

XL SESIONES TECNICAS DE INGENIERÍA NAVAL
“Reparaciones/Transformaciones Navales y Acuicultura”
Islas Canarias, Noviembre 2001

***“ El punto de vista hidrodinámico del alargamiento de buques.
Experiencias en el Canal de la ETSIN.”***

D. José Antonio Aláez Zazurca, Dr. Ing. Naval
D. Luis Pérez Rojas, Dr. Ing. Naval
D. Ricardo Abad Arroyo, Dr., Ing. Naval
D. Francisco Pérez Arribas, Dr. Ing. Naval
D. Antonio Souto Iglesias, Ing. Naval

Resumen.

Quizás parezca un atrevimiento el reducir el análisis hidrodinámico a la variación de un único parámetro cuando siempre se ha dicho que el buque es el fruto de un “compromiso” por las innumerables variables que intervienen en su diseño.

En este trabajo se presentan algunas de las experiencias que en los últimos años se han realizado con respecto al alargamiento de buques bajo un punto de vista hidrodinámico en el Canal de Ensayos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid.

Junto con los tradicionales ensayos de canal y dado que los CFD (Computational Fluids Dynamics) constituyen hoy en día una herramienta para el diseño hidrodinámico de buques, también se incluye su utilización en el análisis de los alargamientos de una determinada carena.

Finalmente se presentan unas contribuciones sobre la acción del alargamiento en las cualidades de maniobrabilidad y del comportamiento en la mar.

Abstract

It is dangerous to reduce the hydrodynamic analysis to a single parameter when everyone knows that a ship is a “compromise” due to the numerous variables that constitute a ship design.

The work done in the Canal de Ensayos of the Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Navales in the Universidad Politécnica de Madrid dealing with the ship enlargement under the hydrodynamics point of view, with an special mention to the Computational Fluid Dymanics tools.

With the traditional model tests and as the CFD are at present a very useful tool in the ship design, both ways are included in the analysis of the increasing length of a specific hull.

Finally, the effects of the increasing length in a ship in the manoeuvrability and seakeeping are also included.

Indice.

- 1.- Introducción (El aspecto hidrodinámico de la eslora)
 - 2.- La utilización de los CFD en el alargamiento de Buques
 - 2.1.- El CFD de la ETSIN
 - 2.2.- Estudio de un ferry de alta velocidad
 - 2.3.- Alargamiento de buques atuneros
 - 3.- Alargamientos de lanchas rápidas
 - 4.- Consideraciones sobre la maniobrabilidad
 - 4.1.- Efecto de la eslora y de la manga
 - 4.2.- Efecto de la eslora y del calado
 - 4.3.- Efecto global de las variaciones
 - 5.- Consideraciones sobre el comportamiento en la mar.
 6. - Conclusiones.
- Agradecimientos
- Bibliografía

1.- Introducción.-

La visión del tren de olas de un barco, por ejemplo desde un avión, es una imagen que encierra una cierta repetitividad y por qué no decirlo una gran belleza. El tren de olas que rodea a un buque que avanza con velocidad constante en mares tranquilas no cambia con el tiempo. Este tren de olas se mueve a la velocidad del buque por lo que a la vista de un observador que se mueva con esta velocidad, el conjunto buque-mar permanece estacionario.

Para formas de buques convencionales en aguas profundas, la longitud del tren de olas coincide sensiblemente con la longitud que proporciona la teoría de la ola trocoidal para olas de gravedad en aguas profundas. Esta teoría señala que la velocidad de propagación de esta ola es función de su longitud de ahí que podamos relacionar la longitud de la ola que genera el buque con su velocidad.

Si consideramos este problema dentro del análisis dimensional, la longitud de ola adimensionalizada es función de la velocidad adimensional, el número de Froude, resultando que el tren de olas de buques similares (geométricamente iguales) es igual para un número de Froude determinado.

Analizando la curva del coeficiente residual en función del número de Froude, se aprecia que para valores bajos de este parámetro la variación de este coeficiente es pequeña manteniéndose prácticamente constante para aparecer a continuación una serie de jorobas (crestas y valles) y posteriormente incrementarse de forma muy significativa.

Lo expresado en los dos párrafos anteriores nos permite relacionar la eslora del buque con el hecho de que para una determinada velocidad, aparezcan o no estas jorobas. De esta forma se observa que las crestas en la curva del coeficiente residual se produce cuando en la popa la superficie de la ola forma un valle y recíprocamente, aparecen valles en la curva cuando el nivel de agua en la popa es una cresta.

Una interpretación física de lo anterior es que la presión aumenta cuando el nivel de agua es alto y viceversa, por lo que al haber una cresta en popa aumenta la presión en esta parte del buque lo que se opondría a la resistencia y ayudaría al avance del barco dando lugar a una cierta disminución de la resistencia (un valle en la curva).

Son muy conocidos los experimentos realizados por Froude [1] y por Taylor [2] sobre un modelo en el que se modifica solamente el alargamiento del cuerpo cilíndrico. Los resultados mostraron que para diferentes velocidades, los resultados del coeficiente de resistencia residual en función de la longitud del cuerpo cilíndrico, presentan unas tendencias semejantes con valles y crestas separadas la longitud de la ola correspondiente a la velocidad considerada confirmando el hecho anteriormente mencionado que los olas generadas por un buque tienen la longitud que coincide con las de las olas de gravedad en aguas profundas. También se pone de manifiesto que las amplitudes de estas oscilaciones de valles y crestas se incrementan con la velocidad. Este hecho también corrobora otra realidad fácilmente perceptible por el observador, la alturas de las olas aumentan rápidamente con la velocidad.

Todo lo anterior pone de manifiesto la relación que existe entre la eslora y la resistencia al avance de un buque sobre todo a través de la componente de la resistencia por formación de olas. Y que además esta relación es mucho más complicada de lo que inicialmente se pueda pensar.

El presente trabajo recoge las últimas experiencias que en el campo de la variación de la eslora se han realizado en el Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales no sólo en el campo experimental sino principalmente en el campo de los modelos matemáticos, los denominados CFD [3].

Los aspectos de la maniobrabilidad y el comportamiento en la mar también son contemplados ante variaciones de la eslora en un buque ferry de alta velocidad.

2.- La utilización de los CFD en el alargamiento de Buques.

En esta parte del trabajo se pretende exponer los resultados correspondientes a diferentes estudios CFD (Computational Fluid Dynamics) utilizando la herramienta informática desarrollada por el Canal de Ensayos de la ETSIN y objeto de la tesis[4]. Estos estudios consisten en una variación paramétrica de formas, concentrándonos en aquellas variaciones relativas a la eslora, y por otro lado en un estudio específico del alargamiento de un atunero.

2.1.- El CFD de la ETSIN

El código de la ETSIN calcula el flujo potencial con superficie libre alrededor de un buque mediante el método de las fuentes de Rankine con una variante más general del método propuesto por Dawson [5]. La generalización consiste en poder panelizar arbitrariamente la superficie libre, sin necesidad de que sean líneas de corriente del problema sin superficie libre siguiendo las ideas de Bruzzone [6].

En una primera aproximación, el problema no considera la superficie libre. Para que ésta se mantenga plana, se coloca un reflejo de la obra viva por encima de la misma, de tal modo que la superficie libre se convierta en plano de simetría y así no se deforme. El flujo así calculado se utiliza como base una vez que se considera la superficie libre. Se linealiza la condición dinámica, que es básicamente la ecuación de Bernoulli, que no es lineal en la velocidad, tomando como base de dicha linealización el primer flujo calculado. La condición de radiación se impone de modo numérico, a través del uso de operadores up-wind, de modo similar a Dawson [5].

Los programas tienen la mayor parte de su código escrito en lenguaje C. Para cálculos importantes, se ha compilado el programa para LINUX y se ejecutan en un PC con procesador Pentium de última generación. En cuanto al preproceso y al postproceso, aunque inicialmente se desarrollaron códigos propios de mallado y visualización gráfica de resultados, se ha considerado oportuno el recurrir a un código comercial, usando pequeños interfaces para comunicar este programa con el módulo de cálculo. El programa elegido ha sido el GiD, desarrollado por el CIMNE de la Universidad Politécnica de Cataluña.

2.2.- Estudio de un ferry de alta velocidad

Actualmente los ferrys de alta velocidad constituyen un nicho de mercado muy importante en la construcción naval. En este contexto recientemente, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales ha realizado un Proyecto de investigación conjuntamente con la Empresa Izar de Construcciones Navales S.A. con ayudas de la Gerencia del Sector Naval.

Este buque tenía una eslora de 175 metros, una manga de 26 metros y un calado de 6, 5 metros, con una velocidad de servicio de 28 nudos. El trabajo está dedicado al estudio de la variación sistemática de las dimensiones principales del buque original, analizando su efecto en los campos de presiones y velocidades, en el tren de olas y en definitiva en la resistencia por formación de olas. Aquí solamente se exponen los resultados correspondientes a variaciones en la eslora. El estudio se realizó para la velocidad de proyecto del buque, que se corresponde a un número de Froude de 0.35.

Con objeto de obtener una primera indicación de cómo variar las formas para mejorar la resistencia por olas, se planteó conservar el desplazamiento y el coeficiente de bloque. Manteniendo el desplazamiento se puede considerar que el peso muerto no varía. Para conseguirlo se modifican homotéticamente las dimensiones principales (eslora, manga y calado), de tal forma que $LxBxT$ permanezca constante. Se puede demostrar que de este modo se conserva el desplazamiento y por consiguiente el coeficiente de bloque.

$$C_B = \frac{\nabla}{LBT}$$

Para que el análisis sea más intuitivo, la variación indicada se realiza fijando una de las dimensiones y variando las otras dos, manga y calado. Se seleccionaron para su estudio los siguientes casos:

① Casco original sin modificaciones, que sirve como referencia de los demás estudios.

② Fijando L. De este caso no se presentaron resultados.

③ Fijando B y variando L y T.

Caso	A	B	C	D	E	F	G	H
L	+5%	+3%	+2%	+1%	-0.99%	-1.96%	-2.91%	-4.76%
T	-4.76%	-2.91%	-1.96%	-0.99%	+1%	+2%	+3%	+5%

④ Fijando T y variando L y B.

Caso	A	B	C	D	E	F	G	H
L	+5%	+3%	+2%	+1%	-0.99%	-1.96%	-2.91%	-4.76%
B	-4.76%	-2.91%	-1.96%	-0.99%	+1%	+2%	+3%	+5%

A continuación se presentan los resultados referidos al CW. Los cálculos se han realizado, como ya se ha indicado, mediante un método potencial lineal de paneles tipo DAWSON. En este tipo de cálculos, en donde se invierte la mayor parte del esfuerzo es en un tratamiento riguroso de la geometría original que permita conseguir un mallado de la carena que sea capaz de reproducir todas sus características hidrodinámicas. Este proceso es delicado y requiere cierta experiencia. En las figura 2.1 se presenta un mallado de la carena y en la figura 2.2 las velocidades en el tren de olas de un caso determinado.

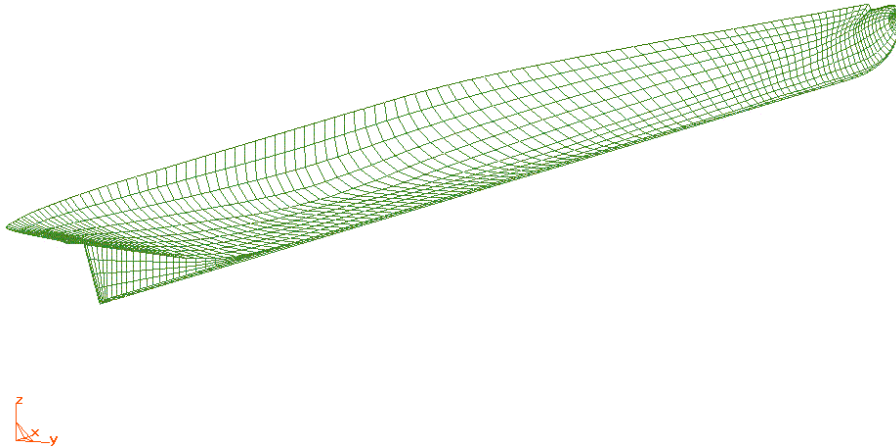


Figura 2.1. Mallado de la carena del buque en estudio.

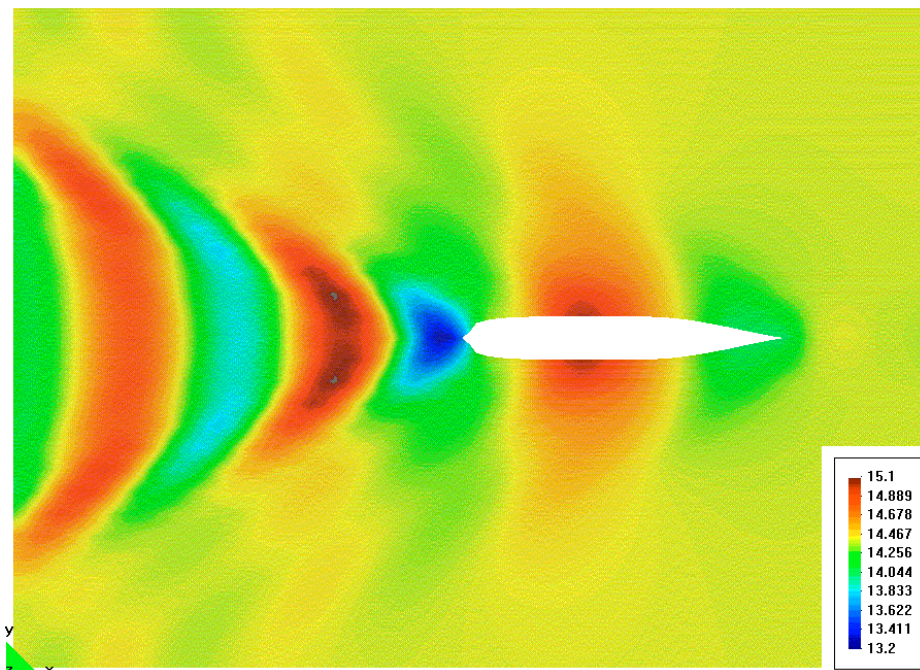


Figura 2.2. Velocidades en la superficie libre.

Al ser el número de Froude lo suficientemente alto tiene sentido obtener RW (resistencia por formación de olas) a través de la integración de presiones. Con este dato se calcula CW (coeficiente de resistencia por formación de olas) que permite comparar los distintos casos.

$$CW = \frac{R_w}{\frac{1}{2} \rho \cdot AWS \cdot V^2}$$

donde R_w es la resistencia por formación de olas, ρ es la densidad del agua del mar, AWS superficie mojada de carena y V la velocidad del buque. A continuación se exponen los resultados correspondientes a los diferentes casos.

③ Fijando B , y variando L , y variando también T de tal modo que se conserve el coeficiente de bloque. En la figura 2.3 presentamos los resultados correspondientes a los incrementos en el CW .

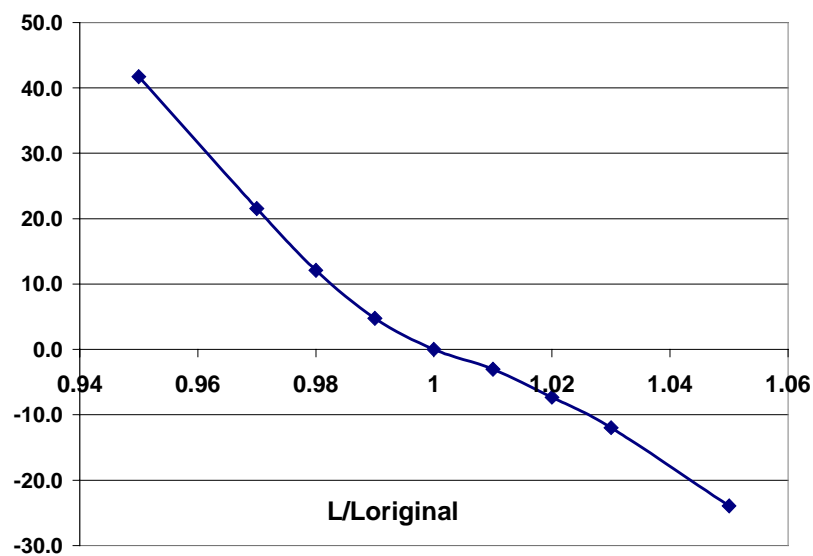


Figura 2.3. Incremento de CW (%) a B constante.

Como es razonable, a medida que aumenta la eslora, a igualdad de coeficiente de bloque, disminuye el CW y además lo hace de un modo significativo.

En la figura 2.4 se presentan los cortes de ola más próximos al casco en el caso 3H, el de mayor acortamiento, y el de mayor diferencia en el CW , un 41%. En ellos se aprecia la mayor amplitud de las olas en este último caso. Hay que recordar que la energía es función del cuadrado de la amplitud, y por tanto, variaciones no muy importantes en la amplitud producen variaciones bastante importantes en la resistencia.

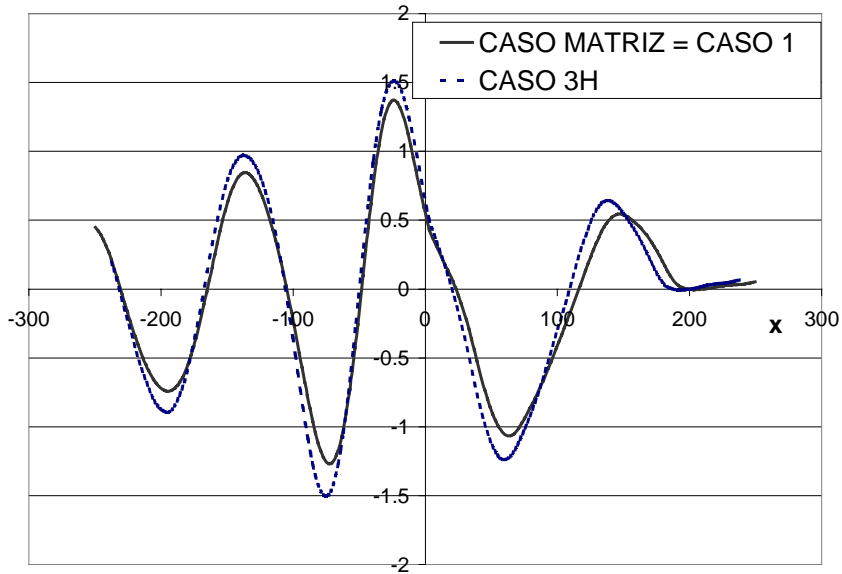


Figura 2.4. Comparativa de secciones longitudinales 0.5665 B para caso matriz y caso de disminución de 5% en L y aumento equivalente en T

④ Fijando T , y variando L , y variando también T de tal modo que se conserve el coeficiente de bloque. En la figura 2.5 se presentan resultados correspondientes a los incrementos en el CW.

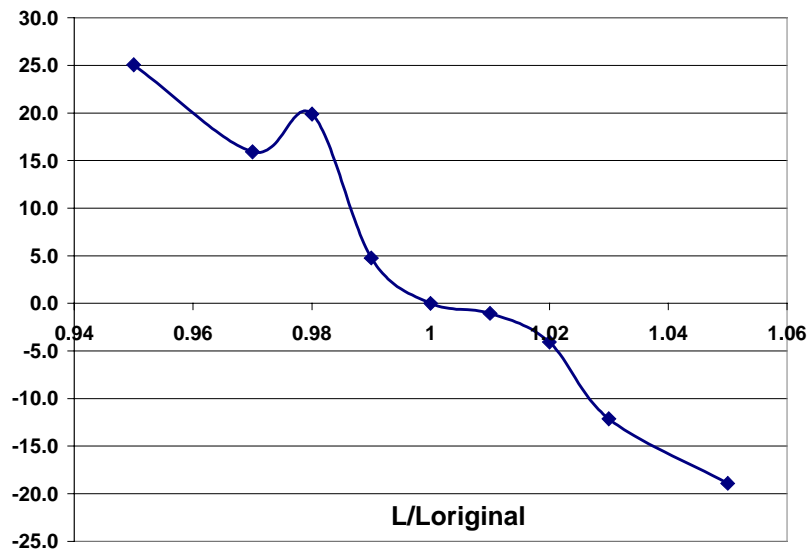


Figura 2.5. Incremento de CW (%) a T constante.

Dada la extraña distribución para disminuciones de manga en torno al 3%, se decidió hacer más puntos. Para ello se prepararon los siguientes casos intermedios:

⑤ Fijando T: Casos intermedios.

Caso	I	J	K	L	M
L	-1.48%	-2.44%	-3.38%	-3.85%	-4.31%
B	+1.5%	+2.5%	+3.5%	+4%	+4.5%

Incorporando los datos obtenidos a los anteriores se construye la figura 2.6.

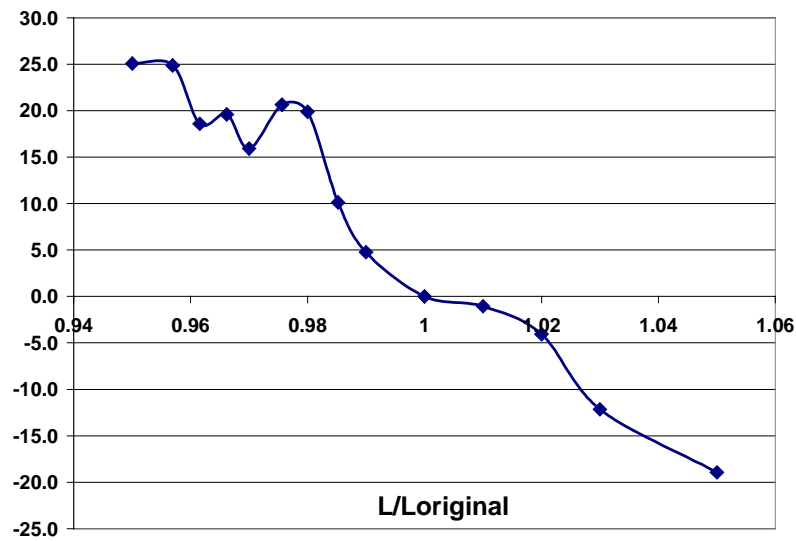


Figura 2.6. Incremento de CW (%) a T constante.

Las oscilaciones observadas invitan a cálculos más exhaustivos para tratar de explicarlas, pues puede haber una región de fuertes interferencias entre diferentes trenes de olas. En cualquier caso, se está en una zona de incremento de CW del 20%, demasiado grande, lo que resta interés a cualquier mínimo local que pudiésemos encontrar.

Se presentan en la figura 2.7 los cortes de ola más próximos al casco en el caso 4A, el de mayor alargamiento, y con una disminución en el CW de un 20%. En ellos se aprecia la menor amplitud de las olas en este último caso.

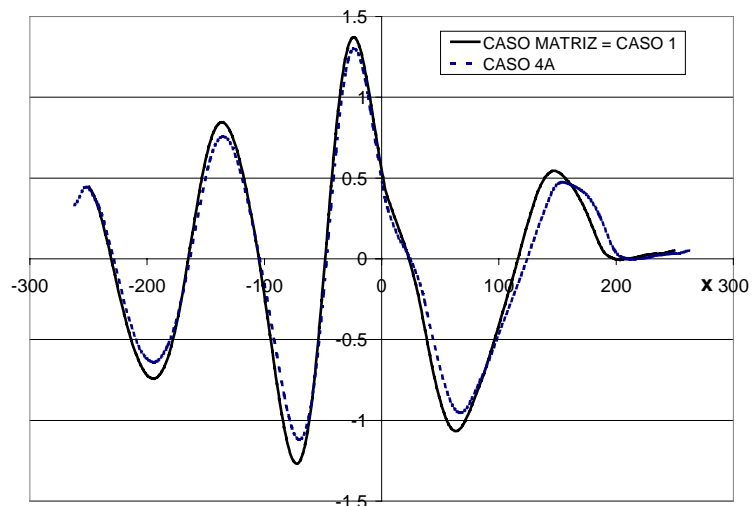


Figura 2.7. Comparativa secciones longitudinales 0.5665 B para caso matriz y caso de disminución de 5% en B y aumento equivalente en L.

De la presentado en los apartados anteriores se pueden señalar las siguientes consideraciones:

- Se confirma que la magnitud más decisiva en la resistencia es la eslora. Fijando esta magnitud, las variaciones de la resistencia por formación de olas varían entre un incremento del 7% y una disminución del 2%. Estas variaciones son pequeñas, ya que manteniendo fija la manga, las variaciones de la resistencia son mucho mayores. En este caso, para una disminución de eslora del 5%, la resistencia se incrementa en un 40%, mientras que su aumento en un 5%, hace reducirse la resistencia en un 25%, con las correspondientes variaciones del calado para mantener constante el coeficiente de bloque. Estos valores, aunque sea de una forma cualitativa, ponen de manifiesto la sensibilidad de la resistencia por formación de olas respecto de la eslora.
- Las variaciones de la resistencia ante el mantenimiento de un calado fijo siguen la misma tendencia que la variación de la resistencia con manga fija; si bien, los valores de incremento (25%) y de disminución (18%) son sensiblemente menores al caso anterior.
- Los resultados tanto de los perfiles de ola en cortes longitudinales como en distribuciones de presiones en la zona de proa del buque confirman la tendencia expresada por el coeficiente de resistencia por formación de olas, obtenido a través de la integración de presiones sobre el casco.

2.3.- Alargamiento de buques atuneros

En [7] se presentaron los resultados de las actuaciones relacionadas con el tratamiento hidrodinámico de las formas de proa de los buque satuneros bajo un punto de vista experimental. Uno de los casos presentados en aquel trabajo es abordado nuevamente mediante las técnicas de CFD y presentado en este apartado.

Recordemos brevemente el caso planteado. En 1996, con ocasión de un cambio en su equipo propulsor, se consideró oportuno evaluar un nuevo diseño de propulsor, así como proyectar unas nuevas formas de proa, incorporando las últimas tendencias de bulbos de proa. El estudio detenido de las formas existentes determinó la posibilidad de alargar el buque sin penalización en la propulsión y sin exigencia de aumento de potencia propulsora. En esta línea se realizaron ensayos de remolque en el Canal de Ensayos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales tanto en la carena original como en la carena alargada, demostrando la bondad de la propuesta de alargamiento efectuada.

Se presentan en la siguiente tabla los datos correspondientes a las dimensiones principales de ambas carenas

	Carena Original	Carena Modificada
Eslora entre perpendiculares (LPP):	66 m	71.35 m
Manga (B):	13.6 m	13.6 m
Calado (T):	6.35 m	6.285 m
Superficie mojada (AWS):	1383 m ²	1537 m ²

El cambio en la segunda carena supuso un aumento en la eslora entre perpendiculares de 5.35m, lo que supone un incremento de algo más del 8% en la misma. En las figuras 2.8 y 2.9 se aprecia en alzado las formas de la vieja y de la nueva proa, así como las velocidades sobre la carena en ambos casos. Se trataba de intentar reproducir con los programas los resultados obtenidos en canal. Los datos cualitativos se pueden apreciar en los cortes longitudinales del tren de olas en las velocidades sobre la carena y en otras representaciones gráficas de difícil reproducción en blanco y negro. En la figura 2.10 se aprecia como los cortes de la nueva carena tienen inferiores amplitudes.

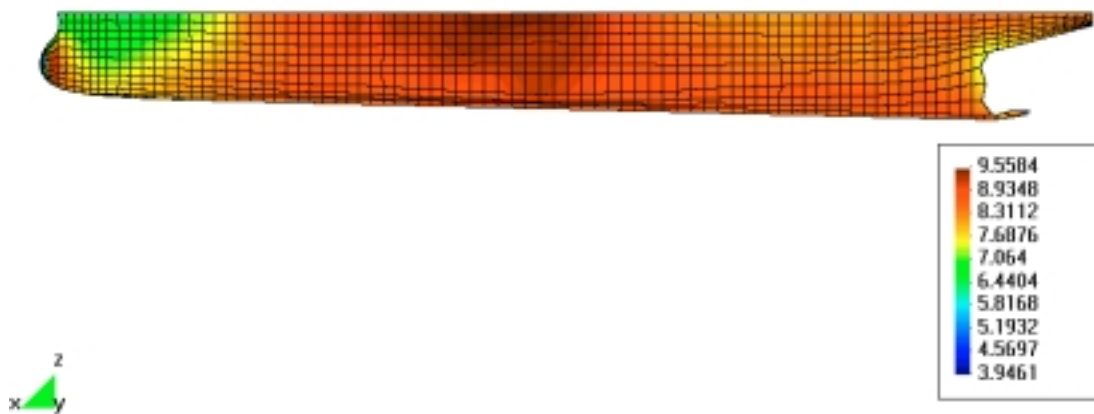


Figura 2.8. Distribución de velocidades para las formas originales a 16 nudos.

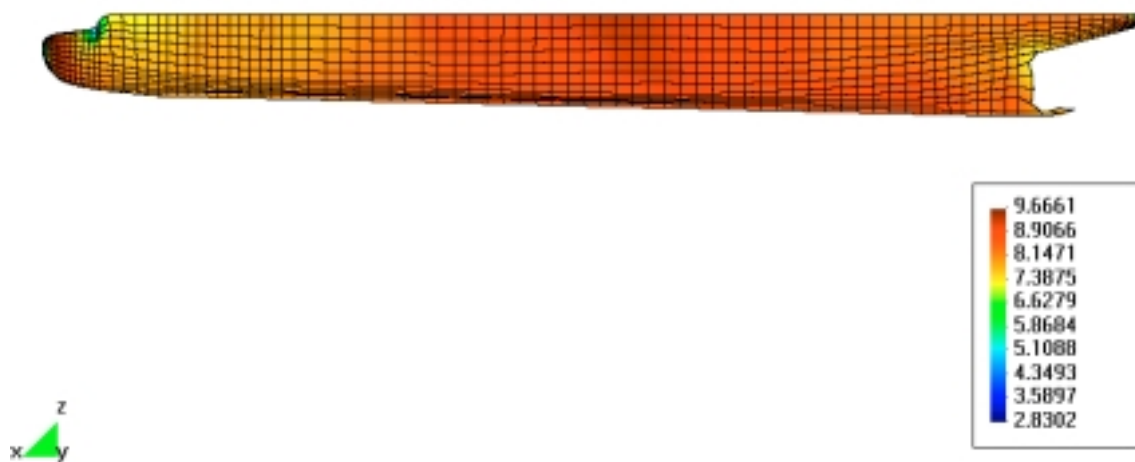


Figura 2.9. Distribución de velocidades para las formas modificadas a 16 nudos.

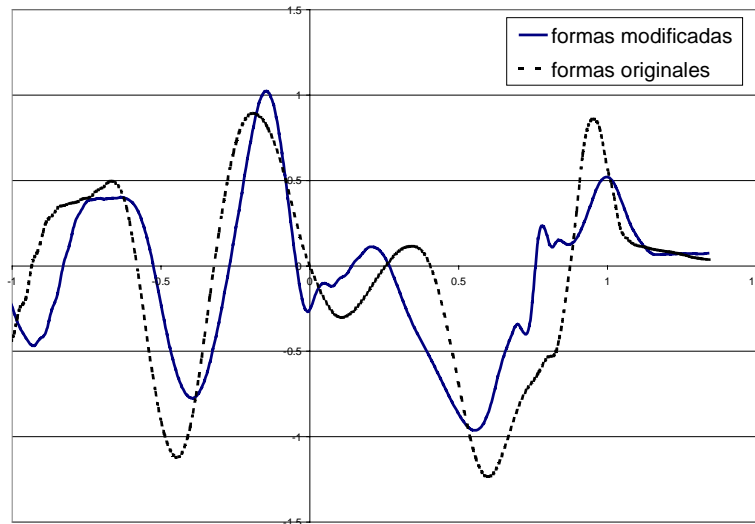


Figura 2.10. Comparativa secciones longitudinales 0.5665 B

Dado que se disponía de valores de canal para el CW, se obtuvo igualmente su valor para los dos modelos numéricos, a sabiendas de que estos cálculos no son muy fiables. En este caso, sorprendentemente, los valores obtenidos integrando las presiones sobre la carena fueron muy buenos, ajustando perfectamente los valores experimentales. Se aprecia la ganancia conseguida con las nuevas formas, con una disminución drástica del CW. Se presentan en la siguiente tabla estos valores:

	Cw CFD	Cw Experimental
Formas Originales	0.003946	0.003966
Formas Modificadas	0.002103	0.001855
$\Delta Cw/Cw$ original	- 46.7 %	- 53.2%

Como conclusión se puede decir que los resultados obtenidos por los cálculos numéricos siguen muy bien la tendencia observada en el canal, lo que anima a utilizar estos programas en una etapa previa a la construcción de modelos, para seleccionar aquel que tenga mejores propiedades hidrodinámicas. Con el modelo se estimará la curva de resistencia velocidad, que es la que resulta necesaria para dimensionar todo el sistema propulsivo, y obtener así las características de la hélice y la potencia necesaria para el motor principal.

3.- Alargamientos de lanchas rápidas

Los fenómenos hidrodinámicos que aparecen en buques de planeo son difíciles de captar por los CFD de ahí que en el canal de la ETSIN se hayan abordado estudios de alargamiento de lanchas rápidas mediante ensayos hidrodinámicos.

El problema planteado era el de analizar el comportamiento en resistencia de un alargamiento de 2 metros en una embarcación de 16 metros de eslora y 4,8 metros de manga para el entorno de velocidades de los 30 nudos.

En la figura 3.1 se puede apreciar una vista tridimensional de estas embarcaciones.

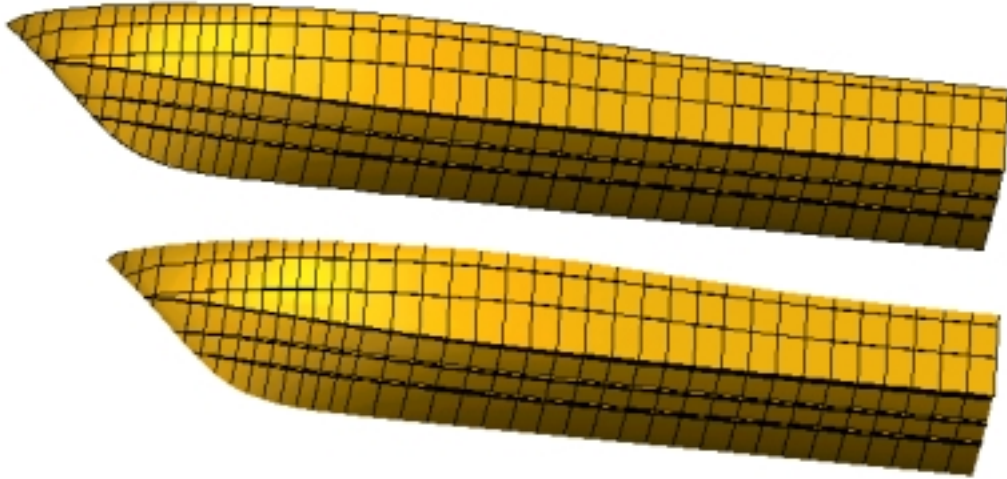


Figura 3.1. Vista tridimensional de las embarcaciones analizadas

Los resultados de las potencias de remolque se muestran en la figura 3.2.

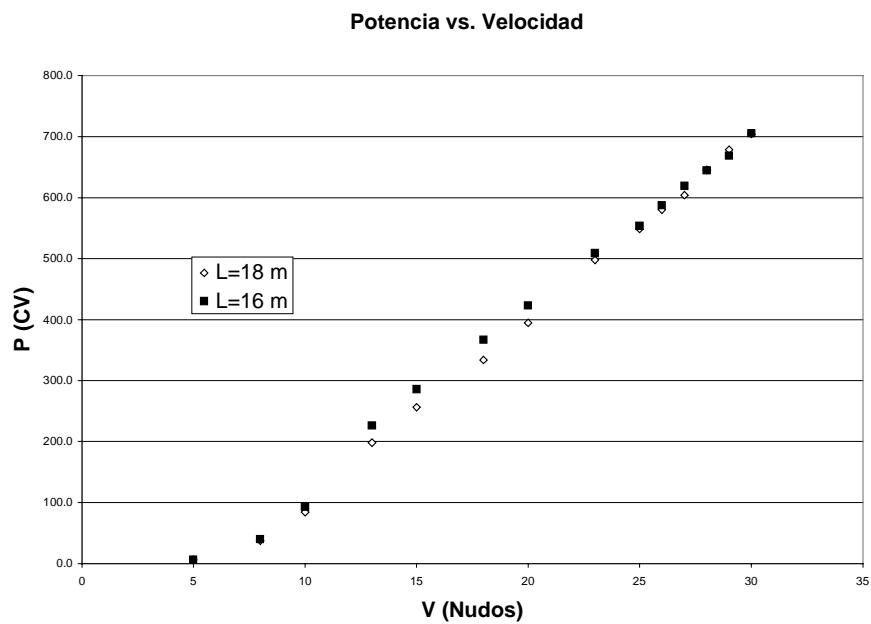


Figura 3.2. Potencia de remolque versus velocidad

En la gama de velocidad entre 9 y 25 nudos, las formas de 18 metros tienen un comportamiento mejor ante la resistencia que las de 16 metros. A partir de los 25 nudos el comportamiento es muy similar lo que demuestra que las formas de mayor eslora tienen menor resistencia que las de menor eslora.

4.- Consideraciones sobre maniobrabilidad

En este apartado se considerará como afectan a las cualidades de maniobrabilidad distintos parámetros fundamentales del buque, en especial la eslora, analizando la maniobrabilidad a partir de métodos numéricos desarrollados en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales [8, 9], y que pueden ayudar al ingeniero naval en las primeras etapas de proyecto en un campo como es el de la maniobrabilidad, poco tratado en las etapas de diseño.

Para estudiar el efecto del cambio en alguno de los parámetros principales en la maniobrabilidad del buque, se ha aplicado el modelo a un buque ferry de alta velocidad, el mismo que se ha considerado en el apartado 2.

Igualmente, las variaciones de los parámetros principales mantienen el desplazamiento del buque constante y por tanto el peso muerto, variable importante en cualquier tipo de buque. Las maniobras que se han estudiado han sido la maniobra de giro con un ángulo de timón de 35°, que suele ser normalmente el máximo para el que se diseña el sistema de gobierno, y la de Zigzag 20°. Ambas maniobras se estudian con trimado nulo.

Para cada una de las variaciones efectuadas, se calcula numéricamente la resistencia al avance de la nueva carena y se rediseña la propulsión, utilizando el método de Holtrop 84, ya que se adapta a las características del buque, y diseñando los propulsores mediante la serie sistemática BB de Wageningen. Es decir, cada una de las variaciones se estudia como si se tratara de un nuevo buque.

Las variaciones efectuadas, en este apartado dedicado a la maniobrabilidad, han sido las siguientes:

- 1) + 5% Lpp, - 5% B
- 2) - 5% Lpp, + 5% B
- 3) + 5% Lpp, - 5% T
- 4) - 5% Lpp, + 5% T

En las gráficas de las maniobras de giro, las abscisas y ordenadas van adimensionalizadas con la eslora entre perpendiculares.

4.1.- Efecto de la eslora y de la manga

El efecto positivo de disminuir la eslora y aumentar la manga en la maniobra de giro, se muestra en la Fig. 4.1. El efecto de estas dimensiones en la maniobra de Zigzag aparece representado en la figura 4.2. Se puede apreciar que los efectos positivos en la maniobra de giro, son negativos en la de Zigzag pues aumenta el ángulo de rebasamiento.

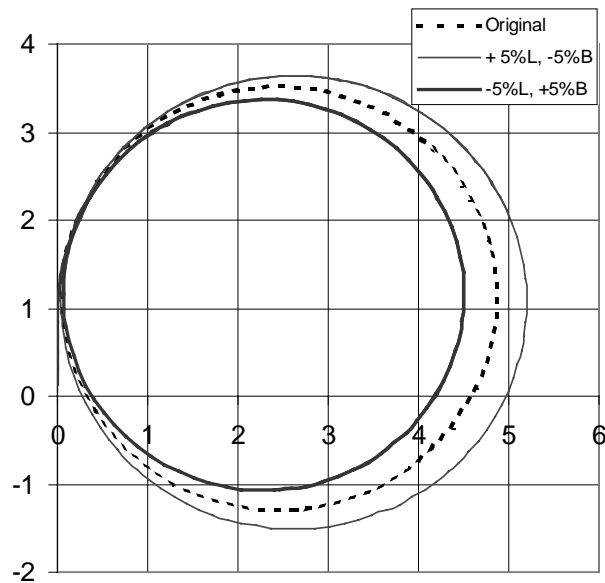


Fig. 4.1: Efecto de la eslora y de la manga en la maniobra de giro 35°

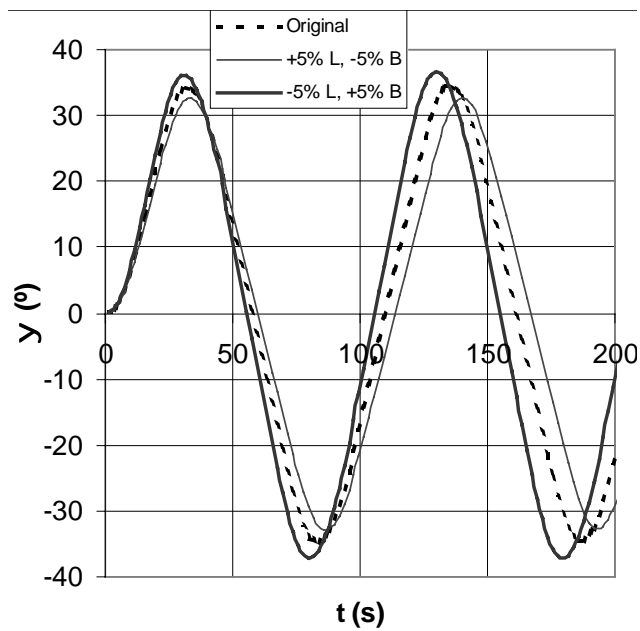


Fig. 4.2: Efecto de la eslora y de la manga en la maniobra de Zigzag 20°

4.2.- Efecto de la eslora y del calado

El efecto positivo de disminuir la eslora y aumentar el calado en la maniobra de giro se puede ver en la Fig. 4.3. El efecto de esta variación conjunta sobre la maniobra de Zigzag (Fig. 4.4) es de menor importancia que el efecto de la variación de la eslora y de la manga. De nuevo, el efecto positivo de disminuir la eslora en la maniobra de giro, tiene un efecto negativo en la maniobra de Zigzag.

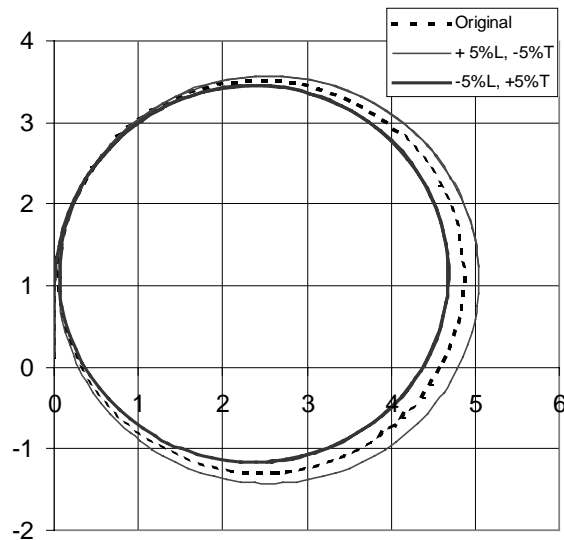


Fig. 4.3: Efecto de la eslora y del calado en la maniobra de giro 35°

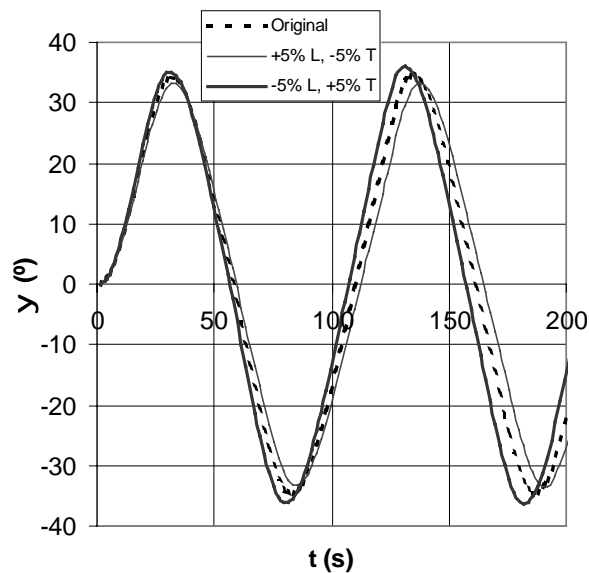


Fig. 4.4: Efecto de la eslora y del calado en la maniobra de Zigzag 20°

4.3.- Efecto global de las variaciones

El efecto de las variaciones en algunos parámetros globales de las maniobras se muestra en la tabla 4.1. En esta tabla, el avance (advance) y el diámetro táctico (Tactical diameter) aparecen adimensionalizados con la eslora. El ángulo de rebasamiento (overshoot) aparece en grados.

	Original	+5%L, -5%B	-5%L, +5%B	+5%L, -5%T	-5%L, +5%T
Advance	344	357	329	350	338
Tactical D	480	513	443	497	461
Overshoot	1410	1255	1612	1317	1516

Tabla 4.1: parámetros globales de las maniobras

Se ve en la tabla que una disminución de eslora disminuye el avance y el diámetro de giro, pero aumenta el ángulo de rebasamiento. Los efectos de variar la eslora y el calado son de menor importancia en las maniobras, que las variaciones de eslora y manga.

5. – Consideraciones sobre el comportamiento en la mar

En este apartado se presenta el efecto de las variaciones en eslora en los movimientos verticales del buque, analizando dichos movimientos mediante el código numérico CMAR2D, desarrollado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales y basado en la teoría de rebanadas. Se ha aplicado este estudio al mismo buque descrito en los puntos anteriores, un ferry que además se ensayó en olas regulares en el Canal de Ensayos de la ETSIN, y que sirvió para validar dicho programa para el buque en cuestión (Fig. 5.1)

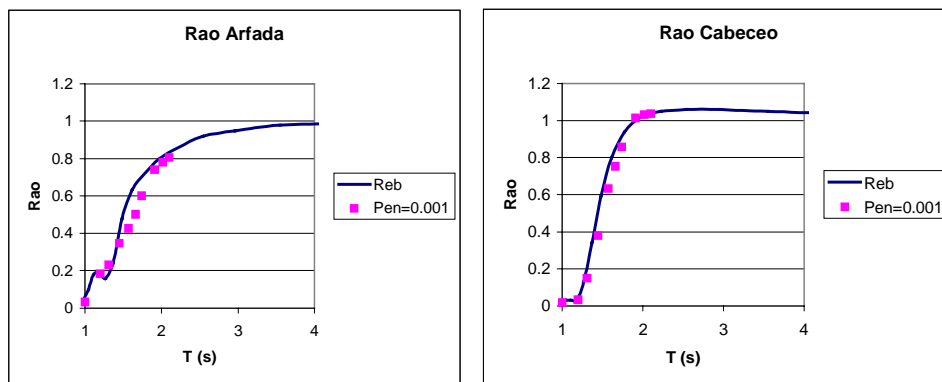


Fig. 5.1: validación del modelo numérico, $V = 17$ nudos

Las variaciones numéricas efectuadas al buque son las mismas que se han descrito en el apartado 4. Para cada variación, y a la velocidad de 17 nudos, se han calculado las funciones de transferencia de los movimientos verticales (amplitud de los movimientos dividida por la amplitud de la ola incidente, en función de la frecuencia natural de la ola que excita al buque) y se han comparado entre si (Fig. 5.2 y 5.3).

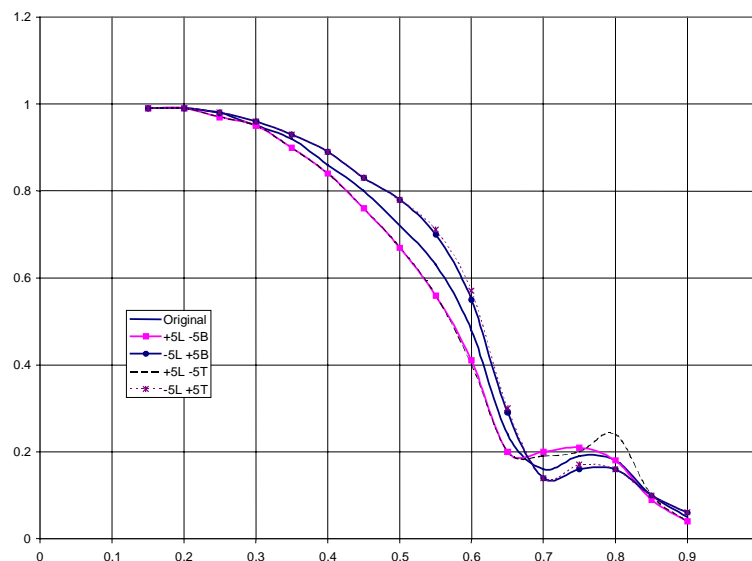


Fig. 5.2: RAO del movimiento de arfada

De la Fig. 5.2 se aprecia que las transformaciones que aumentan la eslora producen una disminución del movimiento de arfada. Para cada transformación, la altura del centro de gravedad y las inercias se han considerado que no varían.

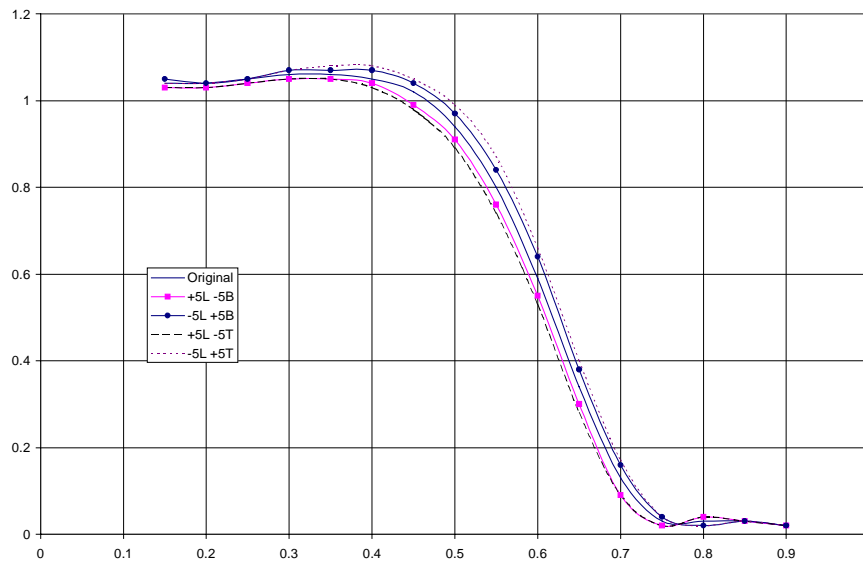


Fig. 5.3: RAO del movimiento de cabeceo

De la Fig. 5.3 se puede deducir que las transformaciones que aumentan la eslora producen una disminución del movimiento de cabeceo como ocurría en el caso del movimiento de arfada.

Para tener un valor global del efecto de cada transformación, se ha usado la teoría de las funciones de transferencia para pasar del comportamiento en olas regulares obtenido, al comportamiento en una mar irregular, considerando tres estados de la mar distintos. Para cada uno de estos mares irregulares, se ha obtenido un valor significativo del movimiento de arfada y del movimiento de cabeceo.

Valores significativos de movimientos verticales

	Original		+5L -5B		-5L +5B		+5L -5T		-5L +5T	
	Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch
SS4	0.362	0.345	0.353	0.329	0.369	0.360	0.357	0.324	0.373	0.367
SS5	0.767	0.788	0.741	0.758	0.792	0.817	0.745	0.746	0.800	0.831
SS6	1.691	1.860	1.633	1.818	1.749	1.902	1.634	1.798	1.758	1.924

Comparación

SS4			-2.3%	-4.7%	2.1%	4.4%	-1.1%	-6.3%	3.3%	6.3%
SS5			-3.4%	-3.8%	3.3%	3.7%	-2.8%	-5.4%	4.4%	5.4%
SS6			-3.4%	-2.3%	3.5%	2.2%	-3.4%	-3.3%	4.0%	3.4%

6.- Conclusiones.

De lo expuesto en los párrafos anteriores, se pueden extraer las siguientes consideraciones finales, a modo de conclusiones:

- La eslora es una dimensión fundamental en el comportamiento hidrodinámico de un buque, pero la complejidad de los fenómenos involucrados no permiten dictaminar unas leyes absolutas de comportamiento debiendo tener en cuenta conjuntamente la resistencia, la maniobrabilidad y el comportamiento en la mar, el tipo de buque y su rango de número de Froude.
- Los CFD se presentan como una herramienta de diseño rápida y eficaz que pueden ayudar a evaluar hidrodinámicamente las variaciones paramétricas de las dimensiones principales de un buque.
- En un buque ferry de alta velocidad, un incremento de eslora del 5% manteniendo constante el coeficiente de bloque, puede representar una disminución de la resistencia al avance del 25%.
- En un buque atunero, un incremento de eslora del 8% con una adecuada modificación de las formas de proa puede reducir la resistencia por formación de olas a la mitad.
- En lanchas rápidas, un incremento de la eslora del 12,5 % puede tener una influencia beneficiosa en la resistencia al avance.
- En cuanto a maniobrabilidad, un aumento de eslora tiene un aspecto positivo en la estabilidad de ruta pero penaliza su capacidad de evolución.
- El incremento de la eslora mejora las respuestas del buque ante los movimientos de arfada y cabeceo.

Agradecimientos.

La labor expuesta en este trabajo es fruto de las actuaciones de todos los componentes del equipo investigador del Canal de Ensayos de la ETSIN tanto en su faceta numérica como experimental, en donde los alumnos representan una contribución muy significativa. Las Empresas por su confianza depositada en nosotros y las Instituciones por su apoyo en los recursos de los proyectos de investigación involucrados en el presente trabajo también merecen ser citados en este apartado de agradecimientos, en particular, la Gerencia del Sector Naval, Albacora S.A., Rodman Poliships, S.A. e Izar Construcciones Navales, S.A.

Bibliografía.-

- [1] Froude, W., “On Experiments upon the Effect Produced on the Wave-making Resistance of Ships by Length of Parallel Middle Body”. Institution of Naval Architects, 1977.
- [2] Taylor, D.W., “The Speed and Power of Ship”, Washington Model Basin, 1894.
- [3] Pérez Rojas, L, Souto, A y Gonzalez Gutierrez, L.M., “Los CFD (Computational Fluid Dynamics) en el diseño de buques. Aportaciones de la E.T.S.I.N.(U.P.M.). IV

Simposio Marítimo Internacional. La Habana (Cuba). Junio 2001. Instituto Panamericano de Ingeniería Naval.

[4] Souto, A. “Nuevas herramientas de diseño de formas de buques basadas en códigos de flujo potencial”. Tesis doctoral. ETSI Navales. Octubre 2001.

[5] Dawson C.W.: A Practical Computer Method for Solving Ship-Wave Problems, Proceedings of Second International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics. Berkeley, pp. 30-38, (1977).

[6] Bruzzone, D., Numerical Evaluation of the Steady Free Surface Waves. Proceedings of CFD Workshop Tokyo 94. Vol 1. Pag 126-134.

[7] Perez Rojas, L, Abad Arroyo R., Núñez Basáñez, J.F. Zamora Rodriguez, R., “Estudio Hidrodinámico de las Formas de Proa de Buques Atuneros”. XXXV Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval. Vigo, mayo 1999, Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España.

[8] Pérez Arribas, F., “Resolución de las ecuaciones diferenciales de la maniobrabilidad”. Trabajo de investigación de Doctorado. Departamento de Arquitectura y Construcción Navales. E.T.S.I.N. 2000.

[9] Pérez Arribas, F. y Clemente, J.A., “The influence of some ship parameters on its manoeuvrability”. 36th. WEGEMT on Ship Manoeuvrability. Roma. Mayo 2001.