

Mejoras Energéticas para Barcos de Pesca: Proyecto Peixe Verde Actividad del Grupo Integrado de Ingeniería

Marcos Míguez González ¹⁾ Vicente Díaz Casás ¹⁾ Fernando López Peña ¹⁾ Richard J. Duro ¹⁾

*1) Grupo Integrado de Ingeniería, Universidade da Coruña
mmiguez@udc.es , vdiaz@udc.es , flop@udc.es , richard@udc.es*

Introducción

En los últimos años, el precio del petróleo y en consecuencia de los combustibles utilizados a bordo de los buques, ha experimentado un enorme crecimiento [1]; el caso de la flota pesquera, y en particular la flota del Puerto de Celeiro, no es una excepción. Debido a este crecimiento en una de las partidas más importantes del coste de explotación de los buques, la rentabilidad de la pesca ha disminuido. Si a esto añadimos que el precio de mercado de las capturas no ha experimentado un crecimiento asociado, la flota de Celeiro, al igual que el resto de flotas pesqueras, se enfrenta a un serio problema de viabilidad económica.

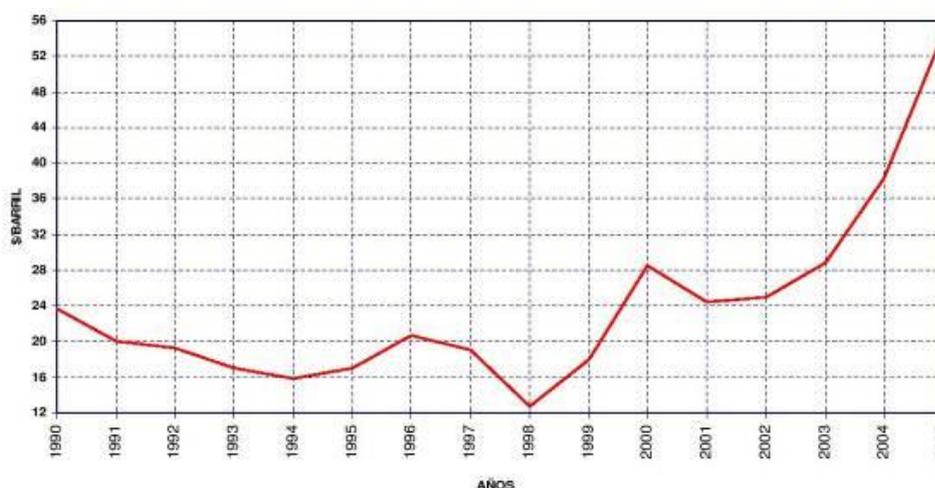


Fig.01 Evolución medias anuales del crudo Brent

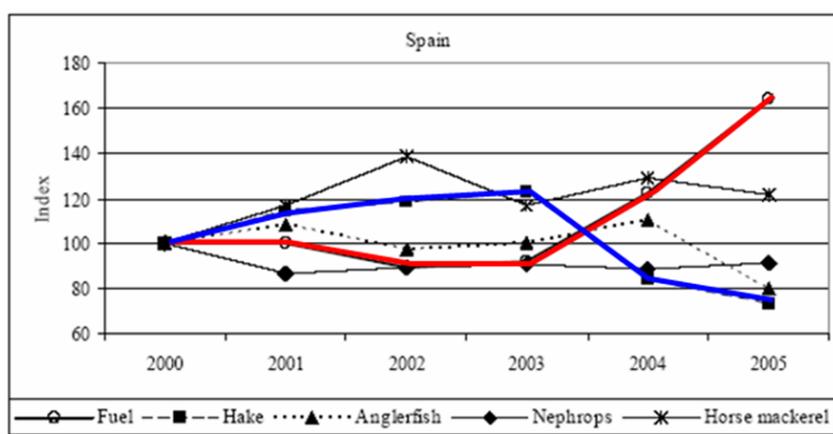


Fig.02 Evolución de los precios de capturas de pescado frente al combustible (2000-2005)

Para obtener soluciones a este problema, surge el proyecto Peixe Verde. Impulsado desde el Puerto de Celeiro, integrado por un Consorcio de Entidades públicas y privadas y financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (como Proyecto Singular Estratégico) y la Xunta de Galicia, este proyecto pretende disminuir los costes de explotación de los buques pesqueros de cara a devolver la rentabilidad a esta actividad, actuando sobre todos los sistemas y equipos del buque, a la par que se obtienen mejoras medioambientales.

El proyecto Peixe Verde se divide en diez subproyectos, cada uno de ellos coordinado desde una entidad y orientados a la obtención de alternativas a corto, medio y largo plazo, en disciplinas que abarcan desde el diseño de motores hasta la optimización de la navegación.

La distribución de los subproyectos y su objetivo dentro del Peixe Verde es la siguiente:

1. Toma de Datos

Este subproyecto tiene como objetivo desarrollar una herramienta que permita obtener datos reales de consumo energético a bordo de las distintas embarcaciones de la flota, mediante la sensorización y monitorización de todos los parámetros que se estime necesario.

2. Navegación y Pesca

El objetivo de este subproyecto es obtener, mediante la introducción de variaciones en la forma de pescar, almacenar, procesar y transportar la pesca, así como en las artes empleadas, un menor consumo de combustible.

3. Modificaciones en los Barcos

El principal objetivo del subproyecto Modificaciones en los Barcos, es establecer una serie de actuaciones a corto plazo que permitan reducir los costes de combustible y las emisiones contaminantes en la flota actual.

4. Generación de Energía Mecánica y Eléctrica

El objetivo de este subproyecto es reducir el consumo de gasoil elevando la eficiencia de los motores, tanto propulsores como generadores y dispositivos asociados, y además realizar el diseño y construcción de motores específicos para nuevos combustibles.

5. Ahorro y Eficiencia Energética

En este subproyecto se pretende reducir el consumo energético de los barcos de pesca, realizando tanto análisis generales como consideraciones específicas por barco tipo, teniendo como parte fundamental el aprovechamiento de la energía térmica residual de los motores del buque (e incluyendo mejoras en el sistema de frío, iluminación, generación de agua dulce, actuadores, etc.).

6. Gestión Energética y Sistemas de Control

El objetivo del presente subproyecto, es el estudio de viabilidad, desarrollo e implementación de un Sistema de Gestión y Control de Energía que permitirá gestionar y controlar de forma centralizada y en tiempo real los distintos aspectos que intervienen en el ciclo energético de las embarcaciones pesqueras.

7. Combustibles Alternativos y Energías de Apoyo.

En este subproyecto se propone analizar y evaluar las posibles combinaciones y usos de combustibles alternativos al gasoil para propulsión en barcos de pesca.

8. Laboratorio Flotante Santiago Apóstolo

El objetivo principal de este subproyecto es valorar las tecnologías que se estudian en el resto de subproyectos, mediante su instalación y prueba en un buque real.

9. Coordinación y Acciones complementarias

Subproyecto necesario para la coordinación técnica y económica de un proyecto con un número tan elevado de participantes.

10. Aplicaciones Piloto

Desde este subproyecto se pretende la puesta en marcha de manera eficaz en la flota operativa de los avances estudiados para disminuir el coste energético de los buques.

La Actividad del Grupo Integrado de Ingeniería

El Grupo Integrado de Ingeniería (GII) de la Universidad de A Coruña realiza la coordinación del subproyecto “Modificaciones en los Barcos” y es colaborador dentro de los subproyectos “Combustibles Alternativos” y “Laboratorio Flotante Santiago Apóstolo”.

Modificaciones en los Barcos

El principal objetivo del subproyecto Modificaciones en los Barcos, es establecer una serie de actuaciones a corto plazo que permitan reducir los costes de combustible y las emisiones contaminantes en la flota actual. Así mismo, es desde este subproyecto desde donde deben definirse exactamente las limitaciones que un barco pesquero establece a la hora de cualquier modificación: legales, de seguridad, estructurales, etc.

Para ello debe definirse claramente la tipología de barcos objeto del proyecto, sus características de diseño, condiciones de operatividad, y otros aspectos que resulten determinantes en las modificaciones planteadas.

Así, durante el 2006 se han realizado estudios preliminares acerca de las mejoras obtenidas utilizando hélices de paso controlable en lugar de paso fijo y de las ventajas de la utilización de gases como combustible en los buques tipo de la flota de Celeiro, realizando un borrador de normativa para el uso de los mismos a bordo de pesqueros. Se ha analizado la flota objeto de estudio y también la normativa medioambiental a que está sometida.

El trabajo futuro en este subproyecto consistirá, a corto plazo, en el estudio de los datos reales obtenidos de la monitorización de buques tipo de la flota, de cara a obtener conclusiones acerca de la viabilidad de las alternativas estudiadas y a la evaluación de ciertos casos particulares que parecen ser contradictorios con los datos teóricos disponibles. En función de los datos procedentes del Santiago Apóstolo (buque laboratorio), se realizarán los estudios de detalle para el uso de combustibles gaseosos en el resto de buques de la flota.

A lo largo de todo el proyecto, se realizará además la definición del diseño eficiente de buques pesqueros de este tipo, incluyendo la optimización de capacidades y espacios, velocidad y propulsión, dimensionado y formas.

Trabajos realizados durante el 2006

Análisis de la Flota

En esta anualidad se ha realizado el estudio de la flota del Puerto de Celeiro con la finalidad de poder establecer las distintas categorías de buques sobre los que se centran los distintos estudios y así poder establecer las diferentes actuaciones que se puedan tomar.

El puerto de Celeiro es en la actualidad el más importante de la costa de Lugo (A Mariña), y uno de los más importantes de España, si atendemos a los datos de flota y volumen de facturación. Se caracteriza principalmente por su flota de Gran Sol, que tiene como especie “estrella” la merluza de pincho [2].

La flota pesquera del Puerto de Celeiro está dividida en:

Artesanal (hasta 12 metros de eslora)	19 unidades
Litoral	15 unidades de arrastre 6 unidades de cerco 2 unidades de volanta 9 unidades de bajura
Altura	11 arrastreros de Gran Sol 19 palangreros de Gran Sol 7 espaderos de altura

Teniendo en cuenta el objetivo del proyecto Peixe Verde, y observando la heterogeneidad de la flota, parece evidente que las conclusiones y recomendaciones que puedan ofrecerse deben ser particularizadas para cada uno de los casos, aunque será posible extender alguna de ellas al ámbito general.

De un primer análisis general, se ha obtenido un dato muy importante. Pese a las ventajas contrastadas de la hélice de paso controlable en buques arrastreros, la mayor parte de la flota de arrastre de litoral utiliza hélices de paso fijo.

Análisis de la Reglamentación Ambiental

Dado que uno de los objetivos del Proyecto Peixe Verde es la reducción de las emisiones de la flota pesquera, parece obligado realizar un análisis de la reglamentación al respecto y que es de aplicación a los mismos en la actualidad.

Las emisiones atmosféricas de los buques, pueden dividirse en contaminantes atmosféricos, gases de efecto invernadero y sustancias que agotan la capa de ozono. Entre ellas, las más representativas son las de dióxido de azufre (SO₂, que provocan deposiciones ácidas), las de óxidos nitrosos (NO_x, que producen también deposiciones ácidas, ozono superficial y eutrofización del medio), los compuestos orgánicos volátiles (COV, que producen ozono superficial), las de dióxido de carbono (CO₂, que contribuyen al cambio climático) y las de los halones (que afectan a la capa de ozono).

A nivel europeo, los buques se han visto hasta el momento exonerados de estas regulaciones. Debido a esto, las emisiones de una serie de contaminantes procedentes de los buques, entre los que se encuentran los NO_x y SO₂, son altas en comparación con las fuentes terrestres.

Debido a este vacío en el campo marítimo, en Noviembre de 2002, la Comisión Europea presentó la comunicación COM (2002) 595, “Estrategia de la Unión Europea para reducir las emisiones atmosféricas de los buques de navegación marítima” [3], en la que se establecen unas directrices para la implantación de limitaciones a las emisiones atmosféricas de los buques; parte de estas medidas, se encuentran hoy en día en proceso de aplicación.

A nivel internacional, el Convenio Marpol es el reglamento de referencia en lo que se refiere a contaminación proveniente de los buques. Su Anexo VI se refiere a la contaminación atmosférica procedente de los buques, y es de aplicación desde Mayo de 2005.

Sin embargo, ciertos aspectos no son excesivamente restrictivos, y se encuentran en revisión para adaptarlos a las capacidades tecnológicas actuales; esta revisión se solicitaba también en la comunicación de la Comisión Europea vista anteriormente; dependiendo de los resultados de estas modificaciones, así será la posible normativa futura de la Unión Europea en el campo de las emisiones atmosféricas procedentes de los buques.

Además de la normativa aplicable en la Unión Europea (incluyendo tanto la propia reglamentación de la UE como la de la OMI (ratificada por la UE)), los Estados Unidos a través de su Agencia para la Protección Ambiental (EPA), dispone de reglamentación específica acerca de las emisiones procedentes de motores marinos (EPA 40 CFR Part 94). Esta normativa no es de aplicación a motores de buques de bandera diferente a la de los Estados Unidos. Sin embargo, y por tratarse de una normativa más exigente que la europea o la de la OMI, puede representar la tendencia futura de estas últimas.

En la tabla siguiente se recogen los requerimientos medioambientales que son de aplicación hoy en día en el campo marítimo [4, 5, 6, 7, 8]:

COMPARATIVA REGLAMENTACIÓN EMISIONES						
		Normativa Europea		Anexo VI Marpol (2005)	EPA Etapa 1 (hasta 2004)	EPA Etapa 2 (2004 -2009)
Emisiones NO _x (g/KWh)		-		9.8 < NO _x < 17.0	9.8 < NO _x < 17.0	7.5 < NO _x < 11.0
Emisiones CO (g/KWh)		-		-	-	5.0
Emisiones Partículas (g/KWh)		-		-	-	0.20 < Part. < 0.50
Emisiones SO _x (g/KWh)		-		6.0 en SECAS	-	-
% Masa Azufre en Combustible	Aguas Marpol (Todos Comb.)	-	-	4.5	-	-
	Territorio UE (MDO)	0.1	2010	-		
	SECAS (Todos Comb.)	1.5	2006/2007	1.5		
	Línea Reg. Entre Puertos UE (Todos Comb.)	1.5	2006	-		
	Aguas Int. / Puertos UE (Todos Comb.)	0.1	2010	-		
Emisiones Sustancias Agotan Capa Ozono (Halcones)		Permitidos Usos Críticos Halones		Halcones/CFC Prohibidos	-	-

Análisis de Alternativas. Hélices de Paso Fijo / Controlable

Dado que se ha observado que un importante grupo de buques está utilizando hélices de paso fijo, se estudiará la viabilidad de su sustitución por hélices de pala controlable, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los mismos [9].

Para analizar la viabilidad económica de la conversión de buques existentes con hélices de paso fijo a hélices de paso controlable, es necesario estudiar las ventajas e inconvenientes de cada uno de los dos sistemas.

Para ello se abordarán tres aspectos fundamentales: régimen de trabajo de los buques, eficiencia de los motores y eficiencia de las hélices.

La principal ventaja que puede observarse en el caso de las hélices de paso controlable, es la capacidad de adaptarse a distintos regímenes de funcionamiento. En la siguiente gráfica se comparan los modos de operación de dos hélices de paso fijo, una de ellas diseñada para el arrastre y otra para la navegación en aguas libres y una de paso controlable, operando a la misma potencia, junto con la curva de resistencia al avance del buque en aguas libres. Por ejemplo, puede verse como en el caso de una hélice diseñada para operar en el arrastre, esta tiene un buen rendimiento en las pruebas de tiro y sin embargo, para poder navegar por encima de los 11 nudos, es necesario aumentar la potencia entregada a la hélice y con ello, el consumo. Sin embargo, si se diseña la hélice de paso controlable para cumplir las exigencias de empuje en arrastre y en navegación libre, puede aparecer una región, en este caso a velocidades entre 6 y 8 nudos, en la que la hélice de paso fijo genera un mayor empuje que la de paso controlable (Ver Figura 3).

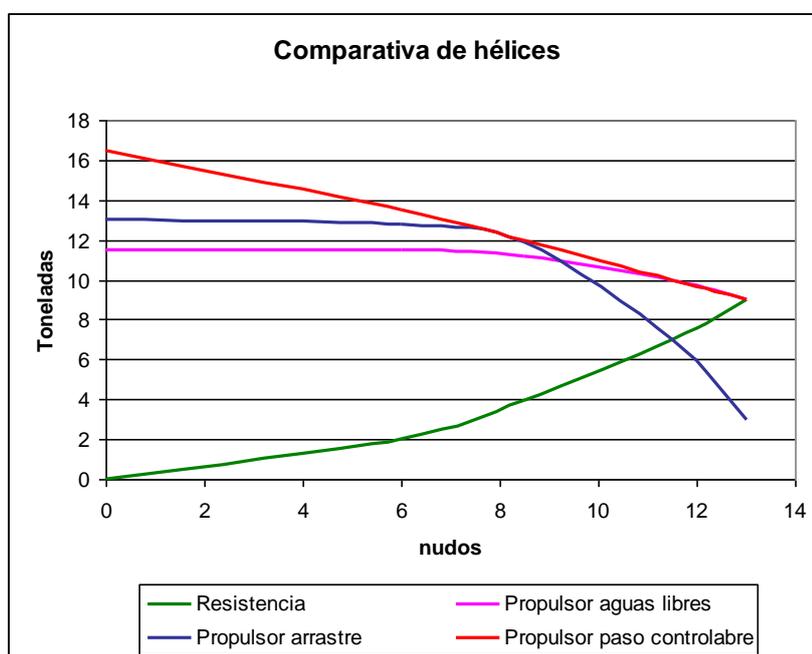


Fig.03 Comparativa Hélices de Paso Fijo / Controlable

Con los datos anteriores y considerando una hélice de paso controlable con las mismas prestaciones en los puntos de operación que las hélices de paso fijo vistas, se han realizado cálculos de energía consumida en cada caso respecto a la total que podría producir el motor principal durante una marea completa operando al 100 %, tanto en el caso de arrastreros como de palangreros, obteniéndose

ahorros cercanos al 20 % en el caso de los arrastreros (considerando un motor común y la reducción en la potencia de régimen en el caso de la hélice de paso controlable).

A partir de esta evaluación preliminar de carácter general, se encuentra en realización un estudio comparativo partiendo de datos reales, y que nos permitirá obtener conclusiones y soluciones aplicables a casos reales.

Análisis de Alternativas. Combustibles Alternativos

Otra de las soluciones en desarrollo, es la aplicación como combustible de los buques pesqueros de hidrocarburos gaseosos, tanto gas natural como butano y propano [1]. Estos, poseen unas características energéticas similares a las del gasoil utilizado hasta ahora en la propulsión de buques pesqueros pequeños y medianos, son combustibles más limpios (reducciones de hasta el 85 % de emisiones de NO_x y de hasta el 20 % de CO₂) y son más económicos.

Sin embargo, su transporte y almacenaje a bordo de los buques no es tan sencillo como el del gasoil. Por su carácter gaseoso en condiciones atmosféricas, su almacenamiento debe realizarse a presión o a bajas temperaturas en depósitos especiales y hasta el momento su aplicación en buques no es habitual.

El gas natural es una de las opciones valoradas. Está compuesto principalmente de metano y presenta dos opciones de transporte; bien licuado en tanques criogénicos a unos -160 °C (LNG), a una presión de hasta 15 atm (reduciendo su volumen hasta una relación de 1/600) o bien comprimido (CNG), en tanques a una presión de hasta 240 atm. Sin embargo, el volumen de tanques necesario para almacenar una cantidad similar de gas CNG es mucho mayor que LNG con tanques hasta 4 veces más pesados, por lo que la primera opción parece menos viable en buques que la segunda. De hecho, en la actualidad existen ya varios buques en operación con LNG, que han demostrado reducciones en el coste del combustible, mantenimiento y emisiones [10, 11, 12, 13].

La otra opción es el gas GLP (gas licuado de petróleo). Este es principalmente una mezcla de butano y propano, almacenado en estado líquido en botellas a presión a unas 15 atm. El GLP se usa en la actualidad habitualmente como combustible en transportes públicos (taxis), automóviles particulares o instalaciones domésticas.

La utilización de combustibles alternativos se encuentra entre las principales alternativas que se plantean para la mejora de la eficiencia energética de la flota del puerto de Celeiro, disminuyendo, por un lado, los costes de explotación de los pesqueros y, por otro, las emisiones contaminantes a la atmósfera. En esta primera fase del estudio se abordarán los aspectos fundamentales a considerar en este análisis y la importancia de cada uno de ellos. Una de las principales dificultades que plantea la realización de un estudio de viabilidad económica para embarcaciones cuya vida útil se sitúa entre veinte y treinta años y con una edad media de cinco años, es la dificultad de realizar previsiones a largo plazo. Las dos alternativas que se abordan son la utilización de un sistema dual-fuel de diesel-oil y gas (GLP o GNL) o un sistema que emplee únicamente gas.

Una vez analizados los datos suministrados por los fabricantes de motores de gas socios del proyecto, se ha observado que los rendimientos de los mismos son ligeramente inferiores a los obtenidos por los motores de gas-oil (alrededor de un 3% inferiores). Sin embargo, la diferencia en el coste del combustible (alrededor de un 20 % inferior en el caso de los gases frente al gas oil), sitúa a los combustibles gaseosos como una alternativa a considerar de manera preferencial.

A la hora de diseñar la instalación de gas combustible, nos hemos encontrado con el problema de no disponer, actualmente, de una normativa estatal o europea en vigor que regule este tipo de instalaciones en buques (sí existe para transporte por carretera e instalaciones terrestres). Sin embargo, a nivel europeo, se encuentra en desarrollo por el Comité Técnico CEN/TC 286 de la Unión, una normativa con vistas a la regulación de la propulsión mediante GLP en buques pequeños (CEN/TC 286 WG 6/SG 8), y que a fecha de hoy ya ha concluido su fase de alegaciones técnicas.

Así pues, hemos decidido elaborar una normativa basándonos en este proyecto de norma, de manera provisional y a falta de un reglamento definitivo, para realizar las instalaciones pertinentes en los buques que se doten con propulsión mediante gas, apoyándonos además en las correspondientes normativas para las instalaciones en tierra, tanto para instalaciones de GLP como de GLN. La normativa de referencia utilizada se relaciona a continuación:

- CEN/TC 286 WG 6/SG 8. Sistemas de propulsión mediante GLP para buques.
- Directiva del Parlamento Europeo 97/23/CE. Equipos a Presión.
- Real Decreto 1244/1979. Reglamento de Equipos a Presión.
- OMI. Código para la Construcción y el Equipo de Buques que Transporten Gases Licuados a Granel (A.328 (IX)).
- Instrucción Técnica Complementaria ITC MIE AP15. Instalaciones de Almacenamiento de GNL en depósitos criogénicos a presión (plantas satélites).
- Real Decreto 919/2006. Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos.
- UNE 60210. Plantas Satélite de Gas Natural Licuado (GNL).
- UNE-EN 1160. Instalaciones y Equipos para Gas Natural Licuado (GNL). Características generales del Gas Natural Licuado (GNL).

Trabajo Futuro

Análisis de los Buques Existentes (Casos Particulares)

En una flota con un número tan elevado de unidades como es la del Puerto de Celeiro, con un total de unos 70 buques entre pesqueros de litoral y de altura, el estudio individualizado de medidas para cada uno de ellos sería una tarea muy costosa y poco viable. Sin embargo, la agrupación de los mismos en tipos de buques similares, permite reducir el campo de estudio y facilitar la aplicación de las medidas estudiadas en este y otros subproyectos.

En la flota de Celeiro y dentro de cada uno de los cuatro tipos principales de buques en que se ha dividido la misma, existen buques muy semejantes entre sí, incluso series de hasta 4 y 5 buques, que pueden ser estudiados de manera común.

De este modo, dentro de la división principal de la flota ya establecida, se realizará la agrupación de la misma en series de buques similares. Esta medida permitirá la obtención de un número reducido de casos particulares en los que se puede realizar con un grado de detalle muy elevado el proyecto para la implantación de las medidas de mejora de eficiencia planteadas.

Además, en este subproyecto se encuentran en estudio alternativas de mejora de eficiencia que muchas veces ya se encuentran en aplicación en algunos barcos (como por ejemplo el uso de la hélice de paso controlable, propulsión diesel (o gas)- eléctrica) y otras, como la optimización de las

formas, que se han aplicado en la fase de proyecto de determinados buques ya existentes dentro de la flota.

Este hecho, unido al ya visto en el apartado anterior en el que se propone la subdivisión de la flota en grupos de barcos muy similares entre sí, proporciona la posibilidad de la obtención de datos reales de rendimiento de buques muy similares entre sí y que presentan configuraciones con la alternativa a estudiar o sin ella, pudiendo realizar comparaciones objetivas entre ambos casos, cuantificando las mejoras obtenidas con las modificaciones que se estudian.

En todo caso, la posibilidad de comparar alternativas en buques reales es uno de los mejores métodos para obtener valores objetivos de los ahorros derivados de las distintas configuraciones.

A partir de los resultados de los trabajos ya realizados se han establecido como primera fase dos campos de estudio principales:

- Estudio comparativo de la hélice de paso fijo – paso controlable en Arrastreros de Litoral que trabajan a la pareja. La gran disparidad entre los primeros resultados de los estudios teóricos y de los datos de buques reales ha hecho necesario separar las causas de esta diferencia significativa entre estos resultados.
- Estudio del coste energético de palangreros en función del año de construcción. Los primeros datos tomados indican que los buques nuevos tienen mayores consumos que los más antiguos, por lo que será necesario evaluar a qué se deben estos cambios.
- Análisis del tren de propulsión. En colaboración con el subproyecto “Toma de Datos”, “Generación de energía” y “Coordinación”, se realizará el análisis de la influencia en el rendimiento energético del tren de propulsión. En este subproyecto se abordarán las componentes debidas a la resistencia hidrodinámica del buque, analizando la influencia de apéndices y forma del casco, el rendimiento de la hélice y del motor propulsor.

Aplicación a la Flota de GLP/GNL como Combustible

La flota pesquera del puerto de Celeiro, al igual que el resto de la flota española, ha sido diseñada para la utilización de gasoil. Esto implica que la introducción del uso de gas GNL o GLP supone un importante cambio respecto a los combustibles habituales. Ambos son gases a temperatura ambiente, incoloros, el GNL menos denso que el aire y el GLP más denso que el aire, haciendo que puedan acumularse en zonas del barco sin que pueda ser detectadas por la tripulación, exigiendo sistemas de detección adicionales. Además, su almacenamiento y trasiego se realiza a alta presión y, en el caso del gas natural licuado, requiere instalaciones criogénicas, lo que hace que los tanques estructurales utilizados convencionalmente en el caso del gasoil no sean válidos para el gas. Por ello se ha visto necesario desarrollar una estrategia de instalación que permita su introducción en buques ya construidos, abordando los aspectos de almacenamiento, trasiego y seguridad.

Como se ha indicado en el apartado anterior, no es posible utilizar los tanques estructurales de gasoil existentes para almacenar el gas. Los trabajos para determinar qué cantidad de gas se requiere y los posibles emplazamientos para cada tipo de buque ya se han iniciado. Para ello, se están realizando los siguientes análisis:

- Estudio del consumo de combustible por marea.
- Estudio del volumen disponible a bordo.
- Tanques y compartimiento de almacenamiento de gas.

- Aprovechamiento y conducción del gas.

Además del uso de los gases ya vistos y su introducción en buques de pesca y a partir de los resultados del subproyecto “Nuevos combustibles”, se analizarán las implicaciones que supone el uso de otros combustibles alternativos como el hidrógeno o el Ecogas. La necesidad de esta actividad está dada por el menor desarrollo de la tecnología relacionada con estos combustibles, lo cual requiere establecer unas directrices generales y unos estudios previos que permitan establecer los requerimientos tecnológicos mínimos y las dificultades principales a solventar para conseguir su instalación a bordo, aunque esta se plantee a más largo plazo que la de los gases.

Definición del Diseño del Pesquero Eficiente

El análisis de los datos obtenidos de la flota durante la primera anualidad ha puesto de manifiesto la inexistencia de criterios objetivos y fundamentados técnicamente para la selección entre las diversas alternativas en el diseño y definición del buque de pesca, de tal modo que ni el armador ni el proyectista naval disponen de herramientas para poder construir un buque que cumpla los requerimientos del armador y tenga unos costes de operación menores.

En esta actividad se aborda la mejora de la rentabilidad económica del buque afrontando el problema desde dos aspectos fundamentales; por un lado, actuando en la eficiencia energética del buque y reduciendo con ello los costes de explotación y, por otro, definiendo buques tipo para las diferentes artes de pesca y zonas de operación, posibilitando series de buques que reduzcan los costes de adquisición y, con ello, los de amortización.

Para abordar esta actividad se han diferenciado tres líneas de trabajo principales. Una primera línea que aborde el dimensionamiento del buque atendiendo a requerimientos reales de capacidad de bodegas, frigorífica, potencia, etc. y ajusten el tamaño del pesquero, motores y sistemas, a los requerimientos reales del mismo. Por otro lado, se analizarán las modificaciones que requieren aquellas alternativas viables desarrolladas en el proyecto y así los nuevos requerimientos de espacios necesarios. Finalmente se abordará el comportamiento hidrodinámico del buque, puesto que es este elemento el que condiciona el principal gasto energético del buque y sobre el que muy difícilmente puede actuarse una vez construido el buque.

- **Dimensionado Eficiente**

Para conseguir un buque pesquero eficiente desde el punto de vista energético, es necesario incorporar como criterio de decisión los costes futuros de explotación, especialmente si tenemos en cuenta que la vida útil de un pesquero se sitúa en 25 años, y no exclusivamente los de construcción.

Un proceso de optimización requiere una importante fase previa de análisis que permita establecer criterios de decisión en el algoritmo de optimización. Estos análisis se concretan en el desarrollo de las siguientes herramientas:

- **Análisis volúmenes y compartimentado.** Para cada tipo de buque se determinarán los espacios mínimos (bodegas, tanques, habilitación, etc.) requeridos para desempeñar la faena de pesca y su transporte, y que servirán de restricción al algoritmo de optimización.
- **Potencia entregada a la hélice.** Combinando programas de predicción de resistencia al avance y de rendimiento del motor, y el estudio de los costes de oportunidad que supone modificar la velocidad, se desarrollará una herramienta de decisión que

permita determinar la velocidad óptima del buque y por lo tanto potencia necesaria del motor propulsor.

- **Lastre y estabilidad.** La estabilidad de un buque depende de dos componentes. Por un lado la componente de las formas, relativa a la inercia de la flotación y, por tanto, a la manga del buque y por otro la distribución de pesos. Esto hace que para mejorar la estabilidad se pueda optar por aumentar la manga o por la introducción de lastre. Dado que ambas alternativas producen aumentos de resistencia y por tanto de consumo, se desarrollará una herramienta que permita evaluar la calidad de las alternativas que se planteen y minimice este parámetro.
- **Optimización del dimensionamiento.** Utilizando las herramientas anteriores, que combinan datos estadísticos, simulación numérica y métodos de cálculo, y con las restricciones necesarias, se elaborará una función de calidad que permita evaluar cada una de las opciones disponibles, que serán optimizadas mediante un algoritmo multiobjetivo basado en algoritmos genéticos. Se ha optado por esta estrategia de búsqueda debido a la elevada dimensionalidad del problema que se aborda, y a que además, no se posee una función explícita de las relaciones entre todas las variables.

- **Integración de Resultados**

En el proyecto Peixe Verde se estudian diversas alternativas para su aplicación a bordo con el objetivo de mejorar la eficiencia energética. Por ello, para aquellas alternativas que hayan resultado más favorables, se estudiará la viabilidad técnica de su integración en el buque pero realizando esta incorporación desde la fase de diseño. Para evaluar la viabilidad técnica de la instalación a bordo, atendiendo a las características de cada tipo de buque, se evaluará el empacho de los sistemas, necesidad de nuevos compartimientos o modificación de los existentes, los sistemas auxiliares que se requieren, desarrollo técnico de la marinización de los equipos y la normativa que sea de aplicación.

Aquellas alternativas que hayan resultado viables, se introducirán en el módulo de optimización del dimensionamiento, de forma que se contemplen los nuevos equipos y los cambios y mejoras energéticas, y por tanto económicas, que llevan asociados. Así obtendremos un nuevo dimensionamiento para cada tipo de buque incorporando en el mismo estos nuevos elementos.

- **Optimización Hidrodinámica de Formas**

A partir de las dimensiones del buque se inicia el proceso de definición de las formas. Una correcta definición de las formas del buque es fundamental para el desarrollo de un pesquero eficiente, ya que es el desplazamiento del buque el principal centro de consumo. Por tanto, adaptar las formas del casco para reducir la resistencia al avance es un elemento crítico en el diseño del mismo, especialmente teniendo en cuenta que una vez construido el buque, el elevado coste que supone, hace que no sea posible su modificación.

Dentro de esta estrategia de optimización hidrodinámica del buque se abordarán tanto las formas del casco, como los apéndices, planteando un sistema automático de diseño basado en un simulador hidrodinámico CFD.

El desarrollo de este sistema de optimización de las formas de la carena puede estructurarse en las siguientes actividades:

- Modelado de la carena. Será necesario modelar los cascos objetivos, a partir del dimensionamiento obtenido en la actividad de “Dimensionamiento energéticamente eficiente”, mediante una definición paramétrica lo más sencilla posible de los mismos.
- Simulador hidrodinámico. El núcleo de este entorno de optimización es un simulador hidrodinámico que permita determinar la calidad de cada una de las carenas analizadas, cuyo desarrollo incluye un modelo matemático adecuado al problema, la resolución del modelo numérico que se plantea y un sistema de validación de los resultados obtenidos.
- Módulo de optimización. Para poder realizar un proceso de optimización se requiere de una estrategia de búsqueda adecuada para el dominio analizado. En este caso se plantea el uso de técnicas evolutivas, planteadas desde un punto de vista distribuido, con un elevado número de nodos operando en paralelo.

Combustibles Alternativos

El subproyecto Combustibles Alternativos, estudia la viabilidad de la utilización de combustibles alternativos al gasoil en los buques de la flota. Entre ellos, gases (GNL/GLP), hidrógeno, gas de síntesis, energía solar y energía eólica.

La colaboración del GII incluye el análisis de viabilidad de la propulsión eólica, considerando diferentes dispositivos para aprovechar la energía del viento.

Una de las posibles soluciones en desarrollo, es la utilización de velas de lona tradicionales como sistema de propulsión auxiliar, combinadas con la propulsión diesel convencional. Este tipo de propulsión se utilizaría en los buques objeto de estudio, en los trayectos de ida y vuelta al caladero, ya que en el período de estancia en él, la frecuencia de maniobras hace poco práctica la utilización de velas; esto sería así excepto en el caso de arrastreros, en que el máximo consumo se produce durante la maniobra de arrastre, en que se mantiene el rumbo, y en la que también podría ser viable el uso de las velas.

Este tipo de disposiciones, aplicadas al caso de pesqueros de tamaño mediano, presenta una serie de inconvenientes, entre los que se encuentran:

- Espacio limitado para la instalación de la jarcia fija y móvil y las velas.
- Deterioro rápido de las velas.
- Entorpecimiento en las labores de carga/descarga y trabajo en cubierta.
- Resistencia de la jarcia en caso de vientos desfavorables. Aumenta el consumo.
- Elevados pares escorantes, no admisibles en buques con una estabilidad ya de por sí reducida.

Por estas razones, parece poco viable la utilización de velas convencionales en buques ya construidos de este tipo, aunque bajo condiciones concretas se pueden obtener ahorros de combustible [14, 15, 16].

De todos modos se ha realizado un estudio teórico aproximado para cuantificar la viabilidad de estos sistemas considerando una ruta tipo del buque entre Galicia y el caladero del Gran Sol. Para la evaluación de la intensidad y velocidad media del viento, se han obtenido los datos históricos entre 1997 y 2005 en la zona [17].

Los datos obtenidos presentan empujes máximos de la vela de un 6% del empuje generado por el motor propulsor, pero asociados a fuerzas transversales aplicadas a gran altura sobre cubierta inadmisibles por cuestiones de estabilidad.

Así pues, parece que las únicas condiciones viables serían las de vientos portantes (reducidas fuerzas transversales) siempre y cuando se cumpliera con los requisitos de estabilidad. Este limitado rango de aplicación, unido a las contrapartidas expuestas al inicio del capítulo, hacen poco viable la utilización de las velas tradicionales en buques pesqueros de tamaño medio.

Este mismo resultado es extrapolable al caso de las velas rígidas, rotores Flettner y turbovelas, todos ellos sistemas que, aunque ofrecen rendimientos superiores a las velas convencionales, presentan casi todos sus mismos inconvenientes, un mayor coste y el problema de ser sistemas experimentales sin casi aplicación práctica [16].

La otra alternativa que se presenta para su estudio es el uso de cometas [18, 19, 20]. La utilización de las mismas como ayuda a la propulsión de buques es un sistema muy reciente y del que ninguna de las dos empresas que lo están desarrollando ha iniciado la comercialización. Sin embargo, su utilización a bordo de barcos experimentales ya se ha realizado y al parecer, con bastante éxito.

El sistema consiste en una gran cometa, que es la encargada de impulsar al buque, junto con una estructura de recogida y largada, un carretel de sujeción y un sistema de control, distribuido entre la propia cometa y el puente. La estructura de recogida y largado consiste en una pluma telescópica situada en proa del buque, que se extiende para desplegar la cometa y desde la que se extiende un cabo hasta el borde de ataque de la cometa para facilitar su recogida.

Es un sistema totalmente automático que presenta como principales ventajas el poco espacio necesario para su instalación, un montaje sencillo, la reducción en los pares escorantes generados y una mayor intensidad y homogeneidad del viento utilizado.

Sin embargo, las cometas podrían presentar problemas de juventud, problemas con su sistema de control y de presentar un reducido campo de aplicación dependiendo de la dirección del viento.

Dado que pese a estos inconvenientes, este sistema que puede proporcionar ahorros considerables de combustible además de otras ventajas, se realizará un análisis detallado del mismo que permitan evaluar su viabilidad en este tipo de buques. Esta evaluación se descompondrá en las siguientes tareas:

- Análisis de las condiciones de navegación. En esta tarea, se realizará el estudio detallado de las rutas que siguen los buques de la flota de Celeiro, así como su navegación tipo durante las mareas y de las condiciones ambientales habituales de las mismas (régimen de vientos, oleaje, etc.), para determinar si su tipo de operación es compatible con la adopción de este tipo de propulsión.
- Estudio de viabilidad técnica. Teniendo en cuenta que los datos de que se dispone son exclusivamente los publicitados por el fabricante, será necesario comprobar la viabilidad tanto técnica como económica del sistema con datos objetivos. Dentro de este apartado, se evaluará la facilidad de instalación del sistema a bordo de los buques de la flota, la reducción de estabilidad que implica cualquier tipo de propulsión mediante velas, o la reducción de la maniobrabilidad del buque tras la aplicación de este sistema. Además, habrá que considerar también la facilidad de manejo y la posible necesidad de formación por parte de las tripulaciones de los buques en que se aplique.
- Ensayos experimentales que permitan definir el efecto de las cometas en este tipo de buques y si el empuje proporcionado por la misma nos permitiría obtener las reducciones esperadas en el consumo de combustible.
- Estudio de viabilidad económica. Una vez realizado el estudio de viabilidad técnica y los ensayos, se realizará el estudio de viabilidad económica, determinando los valores de ahorro obtenidos en las condiciones tipo de navegación en los diferentes buques de la flota, y comparándolo con los costes derivados tanto de la adquisición del equipo, como de su instalación, mantenimiento y formación.

Santiago Apóstolo

Por último, el GII colabora también dentro del Subproyecto Laboratorio flotante Santiago Apóstolo, en el que se realizará la aplicación a un buque real de las alternativas estudiadas en el resto de subproyectos.

El Santiago Apóstolo es un palangrero de día de 30 m de eslora, y que ha sido cedido al proyecto Peixe Verde por el Puerto de Celeiro. En él se aplicarán en un breve plazo las siguientes soluciones, para valorar su contribución a la mejora de la eficiencia:

- Remotorización. Utilización de gases.
- Mejora en la eficiencia de la generación.
- Utilización del paso controlable.
- Optimización de la navegación.

Entre las funciones del GII dentro de este subproyecto, se pueden destacar la realización de la especificación técnica de la reforma del buque, en la que se instalará un sistema de propulsión con gases (tanto GLP como GNL), con las modificaciones estructurales y la instalación de equipos auxiliares y de seguridad que esto implica.

Además, se realizará el análisis de parte de los datos obtenidos de la monitorización del buque durante la realización de pruebas de navegación de cara a obtener resultados reales que validen las alternativas consideradas.

Referencias

- [1] Ministerio de Industria y Comercio. www.mityc.es. 2006.
- [2] Ministerio de Agricultura y Pesca. www.mapa.es. 2006.
- [3] Estrategia de la Unión Europea para reducir las emisiones atmosféricas de los buques de navegación marítima. COM (2002) 595 final. Comisión de la Comunidades Europeas. Bruselas, 20.11.2002.
- [4] Convenio MARPOL 73/78. Organización Marítima Internacional.
- [5] Environmental Protection Agency. 40 CFR Parts 85, 86 et Al. Federal Register / Vol. 70, No. 133 / 13 de Julio de 2005.
- [6] Reglamento (CE) N° 2037/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de Junio de 2000, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono. Diario Oficial N° L 244 de 29 de Septiembre de 2000.
- [7] Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. BOE n° 41. 17 de Febrero de 2006.
- [8] Real Decreto 1027/2006, de 15 de septiembre, por el que se modifica el Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. BOE n° 232. 28 de Septiembre de 2006.
- [9] J. Fyson. Design of Small Fishing Vessels. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1985.
- [10] Vik-Sandvik AS. www.vik-sandvik.com. 2006.
- [11] P. M. Einang, K.M. Haavik. The Norwegian LNG Ferry. International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles. Yokohama. 2000.
- [12] R. M. Stokholm, J. S. Roaldsøy. LNG Use to Power the Ferry “Glutra” in Norway. The World First Ferry to Run on LNG.
- [13] S. Hannula, O. Levander, T. Sipila. LNG Cruise Ferry. A Truly Environmentally Sound Ship. Wärtsilä Corporation. www.wartsila.com. 2006.
- [14] Martin Rosander, O.V. Bloch. Modern Windships. Pelmatic Knud E. Hansen. 2000.
- [15] Yasuo Yoshimura. A Prospect of Sail-Assisted Fishing Boats. Hokkaido University, Japan.
- [16] R. O’Rourke. Statement of Ronald O’Rourke Before The House Armed Services Committee Subcommittee On Projection Forces Hearing On Alternative Ship Propulsion Technologies. 6 de Abril 2006.
- [17] Instituto Nacional de Meteorología. www.inm.es. 2006.
- [18] Popular Science. Volume 268 N° 5. Mayo 2006.
- [19] KiteShip Corp.. www.kiteship.com. 2006.
- [20] SkySails GMBH & Co. KG. www.skysails.com. 2006.