

La eficiencia energética en pesqueros y remolcadores en servicio. El Proyecto SUPERPROP.

*Luis Pérez Rojas**, *Antonio Souto Iglesias**,
*Pelayo Alvarez Brasa***, *Joaquín Gallego García***

*Grupo de Investigación del Canal de Ensayos Hidrodinámicos (CEHINAV¹)
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN)
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

**PESCANOVA S.A.

Resumen

Presentamos en este artículo las tareas realizadas y los resultados obtenidos dentro del proyecto SUPERPROP (“Superior Life Time Operation of Ship Propellers”) así como el proyecto mismo, financiado por la Unión Europea en el sexto programa marco (FP6) de I+D dentro de una convocatoria STREP, el cual comenzó a realizarse en mayo de 2005 y terminará en abril de 2008. Se trata en este proyecto de estudiar, desde el punto de vista de la Hidrodinámica, las condiciones de trabajo de los buques pesqueros y remolcadores de mayor edad de la flota y estimar el impacto en costes de diferentes estrategias de mantenimiento, con el modesto objetivo de optimizar el consumo de combustible apoyándonos en mejores estrategias. En este artículo se hace un estudio introductorio sobre los mercados a los que está dirigido el proyecto, con especial énfasis en el del sector pesquero, se describe el tipo de convocatoria en la que ha encontrado financiación el proyecto y se explica la estructura de ejecución del proyecto y la naturaleza de los diferentes socios, un consorcio multinacional de empresas y centros de investigación. Además se explican las tareas realizadas para conseguir los objetivos del mismo, que van desde ensayos con modelos, CFD, pruebas de mar hasta la elaboración, todavía en su fase más incipiente, de un modelo tecno-económico que permita establecer el impacto de las diferentes estrategias.

Abstract

This article aims at presenting the project itself, the already performed tasks and the results obtained as consequence of the execution of the SUPERPROP project (“Superior Life Time Operation of Ship Propellers”). This project is financed by the European Union under the Sixth R+D Framework Program, in a STREP type call. The project started on may 2005, and will come to an end on April 2008. The goal of this project is to study, from a hydrodynamic point of view, the work conditions of fishing vessels and tug vessels for which the ageing effects are important, in order to estimate the impact in costs of different strategies of maintenance, with the humble objective of optimizing the fuel compsumptions by using better strategies. In this article an introductory study about the markets at which the project is addressed is performed, with a special emphasis on the fishing industry. The type of call in which we have found financing support for the project is described as well as its execution structure. The nature of the consortium, a multinational group of research centers and companies is also explained. Finally, the tasks that have been performed or are ongoing, ranging from model tests, CFD analysis, seatrials, to the initial developments of a tecno-economical model that could assess the costs impact of the different strategies, are reviewed.

¹ <http://canal.etsin.upm.es/>

INDICE

		Pg.
1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	EL PROYECTO SUPERPROP.....	5
3	PROYECTOS STREP.....	6
4	EL CONSORCIO.....	8
5	ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO: COSTES.....	9
6	TAREAS YA REALIZADAS.....	13
7	PRÓXIMAS TAREAS.....	17
8	CONCLUSIONES.....	18
9	BIBLIOGRAFÍA.....	18

1 INTRODUCCIÓN

SUPERPROP (Superior Life-Time Operation Economy of Ship Propellers) es un proyecto de investigación y desarrollo con financiación por parte de la Unión Europea, el único en el sector pesquero con este tipo de financiación que cuenta con socios españoles. El proyecto surge de modo natural a partir de la amplia relación entre el Grupo de Investigación del Canal de Ensayos Hidrodinámicos(CEHINAV) de la ETSIN y la empresa PESCANOVA, que transmite su preocupación por la situación de los buques de mayor edad de su flota (la mayor naviera privada del mundo en número de unidades) en lo que se refiere a su comportamiento hidrodinámico. Estos buques, debido al envejecimiento y ensuciamiento del casco, la hélice y de la propia planta propulsora, y al cambio de condiciones de trabajo por la modificación de las condiciones de carga, tienen un punto de funcionamiento, hidrodinámicamente diferente para aquel para el que fueron proyectados. Esto provoca una pérdida de rendimiento, y un aumento de emisiones, vibraciones y costes de mantenimiento del motor. Estas circunstancias producen un aumento en los consumos, que, si bien hasta este momento había sido asumido como un hecho normal e inevitable, el alza de los precios del petróleo ha obligado a los armadores a plantearse las posibles alternativas que minimicen el impacto de dichas subidas de precio. SUPERPROP se encuadra dentro de estas iniciativas, de un modo muy modesto, pues pretende no cambios radicales en el sistema propulsivo sino implementar metodologías que permitan tener en cuenta como afecta el modo de realizar el mantenimiento desde el punto de vista hidrodinámico a esos costes.

La preocupación general por el consumo de los buques y la particular por colectivos específicos, como el mundo pesquero, para los cuales este factor es un porcentaje alto de sus costes operativos, y para el que además es difícil repercutir esos costes en precio, se ha extendido a raíz del incremento del precio del petróleo en los últimos 18 meses.

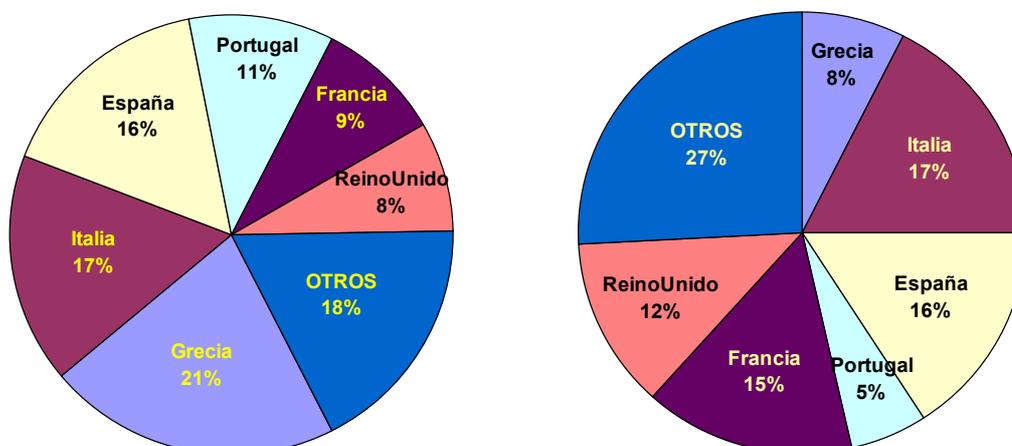


Fig. 1. Sector Pesquero en la UE, Distribución por número de buques y potencia.

La pesca es una actividad importante en la Unión Europea(UE). Aunque la contribución del sector al PIB de los estados miembros no es mucho mayor que el 1%, su importancia en ciertas zonas es crucial, al no existir alternativas a esta actividad en las mismas. Además, proporciona productos al mercado europeo, uno de los más grandes del mundo. El sector pesquero en la UE emplea de modo directo a 190.000 personas, comprende casi 90.000 buques con una potencia total instalada en torno a los 7.000Mw, con un tonelaje capturado anual cercano a los 6 millones de toneladas y con una distribución regional² como la que se muestra en las figuras 1 y 2. En estas figuras se aprecia la importancia en términos relativos de la flota pesquera española, y hay un porcentaje difícil de fijar de empresas mixtas con una fuerte presencia de capital español al menos en la flota del Reino Unido, y en flotas de países terceros(el 98% de éstas empresas son de capital español) como Argentina, Marruecos, Mozambique, etc. que conforman un panorama legal confuso con el que es difícil reflejar el impacto socio-económico real del sector pesquero. Es interesante observar el cambio en los gráficos respecto a la importancia de los países al tener en cuenta las capturas, debido al peso impresionante que las especies pelágicas en los caladeros Atlánticos tienen en este balance. El tamaño del sector pesquero en la Europa de los 15 está menguando (fig. 3), siendo el empleo y volumen de capturas en 2004 inferior en un 30% a las correspondientes a 1998. El valor de las capturas y número de buques son un 15 y 19% inferiores respectivamente[18].

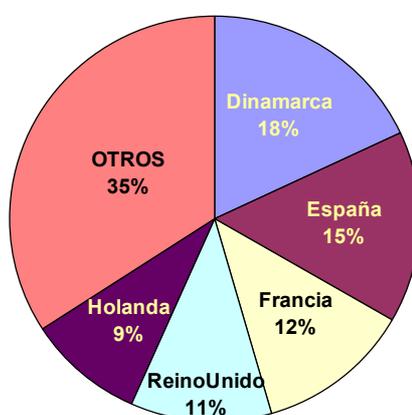


Fig. 2. Sector Pesquero en la UE, distribución por capturas.

En lo que respecta al impacto de la subida de los precios del petróleo, conviene echar un vistazo a las cifras desde una perspectiva más amplia que la evolución desde el año 2003, para darnos cuenta de que en el fondo, la actual subida está actuando de alguna manera como la gota que colma el vaso de los problemas de algunas empresas armadoras. Así, si recurrimos a la "Energy Information Administration" americana para obtener series temporales del precio del petróleo encontramos (fig. 4) que aunque el precio real, descontada la inflación, del petróleo es ahora todavía más bajo que en su máximo en 1980/81, las perspectivas son de una subida permanente en los próximos años, en donde además, la rentabilidad de muchos caladeros está muy por debajo de la correspondiente a aquellos años.

En España han aparecido diferentes iniciativas para tratar de paliar lo que esa factura del combustible significa en la cuenta de gastos operativos de las empresas armadoras. En particular en un sector como el pesquero, fuertemente atomizado, que se estructura generalmente a través de cooperativas o cofradías de pescadores, esas iniciativas parten normalmente de estos agentes. Algunas de ellas fueron expuestas en la Jornada Técnica sobre Mejoras Tecnológicas y el I+D en la Propulsión de Buques de Pesca durante la Exposición Internacional NAVALIA 2006 celebrada en Vigo en el mes de mayo. La más importante por presupuesto, 17 millones de euros(Meuros), es el proyecto "Peixe Verde"³, que parte de la empresa Puerto de Celeiro, accionariada por un centenar de armadores de la zona.

² Datos de 2003. Fuente: Comisariado de Política Pesquera Comun, Comisión Europea.

³ <http://www.peixeverde.org/>

En el proyecto "Peixe Verde" se pretende sobre todo investigar la viabilidad de otros combustibles alternativos y más baratos en su utilización en buques pesqueros. El proyecto empezó hace 2 años y tiene un plan de trabajo definido hasta 2009. Tiene financiación de la Xunta de Galicia, sus promotores han solicitado una subvención de 7Meuros en una acción especial del Ministerio de Educación y Ciencia y cuenta con la participación de un total de 25 socios entre empresas, universidades, etc. Es interesante notar que está implicada la UPM en paquetes de trabajo que tienen que ver con la motorización, pero no a través de la ETSIN.

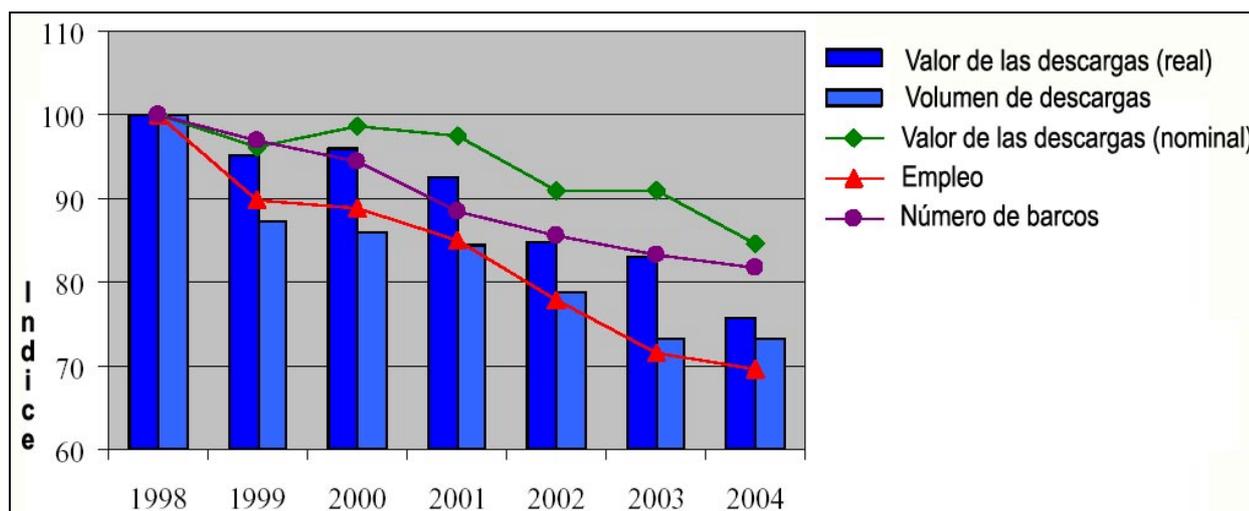


Fig. 3. Evolución del sector Pesquero en la UE, en términos relativos(tomada de [18]).

Otra iniciativa en paralelo con ésta es la promovida por la Federación Española de Organizaciones Pesqueras (FEOPE⁴), la cual ha presentado un proyecto al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el marco de la convocatoria para la concesión de las ayudas del Programa de Fomento del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (PROFIT) 2006, con el título "Optimización de la eficiencia energética y factores medioambientales en la flota pesquera". FEOPE lidera un consorcio en el que también participan la Cooperativa de Armadores de Pesca del Puerto de Vigo, el Grupo Emenasa, MG Otero Consultores, la Universidad de Vigo y el Clúster de Empresas Pesqueras nacionales en Países Terceros y que pretende conseguir reducir la factura del combustible que pagan los armadores españoles propietarios de buques de pabellón español y sociedades mixtas. La solicitud presentada al Ministerio de Industria es un sub-proyecto que se enmarca dentro de la "Iniciativa Ahorro" de FEOPE, en torno a la cual surgirán nuevos proyectos.

Ha habido otros foros donde presentar iniciativas y trabajos importantes relativos a este tema como la "Conference on Energy Efficiency in Fisheries" organizada por el Comisariado de Asuntos Marítimos y Pesqueros de la Comisión Europea, también en Mayo de 2006, en la que expertos de muchos países expusieron sus puntos de vista sobre la rentabilidad de empresas pesqueras.

En la jornada realizada durante NAVALIA, más arriba referida, tuvimos la ocasión de exponer por primera vez el proyecto *SUPERPROP* en un trabajo que además ha sido publicado en Ingeniería Naval[17]. En el proyecto nos centramos en las flotas más numerosas, la de buques pesqueros y la de remolcadores, los cuales, desde el punto de vista hidrodinámico tienen semejanzas significativas, dado que en ambos casos, el punto de proyecto a bajas velocidades de su sistema propulsivo es crítico. En este artículo retomaremos el

⁴ <http://www.feope.com/>

trabajo citado[17] para resumir algunas de sus partes, extendernos en aspectos que entonces no fueron tocados en profundidad y para hablar de las diferentes tareas que han sido realizadas desde entonces. Así, describiremos primeramente las características generales de SUPERPROP, para hacer referencia después a aspectos generales de la convocatoria en el que se enmarca el aquí presentado. A continuación se hace una descripción del consorcio y se entra en la siguiente sección en detalles sobre el modelo tecno-económico a desarrollar. Finalmente se detallan las actividades ya realizadas y las previstas junto con las conclusiones que podemos extraer de todo este estudio.

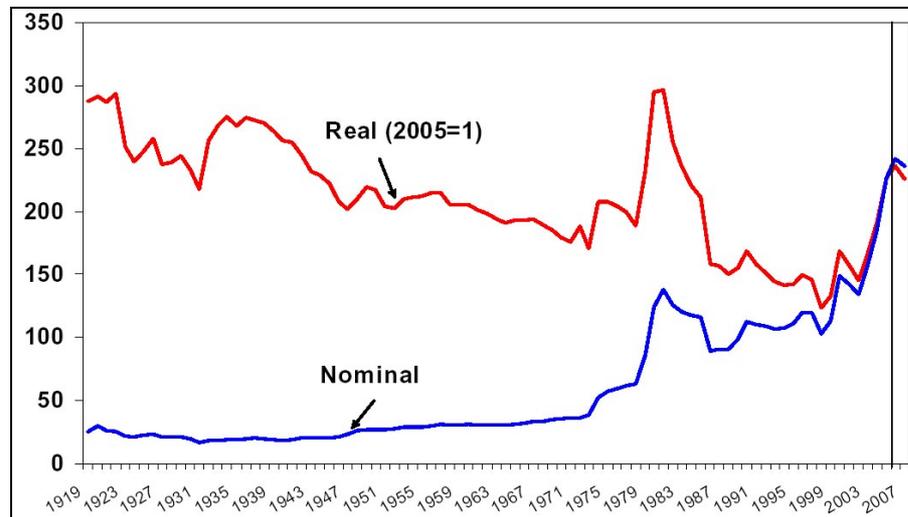


Fig. 4. Evolución del precio del petróleo (en centavos de dólar USA/galón⁵); valor nominal y real referido a 2005 descontando la inflación.

2 EL PROYECTO SUPERPROP

Ante las circunstancias arriba descritas sobre el incremento de costes, y con la relación tan cordial que existe entre el grupo de investigación CEHINAV de la UPM y PESCANOVA, la UPM elaboró un primer borrador del proyecto que consistía fundamentalmente en analizar las posibilidades de modificación del propulsor para aligerarlo y mejorar las condiciones de trabajo de la planta propulsora[13]. A este primer borrador, que contemplaba buques pesqueros y remolcadores, las flotas más numerosas, se unieron varios socios europeos. El consorcio final, liderado por la UPM, está formado además por PESCANOVA, Astilleros Freire y SISTEMAR de España; INSEAN (canal de Roma) y el grupo armador de remolcadores OCEAN de Italia; FUNDILUSA de Portugal; VTT de Finlandia y MARINTEK de Noruega.

Las principales características innovadoras de SUPERPROP son:

- El estudio de la viabilidad económica de flotas de mayor edad: Uno de los fines últimos del proyecto es la elaboración de un modelo tecno-económico que analice las diferentes alternativas de mantenimiento de los buques de pesca y remolcadores en lo que se refiere a su comportamiento hidrodinámico.
- Estudio de las posibles mejoras en consumos de combustible, emisiones y vibraciones.
- Uso de medidas a escala real sobre los buques ejemplo para mejorar el rendimiento de la planta propulsora.
- Desarrollo de una estrategia para reutilizar hélices antiguas con bajo coste. El proyecto no sólo analizará la posibilidad de un cambio de propulsor, sino también la modificación de la hélice antigua con el objetivo de aligerarla. Esto se puede conseguir mediante la reducción del paso, la reducción del diámetro o el recorte del borde de salida de las palas[13]. Es un objetivo fundamental del proyecto que los usuarios

⁵ Un barril de petróleo contiene 42 galones.

finales, en este caso, los dos armadores, obtengan un beneficio en forma de "know-how" que después ellos puedan traducir en términos económicos.

El proyecto está documentado online en <http://canal.etsin.upm.es/superprop/> y se divide en varios paquetes de trabajo (PT) en los que se realizan las siguientes tareas:

- PT0 - Gestión y Coordinación
- PT1 - Análisis de la flota actual y selección de buques-ejemplo
- PT2 - Estudio de los propulsores y las carenas de los buques ejemplo mediante CFD
- PT3 - Diseño de la actualización del sistema propulsivo.
- PT4 - Ensayos de modelos de los propulsores y carenas
- PT5 - Pruebas de mar de los buques ejemplo antes y después de la actualización del sistema propulsivo
- PT6 - Análisis de resultados
- PT7 – Realización de la actualización del sistema propulsivo de los casos estudiados.
- PT8 - Difusión de resultados

Es de destacar que el proyecto SUPERPROP supone para el Grupo de Investigación del Canal de Ensayos Hidrodinámicos (CEHINAV) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN) de la UPM el reto más importante al que ha hecho frente a nivel de proyectos de I+D. Es el primer proyecto financiado por la UE en el cual ha conseguido, compitiendo contra otras muchas propuestas de proyectos, una subvención de algo menos de un millón de euros para distribuir entre 9 participantes durante 3 años. Lo ha hecho dentro de una convocatoria STREP, cuyas características se presentan más adelante. Además lidera un consorcio multinacional para realizar actividades de I+D enfocadas al sector marítimo y muy centradas en subsectores de éste fundamentales para el estado español, como el pesquero y el de los remolcadores, sectores además con una vertebración pequeña en lo que se refiere a sus actividades de I+D+i.

3 PROYECTOS STREP

El proyecto SUPERPROP corresponde a las convocatorias STREP (Specific Targeted Research Project) y ha sido financiado parcialmente por la Unión Europea dentro del Sexto Programa Marco (FP6). Este programa pretende mejorar la competitividad y el nivel científico europeo mediante el fomento de la cooperación entre las universidades, los centros de investigación y la industria. No sólo comprende a países de la Unión Europea, sino que la participación en el FP6 está abierta a cualquier país, si bien se aplican distintas modalidades de participación y financiación. El FP6 comenzó en 2002 y termina este año. A partir de 2007 las nuevas convocatorias corresponden al FP7, el cual terminará a su vez en 2013.

En nuestro caso, SUPERPROP está encuadrado dentro de la prioridad de "Transporte de Superficie Sostenible", y el área de actividad: "desarrollo sostenible, cambio global y ecosistemas". El objetivo es "diseño y técnicas de producción avanzadas". Los resultados de SUPERPROP se espera que contribuyan al desarrollo sostenible dado que al mejorar el rendimiento de la Hidrodinámica de los buques, también se reducen las emisiones de gases que contribuyan al efecto invernadero. Por otro lado, se espera que contribuya a mejorar las técnicas de producción puesto que las conclusiones del proyecto pueden ser utilizadas para mejorar la vida útil del barco desde las primeras etapas del diseño inicial. Finalmente, al estar compuesto el consorcio por socios de cinco países, se fomenta la cooperación entre países europeos.

En el FP6, dentro de la prioridad de "Transporte de Superficie Sostenible", se ha dispuesto de 670Meuros para subvenciones a proyectos. Además, el sector pesquero en particular se puede beneficiar de la prioridad "Calidad y Seguridad de los Alimentos" para la cual se disponían de 735Meuros. En el FP7, la prioridad de transporte tendrá asignados aproximadamente 1512Meuros y la alimentaria 1935Meuros. Estos números nos

dan una idea de lo importante que puede ser participar en estos proyectos. No hemos conseguido estadísticas comparativas detalladas entre países pero la participación española está en torno al 5% del presupuesto total, baja en relación con el peso del país en la UE.

Los proyectos STREP, tipología en la que se encuadra SUPERPROP, se caracterizan por tener un objetivo muy específico que se encuadra dentro de unas áreas que la UE considera prioritarias. Los proyectos STREP tienen como objetivo mejorar la competitividad europea o simplemente responder a una necesidad de la sociedad o de las políticas de la UE; y pueden tener la forma de investigación y desarrollo tecnológico para mejorar los productos, procesos o servicios actuales; o bien proyectos de demostración de nuevas tecnologías sin aplicación directa. Los consorcios para la realización de estos proyectos deben constar de al menos tres entidades diferentes de distintos países, de los cuales al menos dos deben ser estados miembros o candidatos asociados. La duración de estos proyectos suele ser de dos o tres años; si bien excepcionalmente la duración del proyecto podrá exceder de los tres años.

Aunque hay otros proyectos STREP en marcha dentro del FP6, SUPERPROP es el único dentro del ámbito puramente naval liderado por un socio español. La lista completa de proyectos es accessible a través de las páginas de EurOcean (European Centre for Information on Marine Science and Technology). Se pueden destacar de entre ellos:

- ECODOCK. Este proyecto, de referencia para SUPERPROP, pretende evaluar como se puede mejorar el comportamiento de las pinturas para reducir costes a lo largo de la vida operativa de los buques. Además se pretende también reducir su impacto sobre el medio y proporcionar información no dependiente en las compañías de pinturas que ayuden a los técnicos a elegir cuál es la solución más adecuada. Tiene una subvención de 2Meuros.
- EU-MOP. En este proyecto se trata de diseñar y probar unidades autónomas para eliminación de contaminación por hidrocarburos, para minimizar el impacto de episodios de derrame de crudo. Tiene una subvención de 1.9Meuros.
- SAFETOW. Proporcionará a los capitanes de buques con problemas de gobierno y a los de remolcadores de altura una herramienta de apoyo que les habilitará para tomar decisiones en tiempo real con la mejor información disponible sobre las consecuencias de sus acciones. Tiene una subvención de 1.25Meuros.
- SHIPMATES. El proyecto está diseñado para proporcionar un entendimiento claro de las mejores prácticas en el sector de la reparación naval y para estimular y trazar un mapa de las actividades de los astilleros de reparaciones y conversiones, con la excepción de las actividades de pintado del casco. Tiene una subvención de 2.15Meuros.

Como comentábamos, el proyecto SUPERPROP supone para el grupo de investigación CEHINAV de la ETSIN-UPM un reto no tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista de gestión de un proyecto europeo[1]. El nivel de fiscalización que se asume al coordinar un proyecto europeo es alto. La UE asigna un funcionario supervisor (officer) a cada proyecto, el cual realiza un seguimiento continuo de la ejecución del proyecto. Cada 3 meses hay que elaborar un informe de gestión recopilando datos sobre los esfuerzos en personal utilizados, cada 6 meses se ha de presentar un informe técnico sobre el estado de ejecución del proyecto y cada año se ha de preparar una documentación muy completa de justificación de costes, plan de explotación actualizado, etc., Además se tienen 2 reuniones anuales a las cuales puede asistir el "officer". O sea, que gestionar toda esta documentación es en sí mismo una tarea de grandes proporciones, que está poniendo a prueba nuestra estructura de gestión de proyectos, la cual sufría ya mucho en los proyectos de convocatorias competitivas nacionales, por muchas razones, que necesitarían otro artículo como éste para ser descritas.

4 EL CONSORCIO

Como se ha indicado anteriormente, el consorcio final está liderado por el grupo de investigación CEHINAV-ETSIN-UPM, y los socios son: PESCANOVA, Astilleros Freire y SISTEMAR de España; INSEAN (canal de Roma) y el grupo OCEAN de Italia; FUNDILUSA de Portugal; VTT de Finlandia y MARINTEK de Noruega. Se presenta a continuación una descripción breve de la actividad de cada socio y de sus responsabilidades generales en el proyecto:

- CEHINAV-ETSIN-UPM.

El grupo de Investigación CEHINAV-ETSIN-UPM, realiza sus actividades en tres campos⁶:

- Investigación y desarrollo. Es el núcleo de la actividad del canal, trabajando sobre códigos CFD para modelar fenómenos hidrodinámicos y validando los resultados mediante la experimentación.
- Formación de ingenieros navales
- Labores de transferencia de tecnología en aspectos hidrodinámicos del proyecto del buque, en cooperación con diversas empresas del sector naval.

Las tareas de la UPM en SUPERPROP consisten en coordinar todas las actividades, analizar los resultados de los diferentes socios y realizar ensayos numéricos y con modelos físicos.

- PESCANOVA, S.A. Uno de los principales suministradores de pescado congelado a nivel mundial, y también la primera flota pesquera privada, con cerca de 130 buques alrededor de todo el mundo, de los cuales unos 40 tienen una antigüedad suficiente como para beneficiarse de las acciones de mantenimiento a estudiar en este proyecto. PESCANOVA aporta al proyecto su experiencia en la explotación de buques pesqueros y datos sobre su funcionamiento, además de poner a disposición el pesquero representativo (fig. 9).
- CONSTRUCCIONES NAVALES P. FREIRE S.A. Astilleros FREIRE puede construir buques de hasta 150 metros de eslora, y también realizar reparaciones y conversiones de buques. En los últimos años se han especializado en el mercado de los grandes buques pesqueros; y en el de los remolcadores de puerto ha alcanzado las cotas más altas de tecnología con los buques “Spirit” y “Magic”. FREIRE se encarga en el proyecto de la modificación de los sistemas propulsores y de la limpieza del pesquero ejemplo antes de las pruebas de mar.
- SISTEMAR. Es la oficina técnica de referencia en España en el proyecto de propulsores. SISTEMAR es un líder en el diseño de hélices CLT, habiendo desarrollado una base teórica para el procedimiento de diseño de este tipo de hélices. Su principal tarea en este proyecto es colaborar con VTT en el diseño de las modificaciones al sistema propulsivo de los buques.
- INSEAN. INSEAN es administrativamente el equivalente italiano al Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo. Sus instalaciones constan de dos canales de ensayos, uno de los cuales está entre los más grandes del mundo, y un túnel de cavitación. INSEAN está implicado en numerosos programas de investigación, tanto nacionales como internacionales. En SUPERPROP, INSEAN se encarga de los ensayos con modelos y mediante CFD de las carenas y propulsores de los buques ejemplo.
- OCEAN. Una de las navieras de remolcadores más importantes de Italia. Su flota incluye remolcadores y buques contra incendios tanto de puerto como de altura, y también poseen instalaciones para el

⁶ <http://canal.etsin.upm.es/>

mantenimiento de buques. Algunos de estos remolcadores superan los 30 años de servicio, por lo que la empresa tiene gran interés en el proyecto. La aportación de OCEAN a SUPERPROP será su experiencia sobre remolcadores y el propio remolcador ejemplo (fig. 8); así como datos sobre la explotación de estos buques.

- FUNDILUSA. Compañía portuguesa con reconocido prestigio internacional como fabricante de hélices tanto de paso fijo como variable, y con una cuota de mercado que la sitúa entre los primeros puestos de las fundiciones europeas. FUNDILUSA se encargará en SUPERPROP de la modificación o la construcción de nuevos propulsores de acuerdo con las conclusiones del paquete de trabajo de diseño.
- VTT. Centro multidisciplinar de investigación en Finlandia, siendo el centro de I+D más importante de los países nórdicos. La sección de buques y estructuras marinas ha participado en numerosos programas de investigación europeos. Los objetivos de la sección de Hidrodinámica cubren la resistencia al avance, propulsión, maniobrabilidad, simulación y comportamiento en la mar. Para ello usan códigos numéricos y ensayos con modelos. En este proyecto, VTT se encarga de ensayos con CFD y del diseño de las modificaciones al sistema propulsor.
- MARINTEK. Compañía noruega de capital público y privado dedicada a la investigación y desarrollo en las actividades marinas. MARINTEK colabora con la Universidad de Trondheim, y está involucrada en diversos programas de investigación. Las instalaciones del área de Hidrodinámica incluyen diversos canales de ensayos, un túnel de cavitación y un laboratorio de cibernética marina. En este proyecto, se encargan de la realización de las pruebas de mar de los buques ejemplo.

5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO: COSTES.

5.1 General

El objetivo fundamental de SUPERPROP es elaborar estrategias de mantenimiento de buques relativas a aspectos hidrodinámicos de la propulsión, estimando el impacto en costes de las mismas. Definir las estrategias de mantenimiento tanto en buques pesqueros como remolcadores es al menos tan complejo como hacerlo para buques mercantes convencionales. Para casi todos los buques es un problema de lucro cesante y de no respetar compromisos comerciales el varar para hacer una puesta a punto. Para los buques pesqueros y remolcadores, el problema es similar. Para minimizar el impacto económico de operaciones de mantenimiento hay que tener en cuenta hitos importantes en los buques que navegan bajo pabellón de la UE como los reconocimientos periódicos obligatorios de la obra viva que se exigen para obtener sus certificados de navegabilidad o similares. Así, en el caso de buques pesqueros de eslora igual o superior a 24m, y según el Protocolo de Torremolinos de 1993[15], se tendrá un reconocimiento obligatorio de la obra viva cada cuatro años, prorrogables a 5 "a condición de que el buque sea objeto de un reconocimiento interno o externo en la medida de lo razonable y factible". Los remolcadores están sujetos a la aplicación del Convenio SOLAS[16] que exige la realización de "dos inspecciones, como mínimo de la obra viva del buque durante cada periodo de cinco años", y tales que "el intervalo entre cualquiera de estas dos inspecciones no excederá de 36 meses".

Además de estas varadas impuestas por la Administración, las SSCC, caso de que el buque esté clasificado, imponen las suyas propias⁷, que por lo general, se pueden hacer coincidir con las de ésta en el caso de los remolcadores y que en el caso de los pesqueros clasificados suponen incluso una periodicidad superior. En el caso de pesqueros, se suele tener en cuenta también las vedas obligatorias que afectan a algunos de ellos en

⁷ En el BV, están descritas en la Parte A, Capítulo 2, Sección 2, [1], y las que aquí nos afectan son las del eje de cola y las de renovación de clase.

determinados caladeros y durante las cuales el buque ha de permanecer amarrado. En el caso de remolcadores, en los puertos hay determinadas épocas del año que por razones diversas implican una reducción del número de operaciones, y estas épocas son las elegidas para parar.

El modelo tecno-económico sobre el que estamos trabajando esperamos que nos permita establecer cuál es la mejor de las diferentes alternativas de mantenimiento. Este modelo tiene una serie de entradas (Svensen [19]) a partir de las cuales se estiman las magnitudes económicas asociadas a la explotación del buque desde el punto de vista operacional. A partir de estos valores, se puede evaluar la calidad de las alternativas de mantenimiento en lo que se refiere a rendimientos de las inversiones de mantenimiento en aspectos relativos a la Hidrodinámica del buque. El criterio más usado para establecer la rentabilidad de una inversión frente a otras posibles es el que proporciona el cálculo del valor actual neto o alguna de sus variantes[3](en adelante, NPV, del inglés "net present value"). El NPV nos da una idea de lo que supone la operación-explotación del buque en términos de dinero actual, teniendo en cuenta los tipos de interés y la inflación.

Las entradas necesarias para el modelo utilizado deberían incluir todos los factores que puedan afectar al consumo de combustible y, por tanto, al coste de explotación del buque. Entre estos factores, se pueden distinguir:

- Características del buque, como por ejemplo la velocidad de servicio, las dimensiones, la potencia de la planta propulsora y los servicios que cubre, etc.
- Costes y efectos sobre el rendimiento de las diferentes tareas de mantenimiento.
- Variables económicas como puede ser el precio del combustible o los tipos de interés.
- Consumos de combustible. Esta es la parte mas compleja del modelo, puesto que los consumos deben ser calculados a partir de un gran abanico de variables que no se pueden obtener fácilmente, y cuya evolución forma de hecho parte del modelo tecno-económico. De estas variables, las más importantes son la rugosidad del casco y de la hélice, el ensuciamiento o "fouling", la condición de carga, la velocidad real del barco, las corrientes y las condiciones meteorológicas y el perfil de la actividad del buque. A continuación, se describe con más detalle algunos de estos elementos, centrándose en el fouling, que quizá sea el más crítico, y lo será más en los próximos años.



Fig. 5 Fouling en el propulsor de uno de los buques de estudio en el proyecto.

5.2 Fouling

El ensuciamiento o fouling (fig. 5) es uno de los factores que mayores problemas supone, puesto que tiene un efecto muy importante sobre la resistencia del casco (entre el 9 y 29% de acuerdo con Holm et al.[10] para casos muy específicos) y el rendimiento de la hélice y a su vez depende de varios factores como la temperatura del agua, la velocidad del buque y de las características del agua de los puertos en que el barco

hace escala. Es difícil establecer su impacto en la operación de buques pesqueros y remolcadores. En el primer caso, hemos intentado comparar curvas de consumos de buques obtenidas a partir del Diario de Máquinas. En la figura 6 mostramos un registro real de consumos a lo largo de una marea. En él se puede observar la diferencia de consumos en los momentos de navegación en marcha libre y las jornadas donde el buque se encuentra realizando maniobras de pesca. Nos hemos encontrado que era imposible contrastar de modo realista estos valores entre una marea y otra por una de estas tres razones o la combinación de las mismas. Primero, estar tomados con muy poco rigor; segundo, por no existir series temporales largas de los mismos y, tercero, por no poder contrastar estos consumos con el Diario de Navegación, tratando de descontar efecto de corrientes y mal tiempo por el secretismo y la desconfianza hacia todos los agentes con el que se llevan estos temas en el mundo pesquero. Las razones para este tercer punto tienen su origen bien en aspectos legales relativos a la potencia de los buques objeto de estudio, bien en la anotación en los Diarios de asuntos en sí mismos delicados que afectan a la seguridad del buque o bien en la ubicación de los caladeros.

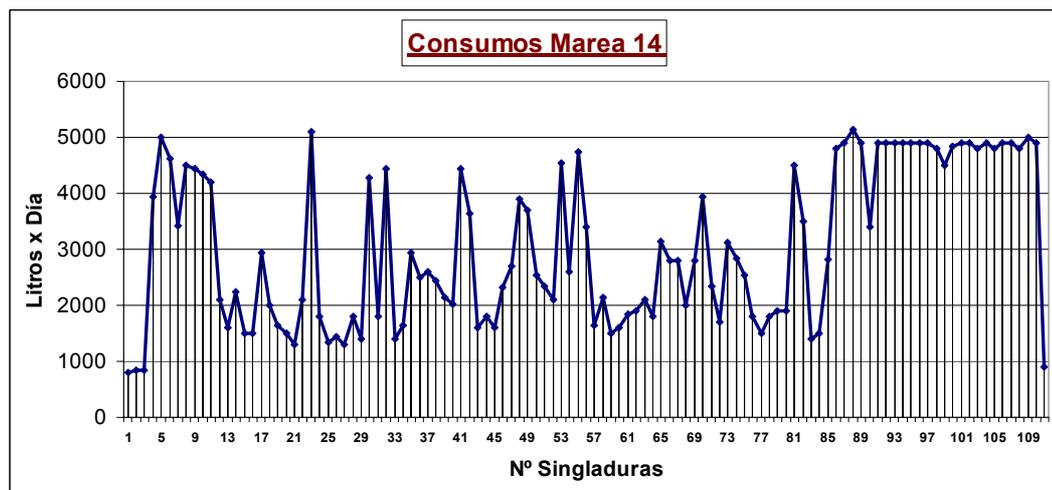


Fig. 6 Ejemplo de consumos de un pesquero congelador de altura.

Hasta el año 2003, las pinturas anti-fouling más habituales eran las autopulimentantes basadas en el polímero trybutil tin (TBT-SPC). Debido a los efectos colaterales contaminantes de este compuesto[5,4], la Organización Marítima Internacional (IMO) decidió en Octubre de 2001 prohibir la aplicación de TBT-SPCs a partir de 2003 y eliminar completamente su uso a partir de 2008.

Existen al menos en principio dos alternativas en el mercado que pueden ofrecer características similares a las de las pinturas con TBT: aquellas que utilizan un principio tóxico basado en cobre y las que son antiadherentes al fouling sin ningún principio químico biocida y sí físico[6], tratando de evitar que las incrustaciones se adhieran a las superficies. Las primeras, serán muy posiblemente en un futuro próximo objeto de regulaciones restrictivas similares a las que ahora son objeto las basadas en TBT. Las segundas, a pesar de las continuas referencias a las mismas en la literatura[6,2], no parecen ser muy eficientes desde el punto de vista económico, dada la dificultad de su aplicación y lo frágiles que son a roces y contactos. Pero además, estas pinturas son eficientes solamente para buques de media y alta velocidad y que pasan poco tiempo en puerto. En esta categoría no entran precisamente buques pesqueros y remolcadores, los cuales son el objetivo de este proyecto. Por tanto, parece que el futuro plantea interrogantes difíciles en el tema de los recubrimientos anti-fouling, coincidiendo con la escalada de precios de combustible, a pesar de las soluciones con agentes anti-fouling de origen natural que son objeto de investigación ahora mismo y de resultados prometedores[7].

Además, en el caso del ensuciamiento de origen biológico, o biofouling, como suele ser debido a varias especies distintas, no existe todavía ninguna forma de realizar una cuantificación del mismo que se pueda

correlacionar con la pérdida de rendimiento tanto del casco como de la hélice [21], y mucho menos en buques pesqueros o remolcadores.

El fouling puede afectar en gran medida a los remolcadores puesto que son buques que pasan la mayor parte de su vida útil amarrados al muelle, y a buques pesqueros, sobre todo a aquellos que operan en aguas cálidas. Los armadores de buques pesqueros afirman que las actuales pinturas antifouling, a pesar de la prohibición del TBT, son capaces de evitar el fouling macroscópico en el casco, limitando el fouling a una capa de bacterias que forman un fango que cubre toda la obra viva. Este fango se forma en el plazo de unas semanas y puede tener un efecto importante sobre la resistencia al avance[4]. También es un elemento a tener en cuenta el fouling en la hélice, que normalmente no va pintada y produce un doble efecto de disminución del empuje y aumento de la resistencia.

5.3 Otros efectos.

Hay al menos dos efectos adicionales importantes que deben ser incluidos en el modelo tecno-económico:

- Cambio en la condición de carga de diseño afectando a la curva de resistencia velocidad. En buques arrastreros es muy habitual el cambio de aparejos por otros de mayor capacidad, o la introducción de nuevos equipos en cubierta o en el parque de pesca. Esto cambia normalmente de modo significativo los calados y por tanto la curva de resistencia-velocidad del buque, afectando a todo el sistema propulsivo. Estos cambios pueden ser previstos en el modelo, y ponderados con las correspondientes estimaciones[11]. Dentro de esta tipología entra el cambio del perfil de operación de un buque. Por ejemplo, en el caso de un remolcador, que pase de ser usado mayormente en puertos, a ser usado para remolcar gabarras entre un puerto y otro.
- Modificación de la rugosidad tanto de la carena como de la hélice. La rugosidad afecta a la resistencia del buque y a pesar de la calidad de la limpieza y repintado en las varadas, el buque nunca recupera ya su curva de remolque original[13]. Además, la rugosidad afecta de modo significativo los coeficientes propulsivos, en particular el coeficiente de estela[13]. En la hélice, el cambio de rugosidad por envejecimiento o fenómenos cavitantes locales, modifica no tanto su empuje como produce un aumento en la absorción de par necesario para conseguir ese empuje, y por tanto, reduce su rendimiento. Sin embargo, se sabe poco sobre cómo es la topografía a nivel de rugosidad de las hélices y menos todavía sobre su evolución con el tiempo.

5.4 Resultados

Para obtener o estimar todas estas variables se puede realizar una monitorización de la flota en la cual habría que tomar datos de todo lo anterior y de consumos de combustible que permitan comparar los consumos calculados con los reales y realizar las correcciones oportunas. Estas correcciones deben tener especialmente en cuenta las condiciones de mar, viento y corrientes, que pueden dar lugar a grandes errores en los resultados. El efecto de las corrientes se puede corregir fácilmente suponiendo que estas sean conocidas. Townsin[20] sugiere que se tomen datos sólo los días en los que las condiciones de mar y viento estén dentro de unos ciertos límites, puesto que es muy difícil cuantificar exactamente el efecto que tienen.

La salida del modelo utilizado, como ya se mencionó anteriormente, es el NPV de dos o más estrategias de mantenimiento. La determinación exacta de cómo van a evolucionar las variables económicas durante un periodo largo como puede ser la vida útil de un buque está más allá de los objetivos del presente proyecto, y por tanto es muy difícil obtener un solo valor del NPV. Una solución a este problema es representar en una gráfica los valores del NPV respecto al valor de una tasa de descuento que incluya el efecto conjunto de los tipos de interés y la inflación. Un ejemplo de estos gráficos se puede ver en la fig. 7. De esta manera, el armador tiene una idea de a partir de qué valores de esta tasa, una opción es preferible a las demás, y elegir en base a sus propias predicciones. Hay que aclarar que este modelo trabaja con unos planes de

mantenimiento fijos, pero que en la realidad, en función de la evolución de los factores económicos (precio del crudo, inflación, etc.), se puede cambiar el plan inicial de mantenimiento.

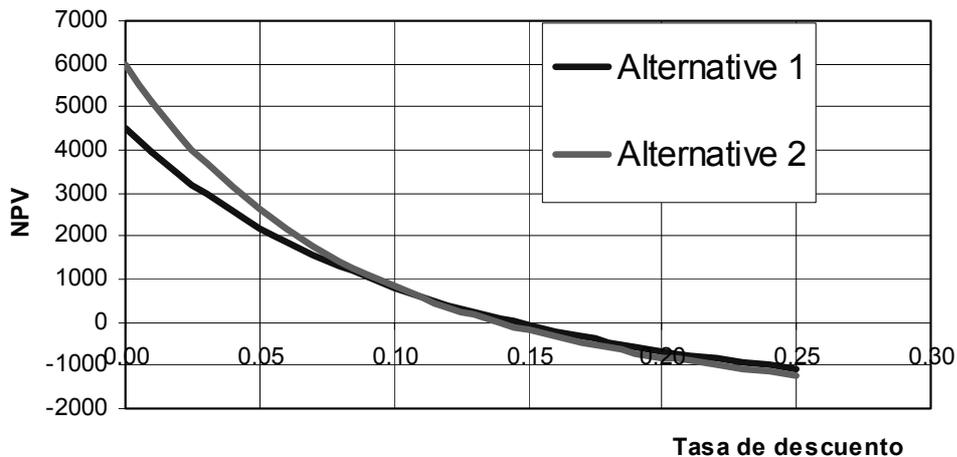


Fig. 7 Gráfico de NPV frente a la tasa de descuento (miles de euros), para dos estrategias de mantenimiento de un mismo buque.

6 TAREAS YA REALIZADAS.

6.1 General.

Agosto de 2006, el mes en el que estamos escribiendo este artículo, es el mes 16 del proyecto. Se ha completado el primer paquete de trabajo, PT1, y se trabaja en casi todos los demás. Pasamos a describir de modo somero las tareas ya realizadas en cada una de ellos.

6.2 PT0 - Gestión y Coordinación

Coordinar un proyecto europeo es, como comentábamos en la sección 3, un esfuerzo enorme. Es todavía más grande si lo haces la primera vez que participas, ya que lo habitual es primero entrar en algún proyecto como participante, pero dado que eso no sucedía, tuvimos que dar el paso. A pesar de las dificultades, creemos que estamos realizando una labor buena, cumpliendo de momento en el aspecto de gestión de toda la información, presentando en plazo la documentación de gestión y con pequeños retrasos parte de la documentación técnica.

6.3 PT1 - Análisis de la flota actual y selección de buques-ejemplo

Es el único PT ya finalizado, y ha consistido en el análisis de la flota actual y la selección de los buques de referencia, con lo que se han completado los informes 1.1 y 1.2 del proyecto. Dentro del PT1 también se analizaron las principales causas del deterioro del rendimiento de los buques antiguos. Estas causas son, fundamentalmente, la corrosión, la erosión, las colisiones con distintos objetos flotantes (o los propios aparejos, en el caso de los pesqueros), los procesos de fouling y los fenómenos de cavitación. Todo esto contribuye a un aumento de la rugosidad del casco y de la hélice, que es en definitiva lo que hace que aumente la resistencia al avance. Otro factor importante es el propio deterioro de la planta propulsora (de menor importancia dado lo riguroso del mantenimiento), aunque este proyecto se centra sólo en los aspectos hidrodinámicos del problema. Dado que los fenómenos de cambio de punto de operación son sufridos con más intensidad por buques que monten hélices de paso fijo, el proyecto se ha centrado en este tipo de propulsión. Teniendo en cuenta los datos de la flota, se eligieron dos barcos ejemplo, un pesquero, el ILA y un remolcador, el VAL. Estos barcos se escogieron porque se consideraron representativos de las características generales de la flota a estudiar y por su disponibilidad para la realización de diferentes pruebas.

El VAL (figura 8) es un remolcador de puerto de 27,8 metros de eslora que opera en Trieste-Italia, y fue elegido debido a que la mayor parte de la flota de remolcadores es de puerto, tiene una relación potencia-eslora y potencia-velocidad que se corresponden a las características generales de la flota de OCEAN (importante compañía de remolcadores de la zona del mar Adriático), y porque su sistema propulsor es de hélice de paso fijo con tobera, que se corresponde al objetivo de este proyecto.



Fig. 8 VAL, remolcador representativo, en el puerto de Trieste.

El ILA (figura 9) es un arrastrero congelador de 77,1 metros de eslora, buque característico de la flota en Namibia de PESCANOVA. Además, presenta ciertas facilidades para la realización de las pruebas de mar ya que está controlado desde la matriz en Vigo. Su sistema de propulsión también es de hélice de paso fijo con tobera, si bien originalmente no tenía tobera y se hizo una modificación para añadirse posteriormente. Pertenece a una generación de grandes buques arrastreros similares a él, construidos por Astilleros y Construcciones S.A. a finales de los años sesenta, con unos coeficientes de forma que los hacen buques muy esbeltos para su clase.



Fig. 9 El ILA, pesquero de referencia.

Uno de los grandes problemas que se plantearon en la fase inicial del proyecto fue la definición de la hélice del ILA, puesto que no existían planos tras la modificación que sufrió en 1982. Fue enviada a FUNDILUSA, en Vilanova da Cerveira, norte de Portugal, donde se limpió y fue medida, para después ser instalada nuevamente en el buque. Al realizar la varada del ILA, se hizo también una medición del casco y de la hélice mediante láser escáner tridimensional, dado que no se disponía de una definición adecuada de las formas

tanto del buque como del propulsor como se ha comentado. Sobre este proceso hemos enviado un artículo a Ingeniería Naval, que esperamos sea publicado en breve, y donde se detallan todas las técnicas usadas.

6.4 PT2 - Estudio de los propulsores y las carenas de los buques ejemplo mediante CFD

El objetivo de este paquete de trabajo es simular el flujo en la zona de popa de los buques ejemplo para establecer qué opciones de actualización de su sistema propulsivo son más adecuadas desde el punto de vista de la Hidrodinámica, comprobando después lo adecuado de esas opciones, y su efecto en los costes. De momento, se han realizado los estudios de carena sin propulsor (figs. 10 y 11) y están en marcha los de propulsor aislado, todos ellos de los buques existentes.

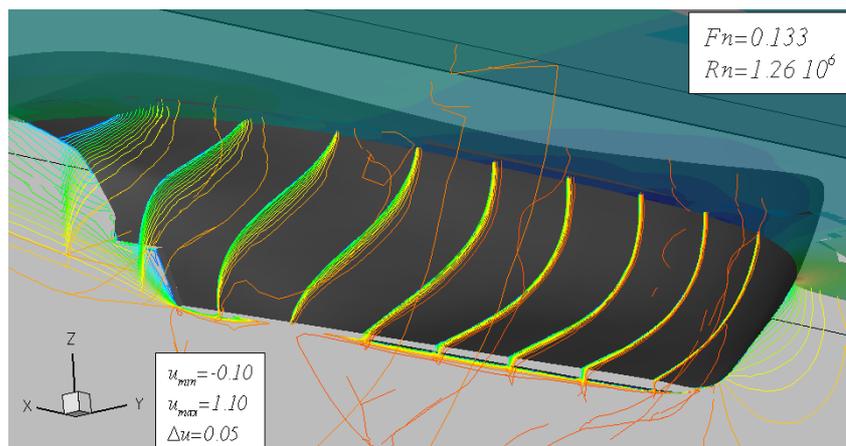


Fig. 10 Estudio de desarrollo de la capa límite en el buque VAL mediante CFD RANS por INSEAN.

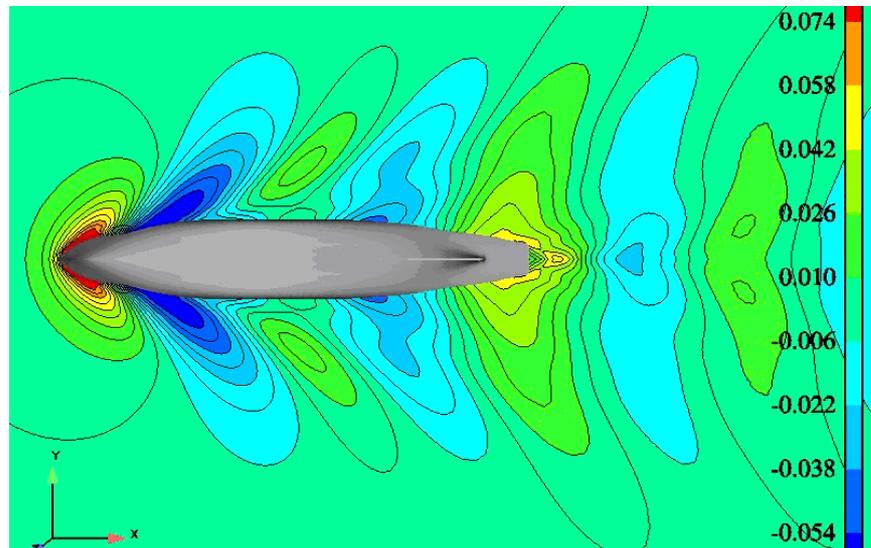


Fig. 11 Estudio de generación de olas en el buque ILA mediante CFD RANS por VTT

6.5 PT3 - Diseño

El PT3 comprende las actividades de diseño, buscando las mejores soluciones, para las cuales se realizarán después ensayos con modelos. Se tratará de generalizar los resultados para que puedan ser usados por los armadores en sus flotas. Nos encontramos en este momento estudiando alternativas para el remolcador, pues para él se disponen de resultados experimentales más completos. Se modificará previsiblemente su condición de proyecto para adaptarlo a un perfil operativo ligeramente diferente al del proyecto inicial.

6.6 PT4 - Ensayos de modelos de los propulsores y carenas

De los buques se han construido modelos del casco, la hélice y las toberas para ser ensayados en los canales de la UPM y de INSEAN (figs. 12 y 13). La idea es poder comparar los resultados con los que se obtengan tras la actualización del sistema propulsivo.



Fig. 12 Modelo del buque VAL construido en INSEAN.



Fig. 13 Modelo del buque ILA durante el mecanizado en CEHINAV-ETSIN-UPM

La hélice del ILA, con y sin tobera, ya ha sido ensayada en aguas libres en el CEHINAV-ETSIN-UPM (fig. 14) que estrenaba ensayador con este proyecto. El modelo de la hélice del VAL está siendo ensayado en Italia, y al finalizar los ensayos, será enviada a la UPM para realizar los ensayos de aguas libres. En cuanto a los modelos de los cascos, en un principio iban a ser contruidos únicamente uno de cada barco en INSEAN, pero se decidió que la UPM construya un segundo juego de modelos para analizar los efectos de escala, dado que serán modelos de distintos tamaños (fig. 13). Para ello está utilizando su nuevo centro de mecanizado de 5 ejes, uno de los más sofisticados de España.

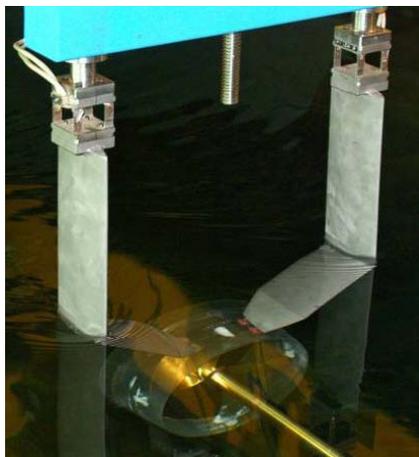


Fig. 14 Ensayo de aguas libres del sistema hélice-tobera del ILA.

6.7 PT5 - Pruebas de mar de los buques ejemplo antes y después de la actualización del sistema propulsivo

Tanto del buque pesquero ILA como del buque VAL se han hecho ya las pruebas de mar. Para la realización de estas pruebas, el ILA se varó y se limpió en el astillero C.N. FREIRE, y el VAL en el varadero del que dispone la propia empresa OCEAN. Esto permitió hacer una primera valoración del impacto del fouling. En la figura 5 se puede observar una pala de la hélice del ILA antes de la limpieza. Las pruebas fueron muy completas, ya que se realizó también para el ILA una prueba de arrastre con el copo abierto, y para el VAL una prueba de remolque de una gabarra. Ello permitirá comparar a posteriori en estas condiciones el funcionamiento después de la puesta a punto.

6.8 PT6 - Análisis de resultados

Por otro lado se ha empezado a trabajar en el desarrollo del modelo tecno-económico (ver sección 5), realizando una primera clasificación de las variables que intervienen y se ha empezado a elaborar un pequeño programa en MATLAB que realiza los cálculos económicos. Este programa recibe como entradas los datos económicos de la vida del buque, como pueden ser los costes de mantenimiento y las pérdidas anuales de dinero debido al envejecimiento (entradas que deberían salir de la otra parte del modelo, el análisis técnico del buque en cuestión); y puede trazar curvas como la mostrada en la figura 7.

6.9 PT8 - Implementación y difusión de resultados

Además de los aspectos internos de implementación de las metodologías estudiadas en el proyecto, éste ha de revertir a la comunidad difundiendo sus resultados y sus problemas. Para ello, se presentó, como se comentaba en la sección 1, una ponencia en la *Jornada Técnica sobre Mejoras Tecnológicas y el I+D en la Propulsión de Buques de Pesca* durante la *Exposición Internacional NAVALIA 2006* celebrada en Vigo en el mes de mayo. Además, se dispone de un sitio en Internet que sirve a los socios para centralizar la información, pero que también contempla aspectos de difusión, con una interesante galería de imágenes. La dirección es: <http://canal.etsin.upm.es/superprop/>.

7 PRÓXIMAS TAREAS

A medida que se van completado los ensayos (PT4), se están analizando los resultados comparando los ensayos en canal y numéricos con los resultados de las pruebas de mar. El objetivo de este análisis es la determinación exacta de las condiciones de funcionamiento de nuestros buques ejemplo. A partir de ahí se seguirán tres líneas de trabajo. Una consiste en plantear modificaciones a las hélices que puedan mejorar su rendimiento. Estas modificaciones pueden consistir fundamentalmente en disminuir el diámetro de las hélices, recortar los bordes de salida o disminuir el paso mediante la torsión de las palas [12,13]. En nuestro caso, la disminución del diámetro no parece viable dado que implicaría también una modificación de la tobera. La otra línea de trabajo consiste en el diseño de propulsores completamente nuevos, incluyendo los diseños más innovadores (van Haaren [8,9]). Finalmente, la tercera línea consiste en diseñar modificaciones locales de bajo coste de la zona de popa para corregir aspectos del flujo que condicionen un incorrecto funcionamiento del propulsor.

Una vez completadas las líneas de trabajo, se evaluarán las soluciones propuestas, no sólo desde el punto de vista técnico, sino que también se tendrán en cuenta los costes de las alternativas y su estrategia de mantenimiento futuro. Las alternativas se ensayarán en canal y se estudiarán mediante CFD para validar los diseños, y se procederá a su construcción (o modificación de los antiguos) e instalación en los buques ejemplo. Unas segundas pruebas de mar servirán para cuantificar la mejora del rendimiento del sistema propulsor. Esta información es fundamental para la realización y mejora del modelo tecno-económico. El proyecto ha sufrido algunos retrasos por dificultades en la definición de formas ya comentadas en la sección

6.3, y por las dificultades para realizar alguna de las pruebas de mar necesarias, lo que ha condicionado una nueva organización de los paquetes de trabajo.

8 CONCLUSIONES

Se ha presentado en esta ponencia el proyecto SUPERPROP, coordinado por el Grupo de Investigación del Canal de Ensayos Hidrodinámicos (CEHINAV) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (ETSIN). Es el primer proyecto financiado por la UE en el cual este grupo ha conseguido subvención y lidera un consorcio de 9 participantes de diferentes países para realizar actividades de I+D que afectan a sectores de gran importancia para el estado español, como son el de buques de pesca y remolcadores. Se han descrito las características generales de este tipo de proyectos y se ha tratado de reflejar las dificultades que supone su coordinación para cualquier grupo de investigación, pero también su importancia para la financiación de actividades de I+D+i.

Para presentar el proyecto se han desgranado las tareas que se están realizando en los diferentes paquetes de trabajo que lo conforman, y se espera que los resultados de los ensayos (PT4) y de la toma de datos en los buques ejemplo (PT5) permitirán realizar una primera aproximación a lo que será un modelo tecno-económico completo del mantenimiento de buques pesqueros y remolcadores desde el punto de vista hidrodinámico; lo que podría ser de gran utilidad para los armadores ante el escenario energético en el que estamos inmersos y las expectativas en el mismo para los próximos años. De hecho se han explicado con cierto detalle los fundamentos de dicho modelo tecno-económico y se ha constatado la dificultad de generalizar los resultados que se espera obtener a partir del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del artículo queremos agradecer el sensacional trabajo de apoyo del equipo de documentación de la biblioteca de la ETSIN, y en particular, para este artículo, de José Luis Medel y Ramón Rodríguez. Sin su ayuda, la tarea de revisar la literatura de un modo exhaustivo hubiese sido imposible; muchas gracias a ellos en especial.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Andino, R., Gestión de Proyectos Europeos de I+D, Revista Madri+d, 25, Sept 2004, Madrid, España.
- [2] Atlar M., Glover, E.J., Candries, M., Mutton, R.J. and Anderson C.D., 2002, The Effect of a Foul Release Coating on Propeller Performance, ENSUS 2002: International Conference on Marine Science and Technology for Environmental Sustainability, University of Newcastle-upon-Tyne, 16-18 December 2002, Newcastle-upon-Tyne.
- [3] Benford, H., 1982, *A second look at measures of merit for ship design*. Report, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan.
- [4] Bohlander G. S. 1991. *Biofilm effects on drag: measurements on ships. Polymers in a Marine environment*, 23-24 October 1991
- [5] Callow ME, Callow JE., 2002, *Marine biofouling: a sticky problem*. *Biologist*. 49(1):10-4.
- [6] Candries, M., Atlar, M., Mesbahi, E. and Pazouki, K. (2003), *The measurement of the drag characteristics of Tin-free Self-Polishing Co-polymers and Fouling Release coatings using a rotor apparatus*. *Biofouling*, Vol. 19 Supplement: Papers of the 11th International Conference on Marine Corrosion and Fouling, San Diego, Cal., 21-26 July 2002, pp. 27-37.
- [7] Clare, A., 1995, *Natural Ways to Banish Barnacles*. *New Scientist* Feb 18: 38-41.
- [8] Haaren, M.J. van. 2002. *Replacement of fixed pitch propellers*. *Marine News* No. 1-2002, pp 26-31
- [9] Haaren, M.J. van. 2005. *Replacing fixed pitch propellers - more possibilities for improvements*. *Marine News* No. 1-2005, pp 34-38.

- [10] Holm, E.R., Schultz, M.P., Haslbeck, E.G., Talbott, W.J., Field, A.J., 2004, *Evaluation of Hydrodynamic Drag on Experimental Fouling-release Surfaces, using Rotating Disks*, Biofouling, vol. 20, 4-5.
- [11] Holtrop, J. 1982. *A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion Data*, International Shipbuilding Progress, Vol. 29, No. 335, Jul 1982.
- [12] Kaizu, G., 1992. *Propeller Modification for Recovery of Decreased Propeller Shaft Speed*. Bulletin of the M.E.S.J., Vo1. 20, No.2, 1992
- [13] Kresic, M. & Haskell, B. 1983. *Effects of Propeller Design-Point Definition on the Performance of the Propeller/Diesel Engine System with Regard to In-Service Roughness and Weather Conditions*. SNAME Transactions, Vol. 91, pp.195-224.
- [14] O'Dogherty, García-Gómez, 1976. *Modificación de hélices, para una utilización satisfactoria a lo largo de la vida del buque*. Ingeniería Naval. October 1976, p. 628.
- [15] Organización Marítima Internacional, Ed., 1997, *Protocolo de Torremolinos de 1993 relativo al Convenio internacional de Torremolinos para la seguridad de los buques pesqueros, 1977*, Conferencia Internacional sobre Seguridad de los Buques Pesqueros, 1993. Torremolinos, España.
- [16] Organización Marítima Internacional, Ed., 2004, SOLAS : edición refundida del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974, y su Protocolo de 1988 : artículos, anexos y certificados.
- [17] Pérez-Rojas, L., Alvarez-Brasa, P., Gallego-García, J., Souto-Iglesias, A, López-Pulido, R., Miguel Montero, F., Molina Torres. A., *Un proyecto europeo de I+D: El Proyecto SUPERPROP*. Jornada Técnica sobre Mejoras Tecnológicas y el I+D en la Propulsión de Buques de Pesca. International Shipbuilding and Maritime Industry Exhibition, NAVALIA. Vigo (España), 23-25 de Mayo, 2006. También en Ingeniería Naval, 839, July-August 2006.
- [18] Salz, P, 2006, Annual Report 'Economic Performance of Selected European Fishing Fleets', Ed: 2005, Agriculture Economics Research Institute (LEI-DLO), Netherlands.
- [19] Svensen, T. 1982. *Techno-economic reasons for selecting fuel saving priorities. Paper presented at the Conference on Priorities for Reducing the Fuel Bill*. Institute of Marine Engineers.
- [20] Townsin, R.L. et Svensen, T. 1980. *Monitoring speed and power for fuel economy*. Shipboard Energy Conservation'80 Symposium SNAME, 22-23 Sept. 1980
- [21] Townsin, R. 2002 *The Ship Hull Fouling Penalty*. Biofouling 2003 Vol.19 pp 9-15.