

DISEÑO DE MODELOS DE VEHÍCULOS MARINOS AUTOMATIZADOS

Luis Pérez Rojas lperezr@etsin.upm.es

Amable López Piñeiro alopez@etsin.upm.es

Miguel Angel Herreros Sierra maherreros@etsin.upm.es

Jose M^a Riola Rodríguez riola@cehipar.es

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. Universidad Politécnica de Madrid

Avda. Arco de la Victoria s/n 28040 Ciudad Universitaria MADRID

XXV JORNADAS AUTOMÁTICA '04 Ciudad Real, Septiembre 2004

Resumen:

Se aborda en este trabajo el diseño de unos modelos físicos correspondientes a buques con el fin de validar los estudios de control de este tipo de vehículos que actúan en cooperación.

En principio, se analizan y definen los posibles escenarios de actuación y en base a estos resultados se diseñan, obteniéndose las características principales y las formas correspondientes, los buques adecuados.

INTRODUCCIÓN.-

El comportamiento en la mar es, incomprensiblemente, uno de los aspectos menos estudiados a la hora de afrontar el proyecto del buque. El fin último de estos estudios es el correcto diseño de las formas para que el buque pueda cumplir perfectamente la misión que le ha sido encomendada. Los primeros trabajos en este sentido se basaron en las hipótesis de St. Denis y Pierson [1].

Un gran número de problemas que afectan a la correcta explotación del buque pueden ser previstos y corregidos "a priori" mediante un estudio de comportamiento, desde los que pueden provocar una reducción voluntaria o involuntaria de velocidad o cambio de rumbo indeseados ("slamming" embarque de agua en cubierta, emergencia del propulsor, etc.) hasta los que repercuten gravemente en el trabajo de la tripulación (aceleraciones excesivas) pasando por otros mucho más concretos como las posibles dificultades de un helicóptero para aterrizar en la plataforma de un atunero en determinadas condiciones de mar. [2]

Aunque en la historia reciente de la ingeniería naval se han desarrollado modelos teóricos aproximados para el estudio de los movimientos del buque ante la acción de las olas, sigue siendo una de las mejores soluciones para este tipo de estudios los

ensayos con modelos de buques en un "canal de ensayos".[3]

Paralelamente, estos ensayos con modelos pueden ser utilizados para validar herramientas matemáticas en desarrollo [4] y es en este aspecto en donde los modelos de buques van a ser considerados en el presente trabajo.

Los aspectos de control hidrodinámico de un barco encierra todos los aspectos encaminados a mantener la trayectoria, la velocidad y el rumbo del buque con respecto a la mar tanto en aguas abiertas como abrigadas en donde su posicionamiento y el mantenimiento de una cierta situación alcanza una significativa relevancia. El control incluye el arranque del barco, el mantenimiento de su rumbo, sus viradas, la disminución de la marcha, su parada y su marcha atrás y, en el caso de los submarinos, su inmersión. Para una mayor información en este campo se remite al lector al conocido libro "Principles of Naval Architecture". [5]

Para estas operaciones de control de movimientos se dispone de una serie de actuadores adecuados al tamaño y a la forma del buque. Para el mando de estos actuadores es preciso un sistema de control que reciba la información de la situación del buque a partir de unos sensores específicos.

Entre los actuadores podemos citar el sistema de propulsión, las hélices transversales y los timones y dentro de cada uno de ellos es posible considerar distintos tipos o versiones.

Un aspecto adicional encierra este trabajo, el coordinar los controles de dos o más unidades que deben realizar una cierta actuación en común.

El trabajo se inicia con un análisis de los escenarios en los que se van a llevar a cabo estas actuaciones en cooperación para continuar con la definición de los distintos buques protagonistas de este tipo de operaciones.

Esta investigación se enmarca en un proyecto de I + D más ambicioso al amparo de los Programas Nacionales del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003 programa nacional. Su título es “Automatización de vehículos marinos para actuaciones en cooperación” y participan equipos investigadores de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, Universidad Complutense de Madrid y Universidad de Cantabria, siendo continuación en parte de anteriores proyectos [6,7]

La finalidad de este proyecto es adquirir y desarrollar técnicas y conocimientos que permitan el desarrollo de vehículos marinos que realicen trabajos en cooperación, centrándose en el desarrollo de sistemas y algoritmos de control para la maniobrabilidad y el posicionamiento dinámico de diversos tipos de buques en condiciones adversas y en el diseño e implementación de estrategias para el comportamiento autónomo y cooperante de los vehículos.

LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS

Para el estudio y validación de los sistemas de control en que se basa este proyecto se proponen tres escenarios de actuaciones diferentes, que en algunos casos pueden ser complementarias, y que por las dificultades intrínsecas que conllevan estas críticas maniobras hacen necesario el desarrollo de un control que permita realizarlas dentro de un determinado margen de seguridad.

Escenario 1: escenario de salvamento o auxilio a un buque averiado.

La base de este escenario es la del mantenimiento de la posición de un buque de salvamento respecto de la de un buque que ha sufrido una avería que le ha dejado sin propulsión a merced de las olas.

El buque de salvamento deberá mantenerse en una posición fija en distancia y demora respecto del averiado, pese a los bruscos movimientos del buque averiado y de su deriva.



Este escenario es aplicable a multitud de tareas en alta mar; necesidad de salvamento y asistencia, lucha contra incendios, rescate y socorro de pasaje y tripulación o en general cualquier situación que requiera que un buque se mantenga a una determinada distancia de seguridad de otro pero suficientemente cercano para poder ser eficaz en el uso de los sistemas contra incendios, lanzamiento de cabos y estachas, remolque, envío de personal técnico de ayuda, etc.

El fin de este escenario es el de conseguir la optimización de un sistema de control robusto y predictivo que sitúe al buque asistente manteniendo su posición dinámicamente respecto al buque al que se deberá auxiliar, en un medio de condiciones ambientales y climatológicas adversas.

Escenario 2: escenario de remolque.

La base de este segundo escenario es la maniobra de remolque en que uno o dos remolcadores arrastran a un buque de mucho mayor tamaño, proporcionándole la propulsión, el desplazamiento y la maniobrabilidad que dicho buque por si solo no sería capaz de realizar.



Esta maniobra se dificulta en alta mar debido al efecto de las olas, no sólo por la resistencia adicional producida, sino por la manifestación de acercamiento y alejamiento que provocan los barcos entre ellos y con ello, una variación muy significativa de la flecha que representa una variabilidad del margen de seguridad, en función de la situación que el remolcador y el remolcado ocupen en las crestas y senos de las olas en cada instante.

El fin de este escenario es el de conseguir la optimización de un sistema de control robusto y predictivo que permita que el buque remolcador mantenga con tensión constante a la catenaria del remolque en un medio de condiciones ambientales y climatológicas adversas.

Escenario 3: escenario de abarloadamiento o navegación en proximidad.

La base de esta tercera tarea nace de la necesidad de trasladar un posible accidentado a un buque hospital, la necesidad de aprovisionar equipos, petróleo o carga en general en alta mar sin necesidad de acceder a puerto, de buques de pesca que necesitan mantener la posición respecto a otro en un determinado arte de pesca, etc.



Este escenario se centra en el sistema de control del buque que ha aproximado que le permita mantener la separación con pequeñas caídas tocando el timón pese a la interacción que experimentan ambos buques por la presencia del otro que se expresa en un incremento de la resistencia y un efecto de succión entre ambos.

El fin de este escenario es el de conseguir la optimización de un sistema de control robusto y predictivo que sitúe al buque asistente manteniendo su posición dinámicamente respecto al otro buque en un medio de condiciones ambientales y climatológicas adversas.

CARACTERÍSTICAS DE LOS BUQUES A CONSTRUIR

Contemplados los escenarios considerados en el apartado anterior, se estima la necesidad de construir un modelo de petrolero que por razones obvias podemos calificar como de porte semejante al “Prestige” y dos buques de salvamento de características similares a las que recientemente han sido contratadas por la Sociedad Estatal de Salvamento Marítimo (SASEMAR).

Si se toman como punto de partida las dimensiones del “Prestige” para el modelo del buque petrolero, se tendrá:

Eslora.....	243 m
Manga.....	34,4 m
Calado.....	14 m

En cuanto a los buques de salvamento se han elegido de muy similares dimensiones pero con sistemas de propulsión distintos, el primero lleva un sistema tradicional de dos ejes con hélices en tobera y el segundo dos propulsores azimutales. Las dimensiones de estos buques son las siguientes:

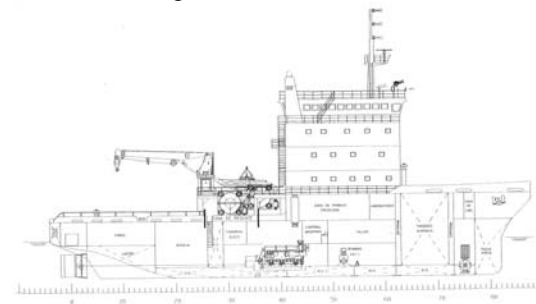
Buque 1. Hélices en tobera:

Eslora.....	55 m
Manga	14 m
Puntal.....	6,5 m
Desplazamiento.....	2390 t

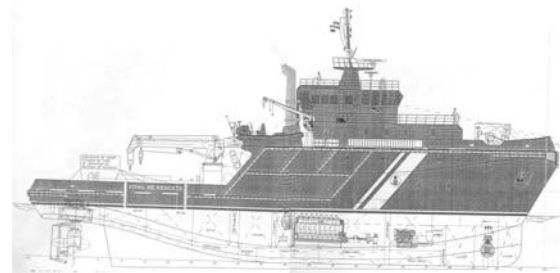
Buque 2.- Propulsores azimutales:

Eslora.....	56 m
Manga	15 m
Puntal.....	7 m
Desplazamiento.....	2790 t

En ambos casos los buques llevan propulsores transversales a proa.



Buque 1



Buque 2

La planta propulsora del buque 1 consiste en dos motores propulsores, que a través de sendos embragues y engranajes reductores accionan sendas hélices de paso controlable a través de sus correspondientes líneas de ejes. Las hélices van en toberas y el sistema propulsivo se complementa con dos timones.

Frente a este equipo propulsor más tradicional, la planta propulsora del buque 2, estará compuesta por dos motores propulsores, acoplado cada uno de ellos, a través de una línea de ejes provista de

cardans, a un propulsor azimutal provisto de hélice de paso controlable.

Las posibles ventajas de este sistema propulsivo, según algunos autores, pueden enumerarse como:

- Mayor facilidad para conjuntar velocidades mínimas, entre 1 y 2 nudos, con una alta capacidad de maniobra para operaciones de recogida de residuos.
- Mayor facilidad para realizar, tanto las maniobras de remolque en puerto como las de salvamento de altura
- Mayor rapidez de respuesta al sistema de posicionamiento dinámico
- Mayor flexibilidad en la utilización conjunta de la propulsión con otros servicios del buque.

Los buques 1 y 2 llevarán como elemento adicional de control hélices transversales en proa. Este tipo de actuadores están situados en el interior de un "túnel" o cilindro cuyo eje está orientado en la dirección estribor-babor. Su accionamiento se realiza a partir de un motor eléctrico o hidráulico, siendo muy rara la utilización de un motor diesel, debido, entre otras cosas, al escaso espacio disponible para el mismo.

Las hélices transversales producen un chorro de agua que atraviesa el casco del barco de babor a estribor o viceversa, produciendo grandes turbulencias en el entorno. Debido a ello, no suelen utilizarse en condiciones más comunes de navegación: aguas libres o restringidas, puesto que reducen extraordinariamente el rendimiento del propulsor principal.

Son en cambio muy útiles, cuando como es el caso en los escenarios comentados anteriormente, el barco pasa por frecuentes períodos de maniobra: fondeos, atraques, desatraques, etc. a bajas velocidades.

El empuje de estas hélices transversales, en inglés "thrusters", puede estimarse en función de la velocidad de guiñada del buque y de su eslora y calado por la siguiente relación propuesta por Hawkins [8],

$$T = w_0^2 \cdot L^3 \cdot H / M_0^2$$

Donde T es el empuje en libras, L la eslora entre perpendiculares en pies, H el calado en pies y w_0 la velocidad de guiñada del buque en grados/s. M_0 es un parámetro en función de la situación del propulsor a lo largo de la eslora. La velocidad de guiñada se puede tomar del trabajo de English [9], en función del desplazamiento.

Con el fin de que los modelos sean manejables dentro de un cierto orden, se ha elegido una escala de 54 con lo que las esloras de los tres modelos serían:

Petrolero.....	4,5 m
Buque 1.....	1,02 m
Buque 2	1,04 m

Recordando brevemente la teoría de modelos[10], para que los fenómenos que aparecen en el modelo se puedan extrapolar directamente a la escala real se deben mantener igual ciertos números adimensionales que se asocian a un cierto fenómeno físico. Así tenemos el número de Froude que rige los fenómenos gravitacionales y por ello las olas que genera el buque o el número de Reynolds que rige los fenómenos viscosos y el régimen del fluido, laminar o turbulento.

Considerando que en los movimientos del buque el efecto de la viscosidad del agua va ser de segundo orden, se tendrá en cuenta únicamente el número de Froude (\mathfrak{F}) cuya expresión es,

$$\mathfrak{F} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

donde V es la velocidad en m/s, "g" la aceleración de la gravedad y L la eslora del buque en m.

Si igualamos los números de Froude del buque y el modelo lo que significa que los efectos gravitacionales que se ejercen en el buque real son semejantes a los que se ejercen en el modelo, las velocidades del modelo y del buque, para la escala elegida, estarán relacionadas de la siguiente forma,

$$V_{buque} = V_{modelo} \cdot \sqrt{escala} = 7,35 \cdot V_{modelo}$$

De esta forma, para una velocidad estimada para los buques de salvamento de 15 nudos, los modelos deberán ensayarse a una velocidad de 1,05 m/s, lo cual se convierte en una velocidad muy cómoda de ensayar.

En cuanto al material de construcción de los modelos, el petrolero que no tiene problemas de peso, se construirá en madera de samba, fácil de trabajar. Por lo que respecta a los buques de salvamento, el peso del modelo del buque de menor desplazamiento será del orden de los 15 kg. Dado los equipos propulsión y control que debe llevar, este desplazamiento exige la construcción de los modelos en poliéster reforzado con fibra de vidrio.

CONSIDERACIONES FINALES

A modo de conclusiones se pueden señalar las siguientes consideraciones finales:

- En el ámbito de un Proyecto de I+D sobre el control de vehículos marinos para actuaciones en cooperación, se han escogido tres escenarios en donde estas situaciones de cooperación alcanzan una especial relevancia.
- Con el fin de validar algoritmos de control se han diseñado tres buques: un petrolero y dos buques de salvamento y se ha determinado una escala adecuada para los modelos a construir.
- Los dos buques de salvamento tienen dos sistemas de propulsión distintos: hélices en toberas con timones uno y propulsores azimutales el otro.
- Paralelamente estos buques de salvamento incorporan hélices transversales de proa.
- Exigencias de peso de los modelos hace que mientras el modelo de petrolero será de madera, los modelos de los buques de salvamento serán de plástico.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo expuesto en este artículo se incluye en el Proyecto CPI2003-09745-C04-04 financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a quien los autores y demás miembros del equipo investigador quieren agradecer su apoyo.

REFERENCIAS

- [1] St. Denis, M. and Pierson, W.J., "On the motions of ships in confused seas". SNAME Transactions, Vol. 61. 1953.
- [2] Pérez Rojas, L. "Estudio teórico-experimental del comportamiento de un buque en la mar". IV Seminario Internacional de buques pesqueros y I Congreso Internacional de Ingeniería Oceánica. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Octubre 1995.
- [3] Pérez Rojas, L., "Diez años de I+D en el Canal de la ETSIN". XXXVI Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval. Cartagena. Noviembre 1999.
- [4] Pérez Rojas, L., Sánchez Sánchez, J.M., Zamora Rodríguez, R., Bermejo, R. Y Souto Iglesias, A., "La calidad en el software. Validación de CFD (Computational Fluid Dynamics)". Ingeniería Naval. Enero 1998.
- [5] Lewis, E.L., "Principles of Naval Architecture", publicado por S.N.A.M.E. Edición de 1989 en tres tomos.
- [6] De la Cruz, J.M., "Control Robusto e Inteligente de Buques de Alta Velocidad", Proyecto Coordinado CICYT, TAP97-0607-C03-01.
- [7] Aranda, J., "Control en Seis Grados de Libertad de Fierres Rápidos para Mejora de Seguridad y Confort". Proyecto Coordinado MCYT, DPI2000-0386-C03-01.
- [8] Hawkins, S. et al., "The use of manoeuvring propulsion devices on merchant ships". Robert Taggart, Inc. report RT - 8518. Contract MA-3293. January 1965.
- [9] English, J.W. "Further considerations in the design of lateral thrust units". International Shipbuilding Progress, Vol. 14, nº 156. August 1967.
- [10] Pérez Rojas, L. y Abad Arroyo, R., "Prácticas de Teoría del Buque". Sección de Publicaciones E.T.S.I.Navales. Ed. 2000.