas por el recorte del borde de salida de la hélice

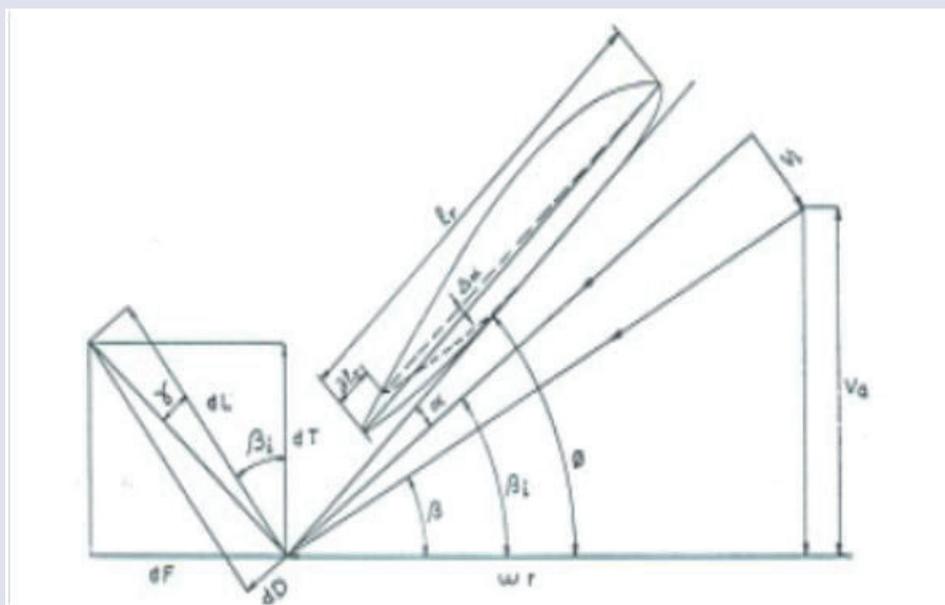


Figura 43. Disminución del ángulo de ataque al recortar el perfil

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 (α) de ataque efectivo del perfil con respecto al ángulo de paso hidrodinámico (β_i) que permanece constante si no se alteran las condiciones de velocidad y RPM de funcionamiento de la hélice.

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

El paso medio resultante para la hélice recortada dependería de la magnitud de las reducciones de longitud y de ángulo de ataque de cada una de las secciones cilíndricas modificadas, y sería fácil de calcular.

La figura 44, muestra el detalle de un recorte como los descritos, y cómo se altera la geometría del perfil de cada sección cilíndrica.

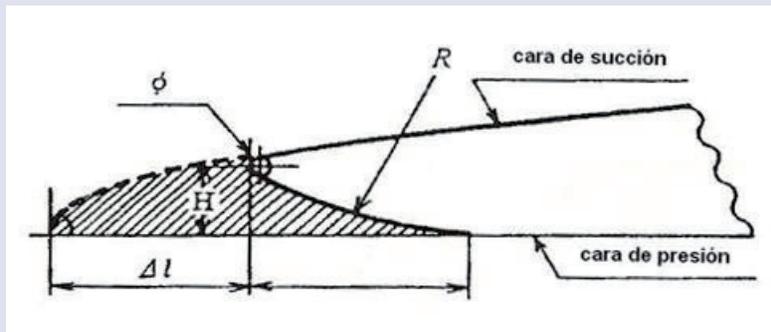


Figura 44. Detalle del recorte del borde de salida de un perfil

Como se aprecia en la figura 44, se consigue levantar el borde de salida una distancia "H" reduciendo la longitud de la sección una distancia "Δl". Como se ve, el nuevo borde de salida ha de terminarse con su 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.

Si la obra se proyecta y ejecuta adecuadamente, se pueden conseguir con este método aligeramientos de las hélices entre, aproximadamente, un 1.5% y un 4.5% haciendo recortes como el esquematizado en las figuras anteriores.

Con carácter orientativo, se puede decir que las magnitudes indicadas en las figuras, para la sección cilíndrica a $x = r/R = 0.70$, pueden oscilar entre:

$$4\% < \Delta l/H < 6\%$$

$$2\% < \Delta l/L_{0.70} < 5\%$$

5.2.5. Reductores de dos Velocidades

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.

Si la segunda velocidad diese un 15 % más de RPM que la primera velocidad, el motor funcionaría también en la zona permitida para el funcionamiento continuo del motor.



Como se ve, en este caso bastaría con que la segunda velocidad aumentase sólo en un 10 % las RPM de la primera velocidad del reductor.

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.

5.3. GESTIÓN DE LA ENERGÍA A BORDO

El objetivo principal del análisis contenido en estas páginas es la identificación y desarrollo de aquellas acciones cuya aplicación al proyecto, transformación y operación de los barcos pesqueros puede originar un ahorro en su consumo de combustible. Para alcanzar este objetivo, y atendiendo a las características tan específicas de la actividad pesquera, se ha considerado que deberán tenerse presentes las siguientes líneas de actuación:

- Selección, montaje a bordo y operación de las máquinas y equipos de los barcos de manera que trabajen en regímenes situados en sus zonas de rendimiento óptimo; sobre todo en aquellos casos en los su incidencia energética sobre el consumo de combustible del barco sea significativa.
- Diseño de la planta de energía a bordo de manera que entre generadores y consumidores se produzca el menor número posible de conversiones de energía.
- Disposición a bordo de acumuladores de energía para evitar que, en horas de baja demanda, se desaprovechen energías generadas en exceso.

Estas líneas de actuación serán aplicables en el proyecto de barcos nuevos y, en alguna medida, en la transformación y operación de barcos ya construidos.

Debe señalarse que los barcos pesqueros se caracterizan por tener unos espacios disponibles muy ajustados de tal forma que toda modificación que se proponga en ellos tendrá que tener en consideración el volumen, (empacho) y dimensiones del sistema propuesto, así como su peso y posición a bordo que, en ocasiones, podrían no ser aceptables por afectar en exceso a la estabilidad del pesquero.

Se puede considerar que la generación de energía en pesqueros ha respondido, hasta ahora, a unos esquemas convencionales en los que los sistemas y equipos tenían una gran fiabilidad y requerían un mantenimiento sencillo y conocido por las tripulaciones, cualesquiera que fuese su cualificación técnica.

En la actualidad, por otra parte, en buques mercantes de mayor porte que los pesqueros, se montan y utilizan sistemas que permiten el aprovechamiento de energías residuales generadas en la planta propulsora, como son las contenidas en los gases de exhaustación y en los líquidos refrigerantes de las máquinas térmicas. Por esta razón, en este apartado se realizará una aproximación a aquellas aplicaciones existentes en dichos buques que puedan ser adaptadas a los barcos pesqueros.

Otra posible forma de generación de energía en los barcos, que debe ser analizada, es el uso de las llamadas energías renovables, debiendo aclararse que se evitará en este estudio el punto de vista tradicional del uso del viento como medio para la propulsión del barco; considerándose el viento y el sol como fuentes potenciales para la generación de energía eléctrica o térmica.

5.3.1. Selección de auxiliares. Alternativas de funcionamiento

En determinados tipos de embarcaciones pesqueras se producen dos regímenes diferenciados de funcionamiento del sistema propulsor debido a que la velocidad adecuada durante la faena de pesca es muy inferior a la velocidad durante la navegación hasta el caladero o hasta el puerto base. En algunos tipos de barcos durante la propia faena de pesca se distinguen, además, fases en las que la velocidad del barco varía notablemente de unas a otras.

La selección del motor propulsor viene impuesta, naturalmente, por la situación de funcionamiento en la que se requiera mayor potencia. En las restantes situaciones de funcionamiento, si se desea que el motor principal continúe trabajando en la región de máximo rendimiento se hace preciso absorber el exceso de potencia que genera sobre la necesaria para la propulsión, lo que se consigue disponiendo tomas de fuerza en los ejes de cola o mediante PTOs, a través de los cuales se accionan otras máquinas.

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 barco, 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 barco, del tipo de propulsor y de características del régimen del motor principal. Como máxima, se puede indicar que en una planta propulsiva diésel 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 barcos con motores principales diésel que trabajen a revoluciones constantes –que es el caso del montaje de un propulsor de paso controlable–, 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 –caso de una hélice de palas fijas montada–, el ahorro conseguido por kW eléctrico generado frente al diésel 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 barco 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 100 Kw y un alternador de cola de 100 Kw acoplado al motor principal.

Si el buque en esa condición de navegación necesita generar además de la potencia propulsiva una potencia eléctrica de 100 Kw, 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 100 Kw eléctricos demandados, se obtienen los resultados que se reflejan en la Tabla siguiente:

TABLA 03

INDICADOR DE LA RESISTENCIA POR FORMACIÓN DE OLAS			
Alternativa de Generación	Potencia Nominal (Kw)	Consumo (l/h. Kw)	Diferencia %
Motor Auxiliar	100	0,25	1,25
Motor Principal + Alternador de Cola	Motor Principal	1.000	
	Altern. de Cola	100	

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

Se puede afirmar que la instalación de alternadores de cola y máquinas accionadas a través de PTO es una actuación que propicia el aprovechamiento de la energía, de ahí que se haya extendido rápidamente y pueda decirse que ya es común en la flota pesquera española.

5.3.2. Consumidores principales

A continuación se describe, para los equipos consumidores más habituales, su peso relativo respecto a la potencia total de consumidores instalada, 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 las condiciones de más carga.
- 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 barco y en gran medida también del tipo de faena. Hay que resaltar que los principales consumidores en este apartado son los proyectores de iluminación de cubierta de trabajo.
- 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.

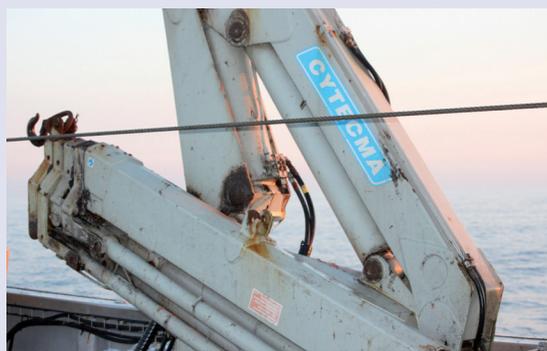


Figura 45. Equipo hidráulico en la cubierta de un arrastrero medio

5.3.3. Integración del tren propulsivo en la generación de potencia eléctrica y accionamiento de equipo

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 infrutilizada, ...)

La mayor eficiencia de equipos particulares considerados aisladamente, puede quedar desvirtuada si éstos no se integran con los demás consumidores del barco 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 eléctricas 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.

5.3.4. Aprovechamiento de Energías Residuales

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 barcos de pesca, así como el grado de desarrollo de algunas de estas soluciones, limitan la incorporación de estas tecnologías.

Esta energía se localiza, principalmente, como:

1. Energía térmica contenida en los gases de exhaustación
2. Energía térmica contenida 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 cualquier caso, para poder valorar la conveniencia o no del uso de estas energías "gratuitas", una vez cuantificadas las mismas será necesario, además:

- Identificar los sistemas de los barcos pesqueros que podrían beneficiarse del aprovechamiento de esas energías "gratuitas".
- Analizar el impacto que los volúmenes y pesos de los equipos necesarios para aprovechar esas energías producirían sobre los espacios y la estabilidad de los barcos pesqueros en los que se montasen.
- Valorar el aumento de costes producidos por la instalación y el mantenimiento de dichos sistemas y equipos.

5.3.4.1. Viabilidad Técnica de la recuperación de energías residuales

Energía contenida en los gases de exhaustación

1.- Recuperación mediante plantas de vapor auxiliar. La planta de vapor auxiliar consta de caldera, turbina, condensador y bombas, y mediante una instalación de este tipo se puede recuperar una potencia equivalente al 9% de la potencia mecánica que genera el motor diesel.

En el caso de barcos pesqueros esta opción debe ser desestimada, ya que:

- Los gases de exhaustación no son portadores de suficiente energía para accionar un grupo turbogenerador que satisfaga las necesidades del barco en navegación o faenando. Considerando, incluso, el caso de los barcos pesqueros de mayor porte propulsados por motores diesel de 3.000 kW, apenas podrían obtenerse, mediante este caro y complejo sistema, 270 kW eléctricos.
- La caldereta de exhaustación es voluminosa y debe ser instalada por encima del motor principal, es decir en el guardacalor, lo que genera dos inconvenientes: En primer lugar, la disposición de cámara de máquina de un pesquero carece de espacio suficiente para instalar este equipo en el lugar señalado y, en segundo lugar, en el caso de que se forzasen los volúmenes de los espacios de máquinas para llevar a cabo su instalación se producirían problemas de estabilidad en el barco pesquero, como consecuencia de incorporar al mismo un peso considerable en una zona elevada.

2.- Recuperación mediante calderetas de vapor saturado. En el caso de barcos pesqueros esta opción debe ser también desestimada, ya que:

- El motor principal consume combustible refinado que no precisa ser calentado ni en su trasiego, ni en su limpieza centrífuga ni en la preparación para su consumo en el motor.
- La caldereta de exhaustación es voluminosa y debe ser instalada por encima del motor principal, es decir en el guardacalor, lo que genera dos inconvenientes:
 - La disposición de cámara de máquina de un pesquero carece de espacio suficiente para instalar este equipo en el lugar señalado.
 - En el caso de que se forzasen los volúmenes de los espacios de máquinas para llevar a cabo su instalación se producirían problemas de estabilidad en el barco pesquero, como consecuencia de incorporar al mismo un peso considerable en una zona elevada.

3.- Recuperación mediante frigoríficas de absorción. A la vista de las características técnicas de los equipos industriales de absorción que utilizan como fuente de energía los gases de combustión, se considera que esta opción debe ser desestimada en los barcos pesqueros, ya que estos equipos de absorción son voluminosos, (el menor mide 3,08x1,81x1,96m), y deben ser instalados por encima del motor principal, es decir en el guardacalor:

Como la disposición de cámara de máquina de un pesquero carece de espacio suficiente para instalar este equipo en el lugar señalado. En el caso de que se forzasen los volúmenes de los espacios de máquinas para llevar a cabo su instalación se producirían problemas de estabilidad en el barco pesquero, como consecuencia de incorporar al mismo un peso considerable, (el equipo menor pesa 4.800 kg.) en una zona elevada.

4.- Recuperación mediante Calentadores de agua dulce-Frigoríficas de absorción. A la vista de las características técnicas de los equipos industriales de absorción que utilizan como fuente de energía el agua caliente, y a diferencia del caso anterior se considera que esta opción puede ser viable en los barcos pesqueros, ya que:

- Estos equipos de absorción son menos voluminosos, (el mayor mide 1,38x1,52x2,06 m), y pueden ser instalados en cualquier espacio del barco.
- Solamente debería instalarse por encima del motor principal, es decir en el guardacalor, un calentador de agua dulce de placas, de volumen y peso reducidos.

En el caso de elegir esta opción para satisfacer las necesidades de climatización de las acomodaciones, se puede evitar montar, además, a bordo una planta de climatización por compresión para la refrigeración del barco cuando el motor principal esté parado, sin más que incorporar al calentador de agua unas resistencias eléctricas que, alimentadas por los grupos auxiliares o por la toma de corriente en puerto, hagan el aporte energético que hacen, en condiciones normales, los gases de exhaustación del motor principal.

5.3.5. Utilización de 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.

Este tipo de motor se controla 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.

Las razones por las cuales los últimos motores utilizan inyectores unitarios se basan en que esta inyección unitaria mejora la presión y la precisión del suministro de combustible.

Por el contrario en los motores de regulación mecánica, la cantidad de combustible suministrado para cada ciclo de inyección se controla mediante el ajuste de un regulador mecánico sobre el que sólo influye la velocidad y la carga del motor, limitando la flexibilidad de la regulación.

Ventajas del control electrónico

Las ventajas de este tipo de motores son innumerables, entre las más importantes hay que destacar:

- Mejora la economía de consumo
- Menores emisiones de NOx y funcionamiento "sin humos"
- Mejor comportamiento en marcha atrás y parada de emergencia, debido a la regulación optimizada de la válvula de escape y la inyección.

- La velocidad del motor es uniforme para que la aceleración y el desplazamiento sean más uniformes.
- La sincronización del motor se consigue sin añadir ningún otro sistema
- Hay potencia de reserva disponible para poder aceptar fácilmente cargas adicionales para giros difíciles, cambio del estado de la mar o redes con cargas pesadas.
- Marcha al ralentí mejorada con un régimen bajo y estable de rpm mínimo.
- Sistema de control que mejora el balance del motor y un óptimo reparto de carga térmica entre cilindros.
- En caso necesario, cualquier pieza electrónica puede sustituirse sin parar el motor.
- El software de control puede actualizarse en el caso de la entrada de nuevas normativas medioambientales.
- Control eficaz del mantenimiento preventivo del motor, registro de datos y estrategias de protección.

En el siguiente Cuadro se presentan algunos de los parámetros más importantes por los que se rigen los motores electrónicos

CUADRO 01

Grado de aplicabilidad	Barcos de al menos 100 cv de potencia, aunque este límite irá disminuyendo
Coste de instalación	El precio de un motor electrónico a igualdad de potencia con uno convencional es un 20% superior
Ahorro económico estimado	La reducción de consumo de combustible depende en gran medida del tipo de buque, y en concreto de los regímenes a los que trabaja el motor, pero al menos supone un 10% de reducción

5.3.6. Gestión de la lubricación

El objetivo final de la lubricación es mejorar la fiabilidad de las máquinas, que trabajen el máximo tiempo posible en condiciones óptimas. Se trata de un tema que se tiene poco en cuenta por regla general, el disponer de un lubricante muy bueno, no implica que los resultados lo vayan a ser, hay que ir mas allá y ahí entra en juego la gestión de la lubricación.

Esta gestión de la lubricación debe ir integrada en el mantenimiento general del sistema propulsivo y del buque en general. Para ello se debe tener en cuenta:

- Selección de lubricantes.
- Requerimientos de lubricación de las máquinas.
- Recepción de los mismos con sus controles de calidad.



- Almacenamiento, manejo y aplicación de los mismos.
- Mantenimiento, control de la contaminación.
- Análisis de aceites, fluidos, grasas
- Gestión adecuada de los productos agotados
- Entrenamiento y formación del personal
- Control de objetivos medibles
- Seguridad y gestión adecuada

Los beneficios obtenidos gracias a un eficiente almacenaje, manejo y suministro de los lubricantes, pueden ser mucho mayores que el propio coste inicial de los lubricantes marinos. Muchas compañías gastan gran cantidad de dinero en lubricantes, ya que desembolsan capital varias veces, primero cuando compran el lubricante y después, cuando pagan de nuevo por un almacenaje defectuoso, mal manejo y suministro en malas condiciones.

Un adecuado manejo en el puerto base del buque, así como una correcta entrega del lubricante puede suponer un ahorro de miles de euros, o reducción de los tiempos de parada del motor, reemplazamiento de partes estropeadas o limpieza de lodos.

A este respecto varias empresas han desarrollado sencillos sistemas de análisis sobre los modos de almacenaje, manejo y suministro de lubricantes para motores marinos. Su objetivo es ayudar al armador a realizar las mejores prácticas, evitando las habituales causas del mal funcionamiento de los motores marinos achacadas a deficiencias en la lubricación.

6. RECONOCIMIENTO Y PRUEBAS DE MAR DE LOS BUQUES

El Trabajo de Campo realizado a bordo de las embarcaciones seleccionadas por el Equipo Técnico de la UPM, puede dividirse en tres Apartados:

- Reconocimiento del Buque
- Realización de Pruebas de Velocidad en Navegación Libre y
- 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.

6.1. RECONOCIMIENTO DEL BUQUE

Cada buque visitado ha sido reconocido exhaustivamente por el Equipo Técnico, tomadas fotografías de los equipos y maquinaria de aquél 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 ha sido 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. A ser posible, toda la tripulación
- Datos relativos a las redes, puertas y aparejos. Es conveniente disponer de una copia del plano o croquis de la red.
- Obtener los datos de consumos de gasoil en intervalos largos de tiempo con información de los días trabajados.
- Cantidades de pesca descargadas y valor en períodos largos de tiempo.

6.2. PRUEBA DE VELOCIDAD EN NAVEGACIÓN LIBRE

Para realizar la Prueba de Velocidad, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Es fundamental conocer con certeza el desplazamiento en pruebas del buque, para lo cual deben medirse con precisión los calados en proa y en popa. También es deseable que este desplazamiento coincida con uno intermedio entre el de ida y el de vuelta al caladero.
- Debe hacerse constar el grado de rugosidad del casco, al menos sabiendo el tiempo que ha pasado desde la última limpieza de fondos.
- La prueba progresiva de velocidad debe realizarse en el siguiente orden:
 1. A una velocidad inferior a la habitual de ida y vuelta del caladero.
 2. A la velocidad habitual de ida y vuelta del caladero.
 3. A la correspondiente a la máxima potencia del motor.
- Las velocidades se han medido mediante el GPS del buque y mediante el propio equipo aportado por el Equipo Investigador, promediando las lecturas tomadas, al menos durante tres minutos, a partir del momento en que la velocidad del buque se haya estabilizado.
- Todas las carreras se han repetido a rumbo encontrado, con la misma duración, empezando a medir de nuevo una vez que el buque hubiese estabilizado su velocidad y su rumbo, después de virar 180°.
- En cada carrera se ha navegado 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.
- Para estimar la potencia propulsora, si no se trata de motor electrónico, se han utilizado las pruebas de banco para obtener el valor de los pares motores relacionándolos con el grado de inyección de combustible o con la temperatura de los gases de escape.

- Las curvas potencia – velocidad, obtenidas en estas pruebas, se han calibrado con alguno de los métodos numéricos expuestos más arriba (García Gómez, etc.) para poder detectar aquellos buques que estén demasiado fuera de punto.
- La medida del trimado dinámico y la visualización del aspecto del espejo y de los trenes de olas, transversal y divergente, han ayudado mucho para estimar la bondad del comportamiento del buque y para “anclar” las simulaciones a realizar con CFD. Lo ideal sería poder tomar fotos del buque a las distintas velocidades desde una embarcación auxiliar.

La figura 46 siguiente muestra la comparación de los resultados obtenidos en pruebas de uno de los buques auditados con los valores calculados, aplicando dos métodos muy extendidos y de prestigio, para la predicción de la potencia propulsora de buques semejantes al elegido.

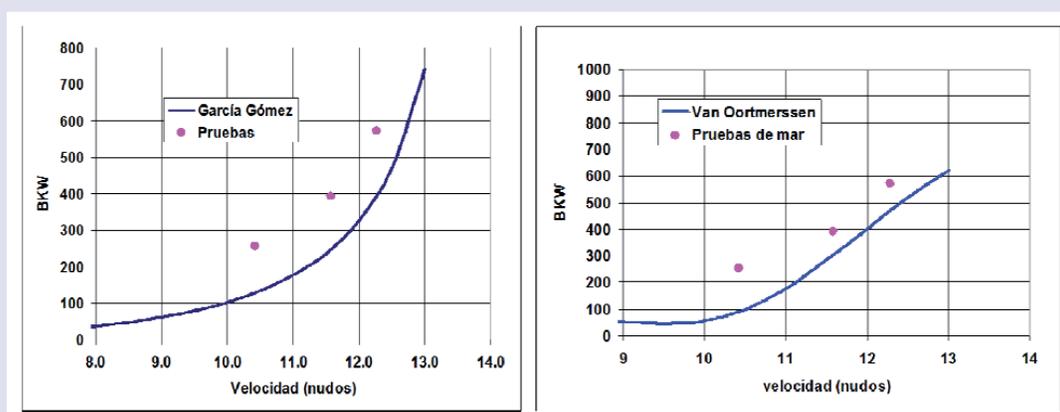


Figura 46. Comparación de los resultados de pruebas de mar con la predicción basada en los métodos de García Gómez y Van Oostmerssen

En ambas figuras se puede apreciar que la potencia requerida por el buque es superior a la predicha por ambos métodos.

Aunque los métodos indicados son de aplicación a buques nuevos navegando en aguas tranquilas, se puede concluir que las prestaciones del buque son algo inferiores a las esperadas desde un punto de vista estadístico.

6.3. PRUEBA DE TIRO A PUNTO FIJO

Es una prueba complicada y peligrosa y se deberán tomar todas las precauciones posibles para evitar daños físicos en los integrantes del equipo de pruebas y averías, que pueden llegar a ser importantes, en el propio barco. Por ello, algunas de las decisiones operativas de la realización de la prueba se han tomado a bordo, procurando garantizar las mejores condiciones de seguridad para el personal y el barco.

Antes de hacer la prueba se ha de estimar la tracción (TPF) para pesqueros sin tobera para decidir si la prueba se ha de hacer contra uno o dos norays:

$$11 \text{ kg/BKW} = 8 \text{ kg/BHP}$$

Los aspectos más importantes a considerar, son los siguientes:

1. Elegir estachas o cables que aguanten al menos el doble de la TPF estimada. A falta de estachas de remolcador, lo más cómodo sería tirar de malletas nuevas.

2. Elegir la forma más segura y sencilla de intercalar el dinamómetro en las líneas de pesca de acuerdo con los patrones.
3. La mejor solución consiste en hacer firme cada malleta a un noray y embozar ambas en el grillete de popa del dinamómetro. Se deben elegir estachas o cables que aguanten al menos el doble de la TPF estimada. Lo mejor es disponer de una estacha nueva de unos 100 m de longitud. A título orientativo, una estacha trenzada (8 cordones) de fibra sintética, como por ejemplo Polysteel, y 40 mm de diámetro, tiene una resistencia aproximada de rotura de 30.000 Kg. La estacha se emboza a uno de los grilletes del dinamómetro, tal como se puede ver en la fotografía adjunta (Figura 47). Por otra parte, una estacha doble de suficiente diámetro (30 mm aproximadamente y 20 m de longitud) puede enrollarse en torno a la base de la maquinilla y pasarla por el otro grillete del dinamómetro.



Figura 47. Disposición del dinamómetro a bordo

4. Zona de pruebas: Cuanto más amplia, más clara y más profunda mejor. En general, la profundidad debe ser superior a 12 m o 3 veces el calado, en un radio de dos esloras entorno al buque, con el fin de minimizar los efectos de la cavitación de la hélice y la succión de aire.
5. Distancia mínima a los norays 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. La ideal es que la distancia del buque al cantil del muelle sea la suficiente para que el chorro de agua provocado por la hélice progresase en aguas abiertas hasta que se anulase su velocidad. Esta condición no suele producirse debido al espacio restringido del que se dispone en las dársenas pesqueras. (Figura 48)
6. Zona libre transversalmente en ambas bandas: una eslora en el sentido de la manga por una eslora en el sentido de la eslora del buque (una eslora cuadrada a cada banda).



Figura 48 Arrastrero en la prueba de tiro

7. Se han de minimizar los efectos de vientos y corrientes y las metidas de caña para mantener el buque a la vía.
8. Proceso de la prueba: Calentar motores con una pequeña tensión en el cable para templarlo y empezar a medir. Se toman medidas a diferentes revoluciones; cuando se establezca una circulación más o menos estacionaria del flujo los registros bajarán un poco.
9. Cuando se llega al tope del regulador del motor, el barco está desarrollando el máximo tiro a unas revoluciones que, normalmente, no sobrepasarán el 80% de las nominales. Es en esta situación cuando se ha alcanzado el par motor máximo.



Figura 48 bis. Prueba de Tiro a Punto Fijo

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 se hará mediante grabación en video del display o manualmente, sincronizada al oído con el puente del buque.

En la Figura 49 se presentan los resultados de la Prueba de Tiro de dos de las embarcaciones auditadas en el Puerto de Calpe. Teniendo en cuenta el escenario donde se realizaron las pruebas, los valores obtenidos se consideran aceptables. Puede observarse que el cociente Tiro/RPM² disminuye a medida que se van aumentando las revoluciones del motor. Esto es debido a la pérdida de empuje que se produce al aumentar la cavitación o la succión de la hélice.

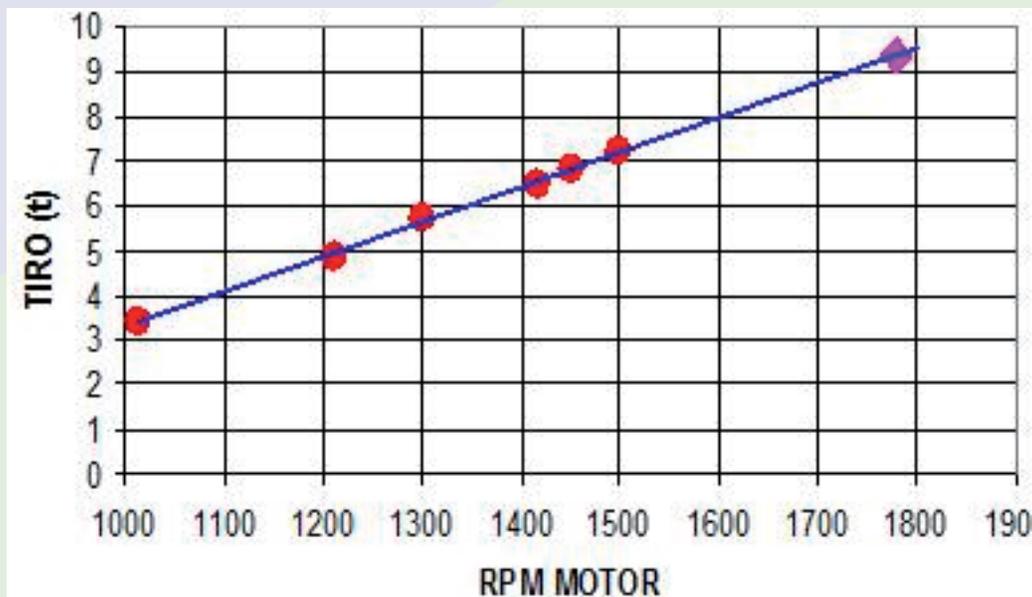
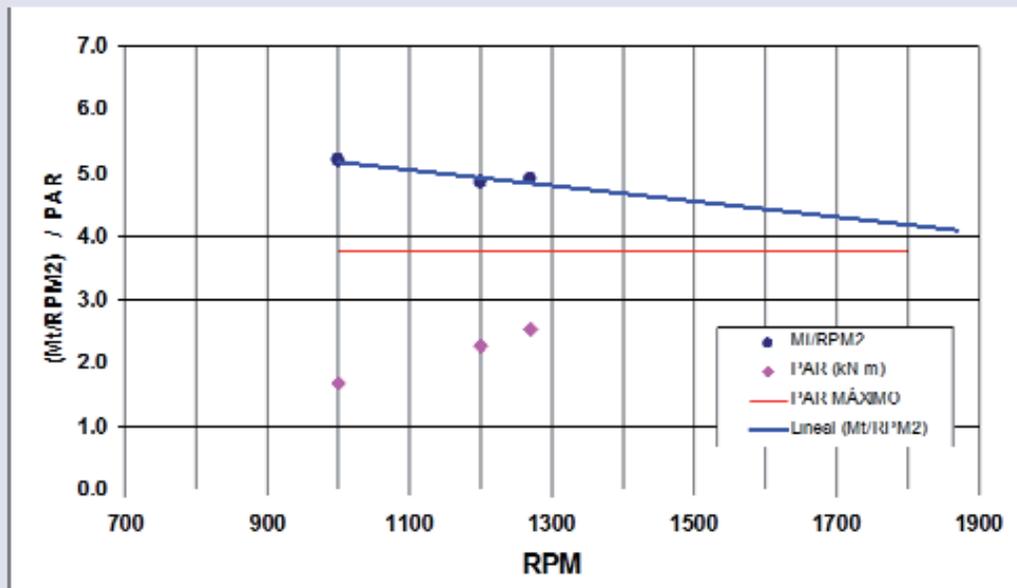


Figura 49. Resultados prueba de tiro

6.4. EQUIPOS EMPLEADOS EN LAS PRUEBAS

El equipo empleado en las pruebas ha sido el siguiente:

- 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. (Figura 40)



Figura 50 Dinamómetro

- Equipo de posicionamiento DGPS que permite obtener coordenadas geográficas (elipsoide de Word Geodetic System 84 (W.G.S 84)) y en la proyección Universal Transversa Mercator (U.T.M.) obteniendo de este modo un sistema global y de conexión con las coordenadas oficiales. (Figura 41).

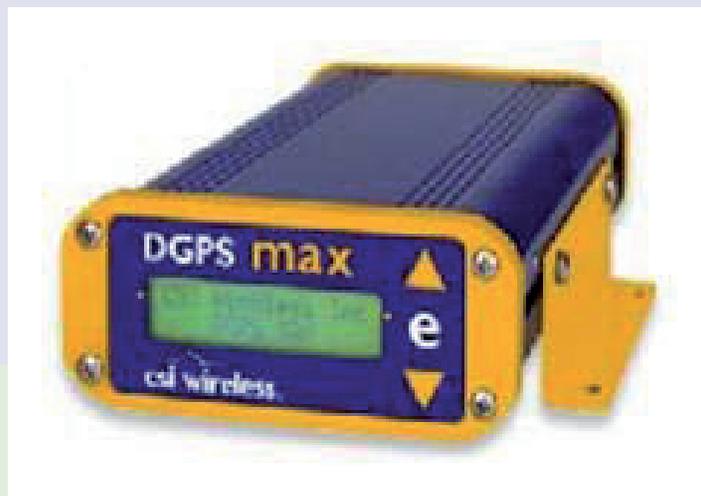


Figura 51-DGPS

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizados los Reconocimientos y las Pruebas de Tiro a Punto Fijo y Navegación Libre de los 32 buques objeto de la Investigación se exponen, a continuación las conclusiones y recomendaciones que se han derivado de la realización del Estudio.

Se debe puntualizar que las modificaciones que se recomiendan son en su mayoría de pequeña entidad, y por lo tanto de bajo coste, y están basadas en la experiencia acumulada en este campo, después de 40 años de ejercicio profesional en el complejo mundo del barco pesquero.

7.1. En la mayoría de los buques auditados se aprecia un sobredimensionamiento de los motores – y por lo tanto de las potencias máximas de diseño que son en muchos casos superiores a las necesidades reales. Esta situación, muy común en los arrastreros del Mediterráneo, corresponde a otras épocas en las que primaba la velocidad. En la situación actual, con los altísimos costes del combustible, todos los barcos navegan a velocidades reducidas, 10 – 11 nudos, en las aproximaciones a los caladeros.

7.2. Algunos de los buques auditados – no muchos – disponen de bulbo de proa, el resto tienen proas convencionales con amplio abanico de proa y roda lanzada. Los usuarios de los primeros están, por lo general, muy satisfechos de su comportamiento en la mar. A lo anterior hay que añadir la ganancia de velocidad, estimada en 3 ò 4 décimas de nudo aproximadamente, con respecto a los barcos sin bulbos.

Por otra parte, la incorporación del bulbo puede suponer, en términos de potencia, un ahorro de un 8-10% manteniendo la velocidad (Referencia 3). Lo anterior ha sido confirmado en los estudios de flujo (CFD), en los que se aprecia una clara disminución de Resistencia de Presión en la proa cuando se incorpora un bulbo.

En línea con lo anterior, se ha recomendado la incorporación de un bulbo postizo en aquellas unidades que carecen de aquél. Es una operación perfectamente factible y sencilla, siempre que el proyecto se estudie cuidadosamente y, además, no es excesivamente onerosa.

7.3. En las pruebas de Navegación Libre realizadas en todos los buques, se han medido los asientos dinámicos que toma la embarcación a diferentes velocidades. En todos los casos han resultado asientos positivos que variaban entre 1 y 2 grados. Los estudios de CFD confirman lo expuesto en el Apartado 5.1.5., y señalan una disminución de Resistencia si se elimina el asiento.

Por ello se recomienda en la mayoría de los casos 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.

7.4. Analizados los Planos de Formas y Disposición General de todos los buques, se ha detectado en numerosos casos que la hélice esta 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 ello sea posible, se ha recomendado separar la hélice, intercalando un suplemento –un carrete– en el eje de cola y proteger su extremo de popa con un guardacabos. Si es posible, y a la vista de los finales de las líneas de agua, se puede añadir un carenado suplementario para uniformizar todavía más las líneas de corriente a la entrada del disco de la hélice.



7.5. Muchos de los propulsores estudiados están correctamente proyectados y se ajustan bastante bien a las dos condiciones de servicio del buque: Arrastre y Navegación Libre. No obstante, en algunos casos, la realización de las pruebas ha demostrado que, por diversas razones, las hélices resultan pesadas, es decir, no alcanzan las revoluciones nominales en la condición de Navegación Libre sin que se sobrecargue el motor (véase Apartado 5.2.4.).

En estos casos, se ha recomendado practicar un recorte del propulsor en el borde de salida para disminuir el paso, tal como se define en el Apartado 5.2.3. Esta operación es muy sencilla y se puede realizar en seco sin desmontar la hélice del eje de cola.

7.6. 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, las circunstancias han cambiado radicalmente y el ahorro de potencia/combustible 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.

Esta actuación tiene el inconveniente del coste pues, además de incorporar el apéndice hay que sustituir la hélice por otra especial para funcionar en tobera.

7.7. Según las propias declaraciones 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 limpieza del casco y el propulsor es fundamental para mantener una resistencia al avance mínima y por lo tanto, minimizar el consumo. La presencia de suciedad o irregularidades en el casco, en los casos más extremos, puede suponer incremento de hasta un 35% de la resistencia a la marcha.

Tal como ha quedado reflejado en el Apartado 5.1.5., 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 potencia, dependiendo de las condiciones. Estas nuevas pinturas son, sin duda, más caras que las convencionales (hasta un 50%) pero, además del ahorro de potencia, tienen la ventaja adicional de que se pueden espaciar las varadas hasta dos años, como mínimo.

7.8. Algunas de las unidades auditadas disponen de hélice transversal de proa para atraques y maniobras de puerto y de arrastre. Según los propios Patrones este equipo es prácticamente imprescindible.

7.9. El mantenimiento de los barcos reconocidos es, normalmente, satisfactorio. Se realizan los cambios de aceite y filtros periódicamente (cada 350-400 horas de funcionamiento del motor), el equipo de pesca y de cubierta está también cuidadosamente puesto a punto. No ocurre lo mismo con la ventilación de la cámara de máquinas que, en algunos casos, es deficiente. 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, se recomienda, en aquellos casos que sea necesario, sustituir la ventilación y aspiración natural por ventilación forzada; también da muy buen resultado, inyectar aire directamente encima de las turbosoplantes para que estas entren y funcionen sin retraso.

7.10. Las medidas de ahorro energético sobre consumidores han de ser coherentes con el peso relativo del conjunto de consumidores instalados. Por tanto, a la hora de adoptar medidas de cambio de equipos, se ha de priorizar según los pesos energéticos ponderados de los mismos; no sólo potencias instaladas sino también su tiempo de uso, potencias durante el mismo y relación con otros equipos.



Figura 52. Llegada a puerto

7.11. Aquellos buques – más bien escasos - que tienen motor electrónico han demostrado su utilidad y los Armadores están muy satisfechos, a pesar de su alto coste. No cabe duda de que, además de controlar de una manera efectiva las emanaciones de gases perjudiciales para el medioambiente (CO₂, NO_x, SO_x, etc.), el gran número de sensores que montan para medir los parámetros de funcionamiento (temperaturas de gases de escape, cargas de la bomba de inyección, consumo de combustibles, etc.) facilitan, puesto en buenas manos, la operación óptima del motor.

7.12. Se ha podido comprobar, a la vista de las declaraciones de los Armadores, que la incorporación de polarizadores para ahorrar combustible ha tenido poca o ninguna aceptación entre aquellos.

Sí que es útil la inclusión de depuradoras de combustible y de aceite por lo que, en aquellos casos en los que no se dispone de estos equipos, se ha recomendado su incorporación.

7.13. Hay que señalar, también, que las medidas de mejora en la eficiencia no sólo implican ahorros en los costes de explotación del buque. Estas medidas también implican mejoras medioambientales que, normalmente no son cuantificadas, pero que, a largo plazo, pueden tener una importancia mayor que los propios ahorros obtenidos a corto plazo.

7.14. Los estudios de viabilidad económica indican, por lo general, que inversiones relativamente pequeñas, pueden suponer rentabilidades interesantes en plazos de amortización cor-

tos, siempre que los ahorros de combustible sean correctamente estimados en las Auditorías.

7.15. En cuanto al equipo de pesca, bastante de las unidades auditadas, disponen de una monitorización más o menos completa de las artes de pesca. 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 profundidades importantes, para conocer, en todo momento, el despliegue y comportamiento del arte.

7.16. Por último, es muy importante destacar que, para que cualquier medida de ahorro energético tenga una correcta aplicación y se obtengan resultados positivos, es fundamental la colaboración de la tripulación que es la que, al fin y al cabo, utiliza el buque. Del mismo modo, la forma en que el buque es patroneado es vital para la obtención de ahorros de combustible.

Para terminar, se ha pretendido demostrar que la incorporación de estas pequeñas mejoras, basadas en la experiencia y en la buena práctica del Ingeniero, puede dar lugar a resultados muy interesantes, en cuanto ahorro de combustible se refiere, a un coste muy moderado.

No obstante, y a pesar de esa moderación, la precaria situación económica de muchas Empresas del Sector hace inviable la introducción de estas mejoras. No sería mala cosa que la Administración Pesquera pudiera establecer una línea de ayudas para que, previa presentación de un estudio riguroso de viabilidad, pudiera ponerse en marcha esta iniciativa.



8. BIBLIOGRAFÍA

- **Alvariño Castro, R., Azpiroz Azpiroz, J. J. y Meizoso Fernández, M.:** "El Proyecto Básico del Buque Mercante" Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1ª Edición, 1997.
- **Calisal, S. M. and McGreer, D.:** "A Resistance Study on a Systematic Series of Low L/B Vessels" Marine Technology, October 1993.
- **García Gómez, A.:** "Predicción de Potencia y Optimización del Bulbo de Proa en Buques Pesqueros" Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, Publicación nº 131, abril, 1991.
- **IDAE. José Daniel Pena Agras (Coordinador):** "Ahorro y Eficiencia Energética en Buques de Pesca" Publicación Nº 13. Madrid. Marzo 2009.
- **Núñez Basañez, J. F.:** "Curso de capacitación F.A.O./Noruega sobre Proyecto de Embarcaciones de Pesca" Sección 7. Guayaquil, 1980.
- **Núñez Basañez, J.F.; Liria Franch, J.M. y otros.** "Análisis, Investigación y Aplicación de Tecnologías Disponibles e Innovadoras para el Ahorro de Combustible" Estudio encargado por la Secretaría General de Pesca (MAPA) conjuntamente a la Universidad Politécnica de Madrid y a la Federación Española de Organizaciones Pesqueras (FEOPE). Madrid, Junio 2006.
- **O'Dogherty, P. y García Gómez, A.:** "Modificación de Hélices, para una Utilización Satisfactoria a lo Largo de la Vida del Buque" Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, Publicación nº 56, enero 1977.
- **Powering Performance Committee Report.** "19th International Towing Tank Conference" Proceedings, Volume 1. September 1990, Madrid, Spain.
- **Santarelli, Mario F. C. y Núñez Basañez, José Fernando:** "Consideraciones acerca del Sistema Propulsor de Arrastreros en Función del Arte de Pesca" Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, Publicación nº 72, diciembre 1981.
- **Santos Rodriguez, L. y Núñez Basañez, J.F.** "Fundamentos de Pesca". 210 p. Fondo Editorial de Ingeniería Naval. Madrid, Mayo 1994.
- **Secretaría General de Pesca Marítima..** "La Pesca en España" Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mayo 2003.
- **The Specialist Committee on Powering Performance Prediction:** "Final Report and Recommendations to the 24th ITTC" Proceedings to the 24th ITTC, Volume II, Edinburgh (U.K.) 2005.
- **Van Oortmerssen, G.** "A Power Prediction Method and its Application to Small Ships" International Shipbuilding Project, 1971.





APÉNDICE: OTROS ASPECTOS DEL CONSUMO VINCULADOS A LA ACTIVIDAD

El presente Proyecto se ha centrado en la optimización de la eficiencia energética de un grupo de buques concretos, mediante una investigación a fondo de su situación actual y la preparación de propuestas de medidas concretas, encaminadas a eliminar la causa de las ineficiencias detectadas, incluyendo la incorporación de innovaciones y mejoras tecnológicas ya existentes en el mercado.

El trabajo se ha concentrado en los buques en sí mismos y su equipamiento a bordo, como herramienta fundamental, dejando más de lado otros temas como los relativos a las redes y su aparejo o la interacción entre ambos elementos, no porque estos aspectos no se consideren importantes, sino porque se trata de trabajos independientes y que requieren otro tipo de actuaciones.

En efecto la mayor parte de las soluciones que se desarrollan teóricamente para mejorar la eficiencia de los equipos de pesca, requieren ajustes individualizados que hay que afrontar desplazando a bordo equipos multi-disciplinares capaces de hacer los ajustes necesarios en situación real de pesca. Ello requiere invertir en tiempo de técnicos a bordo del buque y en tiempo de pesca perdido, lo que, o bien encarece los proyectos o limita el alcance de los mismos y la posibilidad de llegar a un número mayor de buques.

Se ha tenido en cuenta también la existencia de otros proyectos muy interesantes y ya desarrollados, que se centran en esos aspectos, como es el caso del titulado "Mejora de la Eficiencia, la sostenibilidad y el beneficio de la flota pesquera de arrastre catalana, promovido desde la Direcció General de Pesca i Acció Marítima de Catalunya", y otros.

Pero hay también otra temática importante y que tampoco tiene que ver directamente con el buque y su equipo, pero sobre la cual es posible influir para mejorar mucho la eficiencia energética, que es la propia Planificación pesquera de la flota afectada.

Por todo ello, y teniendo en cuenta las grandes posibilidades de ahorro energético que existen en estos dos aspectos, el presente trabajo no quedaría completo si no se incluye alguna consideración general sobre los mismos, y eso es lo que se pretende hacer con este Apéndice.

El consumo de combustible en arrastre

Para poder apreciar las posibilidades de mejora de la eficiencia energética en arrastre es importante ver primero cómo se reparte de forma aproximada el consumo de energía. Como se ha dicho en esta flota de arrastreros del Mediterráneo, la relación entre el tiempo de navegación y el tiempo en arrastre varía entre un 30/70%, para los barcos que se alejan mucho de la costa y un 20/80% para los que faenan más cerca de puerto.



La conversión de estas cifras a consumo, depende del buque, las formas, potencia del motor, hélice, etc., pero también del factor humano, el patrón, que es quien decide la velocidad en navegación.

Igualmente, en arrastre, dada la baja velocidad (2-4 nudos), la resistencia a la marcha debida al buque se reduce mucho hasta el punto de que puede darse como aceptable que en esta condición, la parte de energía consumida que se dedica a propulsar el barco es solamente del orden de un 6/7%, mientras que la empleada en remolcar el aparejo de arrastre llega al 93/94%.

Por supuesto, en realidad, estos valores varían de barco a barco, y dependen de múltiples factores como el aparejo, la velocidad de arrastre, el viento, el estado de la mar, las corrientes, etc., pero estas estimaciones son suficientes para ver el orden de magnitud de cada factor.



Para ver mejor dónde están las oportunidades de ahorro es necesario conocer cómo se reparte esa resistencia entre los diferentes componentes. Hay varios estudios disponibles sobre el tema y todos dan valores parecidos. Los de Seafish (1993) son los siguientes:

- Red de arrastre 53%
- Puertas de arrastre 25%
- Burlón 8%
- Cables de arrastre 4%
- Flotadores 3%

Viendo la tabla es fácil identificar que los dos grandes filones para la reducción de energía son la mejora del filtrado de la red y mejoras técnicas en las puertas, aun cuando hay también otros factores que dependen del armado de la red, o de la interacción red-buque y que son menos visibles.

En este campo hay grandes controversias entre los tecnólogos y los patrones de los barcos ya que los objetivos de unos y de otros difieren. Nos limitaremos aquí a enunciar el origen de las dificultades para materializar estos desarrollos y las oportunidades que suponen:

Dificultades:

- La definición actual de las redes y su aparejado es muy empírica.
- Cómo corregir defectos comunes sin afectar a estabilidad y capturabilidad.
- Resistencia en patrones, pérdida de capturas, necesidad demostración directa.
- Alto coste actuaciones individuales, problemas para extender al resto de la flota.

Oportunidades:

- Aprovechar el gran avance en sensores que permiten conocer cómo va la red.
- Reducir el área barrida acortando malletas.
- Control la velocidad de arrastre por sensor de velocidad de filtrado en vez de GPS.
- Optimización del filtrado: Hilos más resistentes con menor diámetro, y aumento malla en zonas concretas.
- Puertas más hidrodinámicas, voladoras, con menor peso e impacto en el fondo.



En este momento hay mucha investigación sobre estos temas y existe un consenso básico entre los técnicos, de que una importante reducción de la resistencia del arte es un objetivo viable, hasta el punto de que se considera realista, la posibilidad de lograr reducciones del consumo del 30% o más, lo que aplicado sobre el 70-80% del tiempo de operación, se traduciría en un 20-25% sobre el total.

Hay también algunos factores adicionales a considerar en el consumo en arrastre que contribuyen a dificultar tanto el análisis, como el avance en la implementación de estas tecnologías y su experimentación en condiciones reales, que son los que se enumeran a continuación:

La utilización de la potencia del motor en aguas tranquilas es en general moderada.

La resistencia total aumenta mucho con mal tiempo, mar de proa, olas y viento en contra, o con corrientes cruzada y buque atravesado, bastante comunes y difíciles de medir.

El objetivo básico del patrón es mantener la apertura y velocidad efectiva del arrastre, sobre el agua de forma estable y siguiendo un camino preconcebido.

Con ángulos fuertes de timón usados forma permanente para compensar las corrientes, la resistencia debida a este apéndice y la de la carena aumentan de forma notable.





Planificación y gestión de la pesquería

Este es sin duda otro campo en el que existen muchas posibilidades de actuación que producirían una mejora generalizada de la eficiencia energética en toda la flota.

La normativa que regula los horarios de actividad y el sistema de comercialización actuales, son en parte responsables de gran parte de la actual ineficiencia energética de la flota, al primar comportamientos competitivos que aumentan el consumo. La actual estructura de costes los hace obsoletos y resulta necesario, no solamente flexibilizarlos, sino cambiarlos en profundidad revisando los acuerdos sociales que se hicieron en su día.

Deberían estudiarse soluciones más imaginativas como descansos rotativos, eliminar zonas o especies menor interés, asignar cuotas transferibles de esfuerzo por buque, o limitar el tamaño de las redes, que permitieran cambiar la explotación, pasando de unos criterios puros de captura competitiva a otros de maximización del beneficio.

Hoy día los motores están sobredimensionados y a la vez infrautilizados, por lo que trabajan fuera de su punto óptimo. Habría que flexibilizar las normas y reglamentos para ayudar a que se produzca una reducción paulatina de las potencias máximas de diseño, impidiendo así que, la inevitable dualidad que tienen todas las medidas de ahorro, haga que éstas se utilicen para pescar más, en lugar de para consumir menos.

La resistencia a la introducción de ciertas mejoras que los análisis técnicos contemplan como muy positivas, como instalar toberas o redes y puertas con menor resistencia, podría reducirse con medidas de formación en eficiencia energética.

La aplicación de las mejoras propuestas en el campo de las tecnologías del buque, que han sido el objetivo central de este proyecto, combinadas con las que podrían obtenerse en los aparejos de arrastre y en la planificación y gestión, conseguirían hacer una flota notablemente más eficiente desde el punto de vista energético y de sostenibilidad medioambiental.



Anexo:
Protocolo de
Reconocimiento de la Embarcación





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ANEXO I. PROTOCOLO DE RECONOCIMIENTO DE LA EMBARCACIÓN

DATOS GENERALES.

1. BUQUE (nombre):
2. ARMADOR (nombre):
3. NOMBRE DEL PATRÓN (debe recordársele la confidencialidad de los datos a recoger):
4. PUERTO DE RECONOCIMIENTO:
5. FECHA DE RECONOCIMIENTO Y PRUEBAS:
6. ASPECTO GENERAL DEL BUQUE: (estado de la obra muerta, de la superestructura, de las falucheras, disposición, limpieza y orden de los equipos de cubierta. Se recomienda hacer fotografías):

DESCRIPCIÓN

7. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES (a rellenar con ayuda de la información previa):
 - a. MATRÍCULA:
 - b. PUERTO BASE:
 - c. AÑO DE CONSTRUCCIÓN:
 - d. ASTILLERO:
 - e. MATERIAL DEL CASCO Y DE SUPERESTRUCTURA :
 - f. ESLORA TOTAL (m):
 - g. ESLORA ENTRE PERPENDICULARES (m) :
 - h. MANGA MÁXIMA (m):
 - i. PUNTA A LA CUBIERTA PRINCIPAL (m) :



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



- j. **CALADOS** (m) (Indicar frecuencia de la condición de carga, referencias, calados en proa y en popa, forma de la medida, etc.):

- k. **DESPLAZAMIENTO EN ROSCA Y A PLENA CARGA** (t):

l. **TRB:**

GT:

- m. **NÚMERO DE TRIPULANTES:**

8. **FORMAS, PECULIARIDADES** (descripción y valoración por el técnico: tipo de proa y de popa, bulbo, quillote, apéndices especiales, etc.):

DESCRIPCIÓN Y VALORACIÓN

9. **INTERVALOS ENTRE VARADAS, TIEMPO DESDE LA ÚLTIMA:**

10. **DISPOSICIÓN GENERAL DEL BUQUE** (se debe recorrer el buque comprobando la vigencia de los planos. En su caso se deben indicar con detalle las divergencias apoyadas con fotografías):

DESCRIPCIÓN

11. **VALORACIÓN SUBJETIVA DEL PATRÓN** (comportamiento en aguas tranquilas, comportamiento en olas, maniobrabilidad, etc.):

VALORACIÓN



12. VALORACIÓN DEL ESTADO GENERAL DEL BUQUE (técnico):

VALORACIÓN

CÁMARA DE MÁQUINAS

13. ASPECTO GENERAL (ORDEN, LIMPIEZA, RUIDOS, TEMPERATURAS, AGARRADEROS, VIBRACIONES, FUGAS, EMPACHAMIENTO, ETC.):

COMENTARIOS

14. MOTOR PRINCIPAL:

- a. MARCA Y MODELO :
- b. Nº DE CILINDROS (en línea o en "V") :
- c. POTENCIA MÁXIMA DE DISEÑO (BKW / BHP) :
- d. RPM PARA LA POTENCIA MÁXIMA :
- e. POTENCIA MÁXIMA HOMOLOGADA (BKW / BHP) :
- f. ¿ESTÁ SOBREALIMENTADO CON TURBOS? :
- g. EDAD (misma del buque, remotorización, 2ª mano, etc.):
- h. VALORACIÓN SUBJETIVA DEL PATRÓN (estado, historial, frecuencia de averías, mantenimiento, etc.):

VALORACIÓN



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



- i. VALORACIÓN SUBJETIVA DEL TÉCNICO (estado, vibraciones en marcha, polines, etc.):

VALORACIÓN

15. REDUCTOR :

- a. MARCA Y MODELO :
- b. TIPO (doble / sencillo):
- c. RELACIÓN (ES) DE REDUCCIÓN (arrastre / navegación):

16. TOMAS DE POTENCIA DEL MOTOR PRINCIPAL (listado exhaustivo indicando potencias extraídas, por dónde y cuándo se extraen (arrastrando, en navegación, en puerto, etc.):

- a. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD (alternadores distintos de los del motor).
- b. ACCIONAMIENTO DE LA CENTRAL HIDRÁULICA (DESCRIBIRLA BREVEMENTE: SITUACIÓN, TOMAS DE POTENCIA, EQUIPOS QUE ALIMENTA, ETC.) .

DESCRIPCIÓN

- c. OTROS USOS (bombas CI, servo, etc.):

SALIDA (PR / PP)	APLICACIÓN	KW / CV

17. REFRIGERACIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL :

- a. TOMAS DE MAR (a ambas bandas, etc.):
- b. ¿SE MIDE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN (detección de intercambiadores cegados):





18. EXHAUSTACIÓN DEL MOTOR PRINCIPAL :

- a. ¿SE MIDE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE? :
- b. BREVE DESCRIPCIÓN (recorrido sencillo o con muchos codos, tipo de aislamientos, estado, etc.):

DESCRIPCIÓN

19. SERVICIO DE COMBUSTIBLE :

- a. TANQUES ALMACEN (número, capacidad de cada uno y disposición a bordo):

- b. TANQUE DE SERVICIO DIARIO (capacidad y disposición a bordo):
- c. CAPACIDAD TOTAL (m³):
- d. CONSUMO DIARIO O SEMANAL (LITROS) :
- e. SISTEMAS DE PURIFICACIÓN DEL COMBUSTIBLE (separadoras centrífugas, filtros, etc.):
- f. OTROS ELEMENTOS (polarizadores de combustible, etc.):
- g. BREVE DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO (boquillas de carga, recorridos, fugas, aspecto, mirillas, atmosféricos, etc.):

DESCRIPCIÓN



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



20. **MOTOR AUXILIAR :**

- a. MARCA Y MODELO DEL MOTOR DIESEL :
- b. Nº DE CILINDROS (en línea o en "V"):
- c. POTENCIA MECÁNICA NOMINAL (BKW / BHP) :
- d. RPM PARA LA POTENCIA MÁXIMA :
- e. SI ES UN GRUPO ELECTRÓGENO :
 - I. MARCA Y MODELO ALTERNADOR :
 - II. POTENCIA ALTERNADOR (KW / KVA) :
- f. APLICACIONES DEL GRUPO AUXILIAR :

APLICACIÓN	POTENCIA (CV/ KW)

- g. CIRCUNSTANCIAS Y FRECUENCIA DE USO, OTROS AUXILIARES :

- h. VALORACIÓN SUBJETIVA DEL PATRÓN (estado, historial, frecuencia de averías, mantenimiento, etc.):

VALORACIÓN





21. REFRIGERACIÓN DEL MOTOR AUXILIAR :

- a. POR AGUA, POR AIRE :
- b. INTERCAMBIADOR, ENFRIADOR DE QUILLA :

22. VENTILACIÓN DE CÁMARA DE MÁQUINAS :

- a. NATURAL O FORZADA :
- b. EXTRACCIÓN NATURAL O FORZADA :
- c. BREVE DESCRIPCIÓN :

DESCRIPCIÓN

- d. VALORACIÓN SUBJETIVA DEL PATRÓN :

VALORACIÓN

23. ELECTRICIDAD A BORDO :

- a. CORRIENTE CONTINUA:

I. Consumidores:

II. Voltaje:

III. Baterías: nº de grupos, baterías por grupo, capacidad total de las baterías (Amperios hora):

IV. Carga de las baterías (del alternador del motor principal, del grupo auxiliar, etc.):



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



V. Convertidor DC/AC:

b. CORRIENTE ALTERNA :

I. Consumidores:

II. Toma de corriente de puerto (frecuencia de uso):

c. BREVE DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO (estado del tendido de cables (complicado o fácil de seguir), bandejas, seguridad de conexiones, etiquetado, etc.):

DESCRIPCIÓN

24. OTROS TANQUES Y CAPACIDADES :

a. AGUA DULCE (m³):

b. ACEITE LUBRICANTE DEL MOTOR PPAL. (m³):

c. ACEITE HIDRÁULICO (m³):

d. ¿SE TRATAN, FILTRAN O DEPURAN LOS ACEITES? :





HÉLICES Y TIMÓN

25. HÉLICE :

- a. PASO FIJO (monobloque) O PASO VARIABLE :
- b. NÚMERO DE PALAS :
- c. DIÁMETRO (m) :
- d. MATERIAL :
- e. ¿ES DE CHAPA O DE PERFILES HIDRODINÁMICOS? .
- f. ¿SE LIMPIAN LAS PALAS ENTRE VARADAS? .
- g. PECULIARIDADES (perfiles especiales, tobera, timón tobera, etc.) :
- h. SE DEBE ESCUCHAR LA HÉLICE DURANTE LAS PRUEBAS PARA DETECTAR LA POSIBILIDAD DE EXISTENCIA DE VIBRACIONES, RUIDOS, ETC.

COMENTARIOS

26. HELICE TRANSVERSAL (SÍ/NO) :

- a. LOCALIZACIÓN :
- b. POTENCIA (KW / HP) :
- c. FRECUENCIA DE USO :
- d. VALORACIÓN SUBJETIVA DEL PATRÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA HÉLICE LATERAL :

VALORACIÓN

27. TIMÓN :

- a. DE CHAPA O DE PERFIL HIDRODINÁMICO :
- b. OTRAS CARACTERÍSTICAS (compensación de pala, apoyado o colgado, perfiles de alto rendimiento, etc.):



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



c. ACCIONAMIENTO Y POTENCIA DEL SERVO (KW ó HP) :

A BORDO: BODEGAS DE PESCA

28. ESTIBA DE LA DE PESCA :

- a. EN BODEGAS O EN CUBIERTA :
- b. CAPACIDAD TOTAL (m³ O CAJAS) :
- c. NÚMERO DE BODEGAS: SITUACIÓN, CAPACIDAD (m³ O CAJAS), ACCESOS, AL FRESCO O REFRIGERADA, ETC .:

- d. CAPACIDAD DE HIELO (m³) :
- e. TIPO DE HIELO (Escama, Placa, Bloque, etc.):
- f. ¿TIENE MÁQUINA DE FABRICAR HIELO (capacidad)?





MAQUINARIA DE PESCA EN CUBIERTA

29. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA MANIOBRA HABITUAL DE ARRASTRE :

DESCRIPCIÓN

30. VELOCIDAD HABITUAL EN NAVEGACIÓN (HACIA / DESDE EL CALADERO) (NUDOS) :

31. VELOCIDAD DE ARRASTRE (NUDOS) :

32. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PARQUE DE PESCA (PROTEGIDO, AMPLIO, DISPOSICIÓN DE EQUIPOS, ETC.) :

DESCRIPCIÓN

33. MAQUINILLAS DE PESCA :

a. NÚMERO, TIPO, SITUACIÓN Y ACCIONAMIENTO (Carreteles independientes, tambor de redes, carreteles de malleta, cabirones, etc.):

34. GRÚAS Y PESCANES (NÚMERO, USO, SITUACIÓN, POTENCIA (KW / HP), ACCIONAMIENTO) :

35. EMBARCACIÓN AUXILIAR (EXISTENCIA, FINALIDAD, FRECUENCIA DE USO, DIMENSIONES PRINCIPALES, MOTOR (POTENCIA), ESTIBA, PUESTA A FLOTE, ETC) :



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ARTE DE PESCA HABITUAL

36. PUERTAS DE ARRASTRE :
- a. DE FONDO O LEVANTADAS :
 - b. TIPO, MARCA Y MODELO :
 - c. SUPERFICIE (m²) Y/O PESO (kg) :
 - d. APERTURA NORMAL DURANTE EL ARRASTRE (m) :
37. RED :
- a. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN :
 - b. APERTURA HORIZONTAL (m) :
 - c. APERTURA VERTICAL (m) :
 - d. FONDO DE TRABAJO (m) :
 - e. LONGITUD DE CABLE LARGADO (m) :
 - f. DIÁMETRO DEL CABLE PRINCIPAL (mm) :
 - g. LONGITUD DE LAS MALLAS (m) :
 - h. LONGITUD TOTAL DE APAREJO (m) :
 - i. MALLA PROMEDIO / TORZAL DEL COPO (mm) :
38. HORA, FECHA Y FIRMA DEL TÉCNICO AL ACABAR EL RECONOCIMIENTO :





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ANEXO II. PROTOCOLO DE LA PRUEBA DE VELOCIDAD EN NAVEGACIÓN LIBRE

1. BUQUE :
2. LUGAR Y FECHA :
3. CONDICIÓN DE CARGA :

4. CASCO Y HÉLICE :
 - a. Material del casco :
 - b. Tipo de pintura :
 - c. Tiempo desde la última varada :
5. MEDIDA (ESTIMACIÓN) DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES AL INCIO Y AL FINALIZAR LA PRUEBA :

	ESTADO / FUERZA		RUMBO	
	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL
MAR :				
VIENTO:				
MAREA:				

6. OTRAS OBSERVACIONES :

AUDITORÍA ENERGÉTICA DE ARRASTREROS DEL MEDITERRÁNEO



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



TRIMADO EN REPOSO DEL BUQUE AL QUE SE REFERIRÁN LOS MEDIDOS EN PRUEBAS (°) :

PROFUNDIDAD EN EL CAMPO DE PRUEBAS (m) : MÁXIMA:
MÍNIMA:
MEDIA:

DATOS Y RESULTADOS DE LA PRUEBA

Número	Hora inicio carrera	Hora fin. carrera	Rumbo (°)	RPM motor	Velocidad (nudos)	Trimado Dinámico (°)	Consumo Gasoil (l/h)	Temperat. Escape (°C)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

ANEXO III. PROTOCOLO DE LA PRUEBA DE TIRO A PUNTO FIJO

1. BUQUE:
2. LUGAR Y FECHA:



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



3. POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR (MCR): BHP / BKW
4. RPM DEL MOTOR PARA LA MCR:
5. CONDICIÓN DE CARGA (CALADOS):
6. ESCENARIO:
 - a. PROFUNDIDAD MEDIA (m):
 - b. DISTANCIAS MÍNIMAS LIBRES APROXIMADAS (m):
 - I. Longitudinalmente hacia popa, al muelle de tiro:
 - II. Transversalmente hacia babor :
 - III. Transversalmente hacia estribor :
7. MANIOBRA DE TIRO :
 - a. ESTACHA SIMPLE / DOBLE HECHA FIRME EN TIERRA EN UNO / DOS NORAYS :
 - b. ESTACHA SIMPLE / DOBLE HECHA FIRME EN EL BUQUE :
8. ESCENARIO Y MANIOBRA DE TIRO, BREVE DESCRIPCIÓN O ESQUEMA ACOTADO INDICANDO GUÍAS INTERMEDIAS SI EXISTEN :

9. ESTADO DE LA MAR, VIENTO Y MAREA DURANTE LA PRUEBA :

AL INICIO :	AL FINAL :
-------------	------------

10. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS :

Número	Hora inicio	Hora final	RPM motor	TPF medio (t)	TPF/RPM ²
--------	-------------	------------	-----------	---------------	----------------------



AUDITORÍA ENERGÉTICA DE ARRASTREROS DEL MEDITERRÁNEO



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



1					
2					
3					
4					
5					
6					



ANEXO IV. PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CONSUMOS POR CONDICIÓN U OPERACIÓN

DATOS TÉCNICOS Y ENERGÉTICOS SEGÚN CONDICIÓN DE NAVEGACIÓN

En este documento 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 barco, 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 barco en cada momento y su operación, hacen que los resultados y las mejoras a proponer sean más reales y eficientes.

NAVEGACIÓN			
Velocidad (nudos)	Horas ⁽¹⁾	rpm del motor	Angulo de pala de la hélice (%)

MOTORES								
Motores Principales					Equipos accionados			
	Tipo de Combustible	Potencia media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kW/h)	Hélices	Alternadores de cola	Otros equipos
Motor 1								
Motor 2								
Energía total producida por motores principales (kW/h)								
Motores Auxiliares					Equipos accionados			
	Tipo de Combustible	Potencia media desarrollada (kW)	rpm	Consumo medio (l/h)	Energía producida (kW/h)	Alternadores	Otros equipos	Alimentación *
Motor 1								
Motor 2								
Energía total producida por motores auxiliares (kW/h)								

AUDITORÍA ENERGÉTICA DE ARRASTREROS DEL MEDITERRÁNEO



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Energía total producida por todos los motores (kW/h)				
---	--	--	--	--

ALTERNADORES				
	Potencia nominal (kW)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal producida (%)	Energía consumida (kW/h) ⁽²⁾
Alternador 1				
Alternador 2				
Alternador de cola 1				
Alternador de cola 2				
PTI*				
WARD LEONARD				
Otros				
Energía total producida por los alternadores (kW/h)				

(1) Horas de operación para esa condición de navegación

(2) Se obtendrá como resultado de multiplicar las horas de navegación (1) por los datos de las columnas precedentes

* Téngase en cuenta que la PTI transforma la energía eléctrica consumida en energía mecánica para la propulsión

EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA (1)

SISTEMA DE FRÍO						
		Unidades operando	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Sistema de refrigeración de bodega	Compresores					
	Bomba					
Sistema de refrigeración de gambuzas	Compresores					
	Bomba					
Sistema de Refrigeración túnel congelac.	Compresores					
	Bomba					
Sistema de generador de hielo	Compresores					
	Bomba					
Otros	Compresores					
	Bomba					
Energía total consumida frío (kW-h)						

AGUA SANITARIA					
	Unidades operando	Potencia nominal (kW/Ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Grupo hidróforo agua dulce sanitaria					
Grupo hidróforo agua salada sanitaria					
Calentador de agua					
Generador de agua dulce					
Otros					
Energía total consumida agua sanitaria (kW-h)					





COCINA					
	Tipo (elect, gas, etc.)	Potencia nominal (kW)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Placas					
Microondas					
Horno					
Otros					
Energía total consumida cocina (kW-h)					

CENTRALES HIDRÁULICAS					
	Equipos accionados por la central (indicar cuáles)	Potencia nominal (kW)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Central 1					
Central 2					
Otros					
Energía total consumida centrales hidráulicas(kW-h)					

EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA (2)

EQUIPOS DE ARTE DE PESCA							
	Tipo (eléctrica, hidráulica, etc.)	Indicar accionamiento (motor principal, aux,...)	Unidades operando	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Haladores							
Maquinillas de arrastre							
Tambores							
Pastecas							
Power block							
Otros							
Energía total consumida equipo de arte de pesca (kW-h)							

EQUIPOS DE CARGA-DESCARGA						
	Tipo equipo (eléctrico, hidráulico, etc.)	Unidades operando	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Grúas						
Maquinillas						
Cabirones						
Otros						
Energía total consumida equipos de carga-descarga (kW-h)						

EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN						
	Tipo	Unidades operando	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Pot. nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Aire acondicionado	Compresor					
Tambores	Radiadores					

AUDITORÍA ENERGÉTICA DE ARRASTREROS DEL MEDITERRÁNEO



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS NAVALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



Pastecas	Resistencias				
Power block	Otros				
Otros					
Energía total consumida equipos de aire acondicionado y calefacción (kW-h)					

EQUIPOS DE ILUMINACIÓN EXTERIOR						
	Unidades operando	Tipo de luminaria	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
Energía total consumida equipos de iluminación exterior (kW-h)						

EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA (3)

EQUIPOS DE ILUMINACIÓN INTERIOR						
	Unidades operando	Tipo de luminaria	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Luminaria tipo 1						
Luminaria tipo 2						
Luminaria tipo 3						
Otros						
Energía total consumida equipos de iluminación interior (kW-h)						

VENTILADORES					
	Unidades operando	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Cámara de máquinas					
Parque de pesca					
Túnel de congelación					
Otros					
Energía total consumida por los ventiladores (kW-h)					

BOMBAS					
	Unidades operando	Potencia nominal (kW/ud)	Tiempo en operación (%)	Potencia nominal consumida (%)	Energía consumida (kW-h)
Achique					
Contra-incendios					
Baldeo					
Servicios generales					
Otros					
Energía total consumida por el equipo de puente (kW-h)					





CEPESCA POR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



cepesca

Confederación Española de Pesca

Asociaciones Colaboradoras:
Asopesca, OP Marina Alta, Asociación Local de Empresarios
de Pesca Litoral de Castellón de la Plana



GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



UNION EUROPEA
Fondo Europeo
de Pesca (FEP)





CEPESCA POR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

