

Catamaranes - Cualidades Propulsivas

Págs. 25-37

Amadeo García Gómez^a Juan Jesús Díaz Hernández^b

^aDoctor Ingeniero Naval, Jefe del Área de Proyectos de El Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR), amadeo@cehipar.es

^bIngeniero Naval, Isdefe, jjdiazhernandez@gmail.com

Resumen

Durante la última década el empleo de buques catamarán, en aplicaciones civiles y militares, se ha desarrollado rápidamente. Su particular área de actuación ha sido el denominado “short sea shipping” donde sus características de potencia, economía, habitabilidad y comportamiento en la mar le han conferido un nicho de mercado. Su rápido crecimiento, ha hecho que este tipo de buques hayan experimentado importantes modificaciones (tamaño, velocidad, diversidad de carga, etc.). Sin embargo, incluso a día de hoy, existen ciertas limitaciones de fiabilidad en la información pública existente en el área de aplicaciones militares. Este artículo dará a conocer el trabajo desarrollado por el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) en materia de cualidades propulsivas de buques catamaranes.

Palabras claves: Catamaranes, comportamiento en la mar, resistencia al avance, cualidades propulsivas.

Abstract

During the last decade the civil and military applications of catamaran ships have experienced a rapidly increase. Their particular area of proliferation is the short sea shipping where they show considerable superiority over competitive designs in attributes such as power requirements, economy, space availability and seakeeping. The rapid growth has led to the need for an expanded range of catamaran designs (in terms of size, speed, and payload diversity). However, even now, there is a scarcity of publicly available preliminary known on military applications. The purpose of this article is to present the work done by El Pardo Hydrodynamics Model Basin (CEHIPAR) on catamaran propulsive qualities.

Keywords: Catamaran, seakeeping, totalresistance, propulsive qualities.

Fecha de recepción: Junio de 2015

Fecha de aceptación: Agosto de 2015

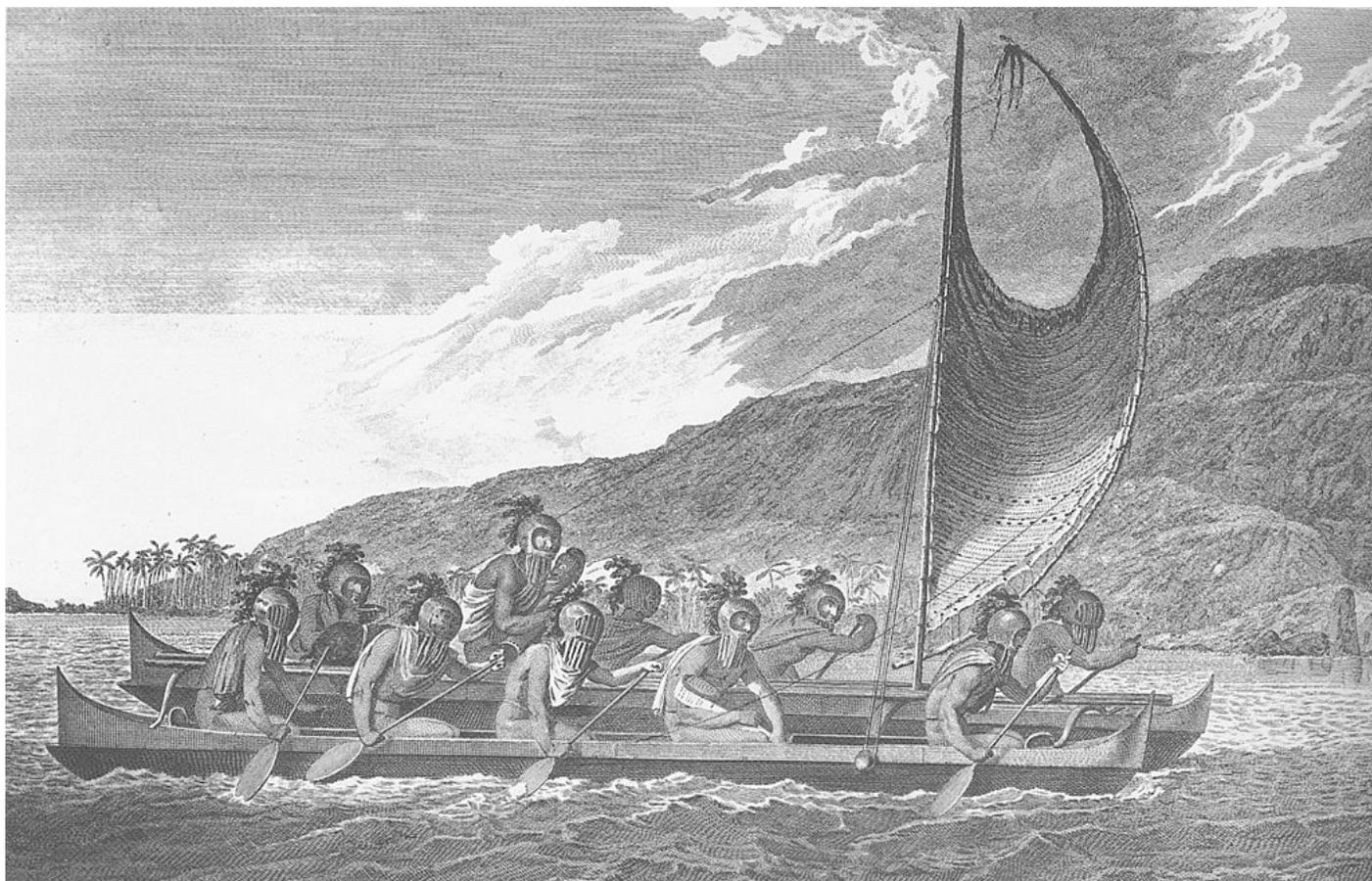


Figura 1. Catamarán de la Polinesia

Fuente: User:Makthorpe - Artist: John Webber, artist aboard Cook's ship. Source: Scanned from page 20 of the following book. Grant, Glenn (2004) Hawai`i Looking Back: An illustrated History of the Islands, Mutual Publishing, pp. 454pp recogida en <https://es.wikipedia.org/wiki/Catamar%C3%A1n>

1. INTRODUCCIÓN

Allá por el año 1697, William Dampier, capitán de barco inglés, ocasional bucanero y corsario, al mismo tiempo que un excelente escritor, botánico y observador científico, viajando por la costa sur-occidental de la India en busca de oportunidades de negocio, encontró una especie de nave hecha con poco más que unos troncos unidos entre sí, de los que escribió: “... *en la Costa de Malabar existen unas embarcaciones que ellos llaman catamaranes. Son un madero, o dos, a veces de una especie de madera ligera, que llevan a un solo hombre, cuyas piernas y nalgas están siempre en el agua...*”.

El empleo de este tipo de embarcaciones se ha llegado a constatar incluso en épocas prehistóricas, donde se ha comprobado que los navegantes austronesios utilizaban canoas de doble casco para colonizar la Polinesia y asentarse en el grupo de islas más extendido del planeta.

El primer catamarán documentado de la Europa moderna, fue diseñado en 1662 por William Petty, miembro de la Royal Society, éste fue concebido para navegar más rápido, en aguas poco profundas y con menos tripulación que otras embarcaciones de la época (Millward, 1992).

Es a comienzos del año 2002, cuando la Armada Norteamericana comenzó a construir una nueva generación de buques con el fin de derrotar las nuevas amenazas asimétricas, estas nuevas unidades fueron denominadas “Littoral Combat Ship” (LCS), y su diseño y

fabricación han revolucionado completamente el panorama mundial de este tipo de buques, al sustituir su estructura tradicional, por una estructura revolucionaria basada en soluciones multicasco, con el objetivo de conseguir velocidades superiores a los 45 nudos, cubiertas mayores de vuelo para helicópteros, así como un aumento considerable de espacios interiores.

La finalidad prioritaria del proyecto de investigación que dio pie a este trabajo, fue el estudio de la influencia de la separación de los cascos (Zaghi, Broglia y di Mascio, 2010) en la resistencia al avance de los mismos y, por consiguiente, la potencia requerida a bordo.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Recopilación y clasificación de la información disponible en el CEHIPAR

El CEHIPAR, es un organismo de reconocido prestigio a nivel internacional que realiza trabajos de proyectos, experimentación e investigación para organismos, astilleros, navieros, oficinas de ingeniería, fabricantes y particulares, y ha sido el encargado en este caso de recopilar y clasificar toda la información referida a los datos de carena y ensayos de remolque.

Entre los estudios realizados destacan, la importancia e influencia de la separación de los cascos en la componente de la resistencia (Moraes, Vasconcellos y Latorre, 2004), además del análisis numérico de los cascos por separado y en su conjunto, actividades indispensables para conocer la precisión con que estos cálculos matemáticos nos permiten discernir en cada

caso sobre la bondad de las formas elegidas (Macfarlane y Daire, 2011).

Se emplearon diferentes carenas que formaban parte del stock de catamaranes del CEHIPAR, a las que además de los ensayos existentes de comportamiento en la mar, se han sumado los ensayos de remolque en los que se procede a restringir los seis grados de libertad de movimiento de aquellas.

Los estudios de hidrodinámica numérica se han realizado mediante cálculos de flujo viscoso para la correspondiente velocidad de proyecto y un análisis comparativo de las formas estudiadas mediante procedimientos ya desarrollados por el CEHIPAR. Para ello se han definido los parámetros dependientes de la geometría de la carena recogidos en la tabla siguiente.

Tabla 1. Parámetros de la geometría de la carena .

H	Escala del modelo
S _{CD}	Superficie mojada de la carena sin apéndices [m ²]
S _{AP}	Superficie mojada de la carena con apéndices [m ²]
L _{PP}	Eslora entre perpendiculares [m]
L _{WL}	Eslora en la flotación [m]
L _{DES}	Eslora de desplazamiento (máxima eslora sumergida) [m]
A _T	Área transversal expuesta al viento [m ²]

Valores medidos en ensayos de resistencia (M: subíndice modelo, S: subíndice buque).

Tabla 2. Valores medidos de Resistencia

V _M	Velocidad del modelo [m/s]
R _{TMCD}	Resistencia total del modelo de carena sin apéndices [Kg]
R _{TMAP}	Resistencia total del modelo de carena con apéndices [Kg]
ΔR _{TMAP}	RTMAP – RTMCD [Kg]

Coefficientes adimensionales (M: subíndice modelo, S: subíndice buque).

Tabla 3. Coeficientes adimensionales.

C _{AA}	Coeficiente de resistencia añadida por viento [$\frac{\Delta T}{S} * 10^{-3}$]
C _F	Coeficiente de fricción según ITTC'57
C _{TMCD}	Coeficiente de resistencia total del modelo de carena sin apéndices
C _{TMAP}	Coeficiente de resistencia total del modelo de carena con apéndices
C _{RMCD}	Coeficiente de resistencia residual del modelo de carena sin apéndices
C _{RMAP}	Coeficiente de resistencia residual del modelo de carena con apéndices
C _{TSCD}	Coeficiente de resistencia total de la carena sin apéndices
C _{TSAP}	Coeficiente de resistencia total de la carena con apéndices
C _{RS_{CD}}	Coeficiente de resistencia residual de la carena sin apéndices
C _{RSAP}	Coeficiente de resistencia residual de la carena con apéndices
ΔC _F	Coeficiente de resistencia por rugosidad [$(105 * (\frac{K_S}{L_{DES}})^{1/3} - 0,64) * 10^{-3}$]
K _{CD}	Factor de forma de la carena sin apéndices
K _{AP}	Factor de forma de la carena con apéndices
R _e	Número de Reynolds [$\frac{V * L}{\nu}$]
F _r	Número de Froude [$\frac{V}{\sqrt{g * L}}$]

Constantes empleadas.

Tabla 4. Constantes

ν	Viscosidad cinemática [m ² /s]
ρ	Densidad de masa [Kg*s ² /m ⁴]
g	Constante gravitatoria [m/s ²]
K _S	Altura media de la rugosidad de la carena. Valor estándar 150*10 ⁻⁶ [m]

El procedimiento experimental ha sido realizado mediante un programa informático desarrollado por el CEHIPAR, con el que se han determinado los coeficientes de resistencia total del modelo (CTMCD), así como el coeficiente de resistencia residual (CRMCD),

ambos para carenas sin apéndices:

$$C_{TMCD} = \frac{R_{TMCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{MCD} V_M^2} = (1 + k_{CD}) * C_{FM} + C_{RMCD} \quad \text{Ecuación [1]}$$

$$C_{RMCD} = \frac{R_{RMCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{MCD} V_M^2} \quad \text{Ecuación [2]}$$

Donde el factor de forma k_{CD} se determina bien mediante el análisis de los resultados experimentales realizados para números de Froude comprendidos entre 0,12 y 0,2, bien por el método de Prohaska o método del mínimo propuesto por Hughes, verificados todos ellos con la estadística de buques similares ensayados. Sabiendo que el coeficiente residual sin apéndices (C_{RMCD}) es igual para modelo y buque y que no hay efecto de escala en el factor de forma k_{CD} , se determina el coeficiente de resistencia total de la carena sin apéndices:

$$C_{TSCD} = \frac{R_{TSCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{SCD} V_S^2} = (1 + k_{CD}) * C_{FS} + C_{RMCD} + \Delta C_F + C_{AA} \quad \text{Ecuación [3]}$$

De donde se obtiene el valor de la resistencia sin apéndices del buque real:

$$R_{TSCD} = C_{TSCD} * \frac{1}{2}\rho S_{SCD} V_S^2 \quad \text{Ecuación [4]}$$

Siendo la potencia efectiva:

$$P_E = \frac{R_{TSCD} * V_S}{75} \quad \text{Ecuación [5]}$$

Cuando el ensayo de la carena se realiza con los apéndices presentes en la misma y no se dispone del correspondiente ensayo de remolque de la carena sin apéndices, la extrapolación del ensayo con apéndices se realiza de forma análoga a lo indicado para la carena sin apéndices, salvo que se indique expresamente lo contrario.

$$\Delta R_{TMAP} = R_{TMAP} - R_{TMCD} \quad \text{Ecuación [6]}$$

$$\Delta C_{TMAP} = \frac{\Delta R_{TMCD}}{\frac{1}{2}\rho S_{MAP} V_M^2} \quad \text{Ecuación [7]}$$

El valor del incremento del coeficiente de resistencia para el buque real se determina mediante la expresión:

$$\Delta C_{TSAP} = \Delta C_{TMAP} * \frac{C_{FS}}{C_{FM}} \quad \text{Ecuación [8]}$$

$$C_{TSAP} = ((1 + k_{CD}) * C_{FS} + C_{RMCD}) * \frac{S_{CD}}{S_{AP}} + \Delta C_{TSAP} + \Delta C_F + C_{AA} \quad \text{Ecuación [9]}$$

Obteniendo finalmente el valor de la resistencia total del buque con apéndices:

$$R_{TSCD} = C_{TSAP} * \frac{1}{2}\rho S_{AP} V_S^2 \quad \text{Ecuación [10]}$$

Analizada y clasificada la información, se procedió al estudio de mercado para este tipo de embarcaciones, así como al estudio de los ratios de velocidad, capacidad y distancia en ruta para que sean ventajosos respecto a las embarcaciones monocasco, determinándose y recogiendo las características básicas de catamaranes de aplicación militar de la base de datos generada para el desarrollo del presente estudio.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Se estudiaron los dos tipos generales de carena para cada uno de los cascos que componen un catamarán: formas simétricas y asimétricas. En ambos casos la influencia de la separación de cascos en la resistencia es importante. Se realizó un análisis numérico de los cascos por separado y en su conjunto, para discernir en cada caso la bondad de las formas elegidas (Michel, 1898).

3.1. Estudio de hidrodinámica numérica mediante cálculos de flujo viscoso

El empleo de programas CFD (Salas, Sahoo y Luco, 2008) para simular el comportamiento de sistemas relacionados con el flujo de fluidos, transferencia de calor y otros procesos físicos, nos permiten resolver las ecuaciones que determinan el flujo del fluido en la región de interés bajo unas condiciones preestablecidas en las fronteras de dicha región. Es de sobra conocido que el conjunto de ecuaciones que describen este tipo de procesos físicos son las ecuaciones de Navier-Stokes. Estas ecuaciones no tienen una solución analítica general pero pueden ser discretizadas y resueltas numéricamente. Los cálculos se realizaron con un CFD de ANSYS y se eligió una de las carenas de stock. En las figuras siguientes se muestran en detalle el transversal de cuadernas y contornos, así como la vista general de la carena.

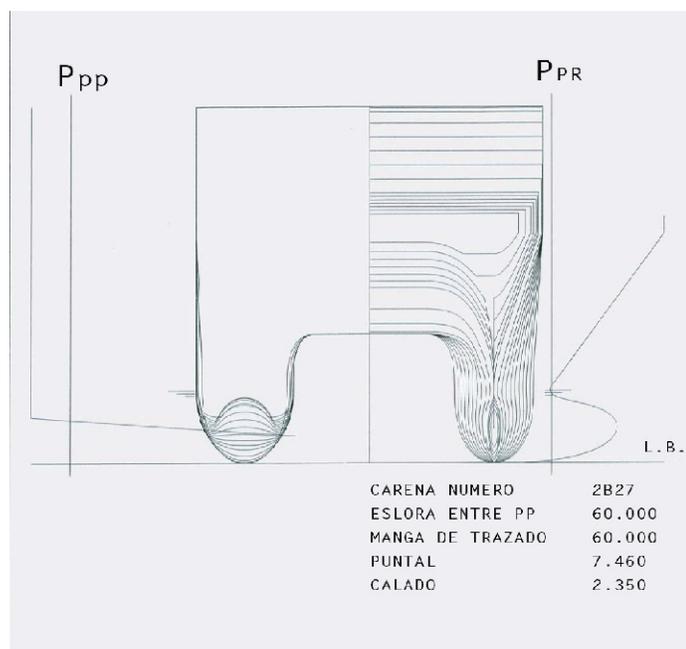


Figura 2. Transversal de cuadernas y contornos
Fuente: CEHIPAR

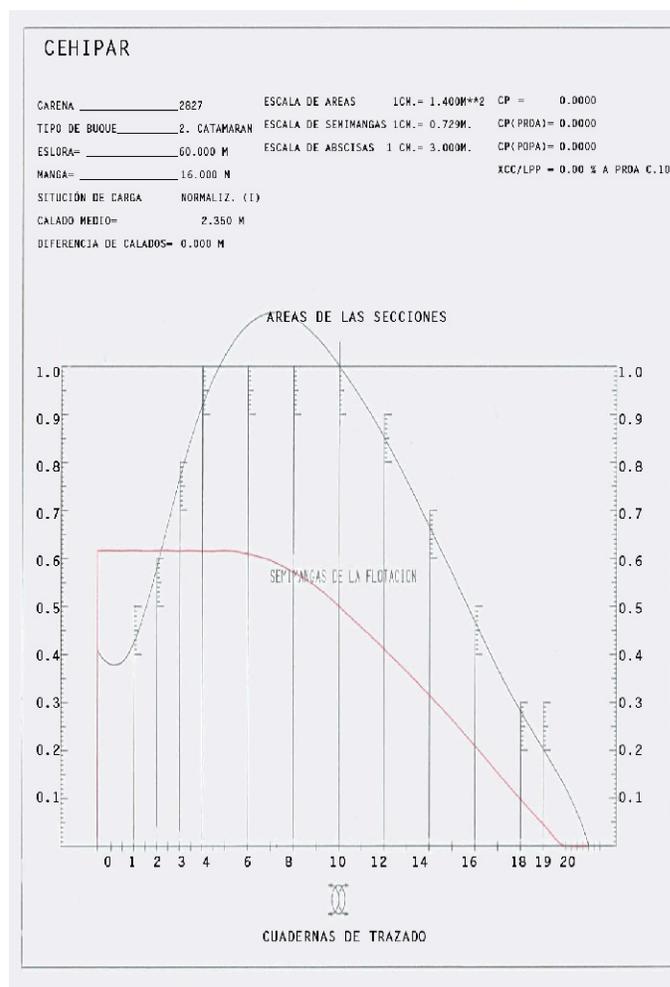


Figura 3. Curva de áreas y flotación
Fuente: CEHIPAR

Los cálculos se realizaron para una configuración monocasco y dos tipo catamarán, con una separación entre cascos de 9 y 11,5 m respectivamente, siempre con carena desnuda a escala modelo, en 4 regímenes de velocidad distintas.

Los movimientos de las carenas han sido restringidos en sus seis grados de libertad. En el caso del monocasco (Thomas, Tomic y Tuite, 2006), no tiene sentido dejar libre al barco, mientras que en el caso de los catamaranes, el tiempo computacional hubiera sido excesivo por el gran número de elementos que componen la

mallá, al no poderse aplicar la condición de simetría como consecuencia de la interferencia entre los cascos. A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos.

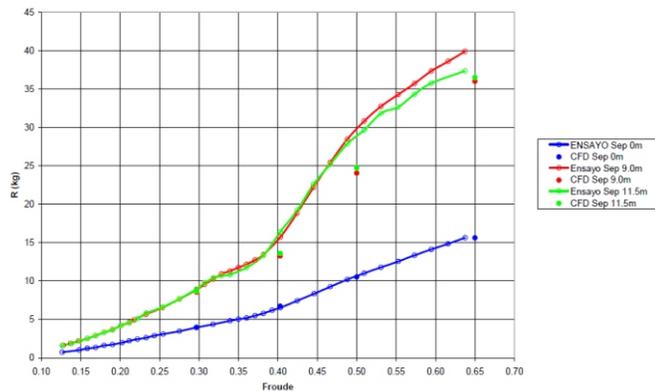


Figura 4. Comparación entre los resultados de resistencia al avance. Ensayos vs CFD

Fuente: CEHIPAR

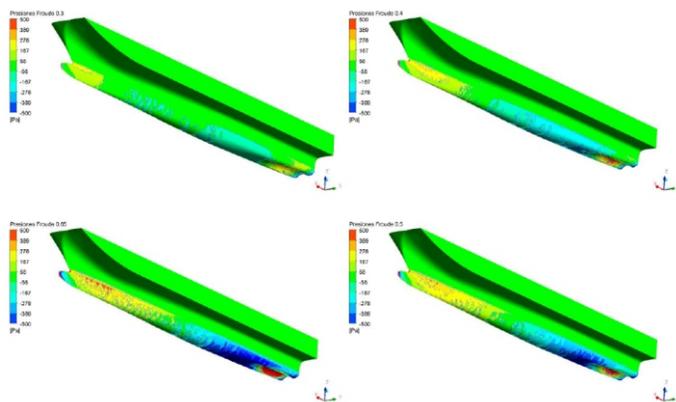


Figura 5. Distribución de presión y velocidades sobre la carena para una separación de 9 m

Fuente: CEHIPAR

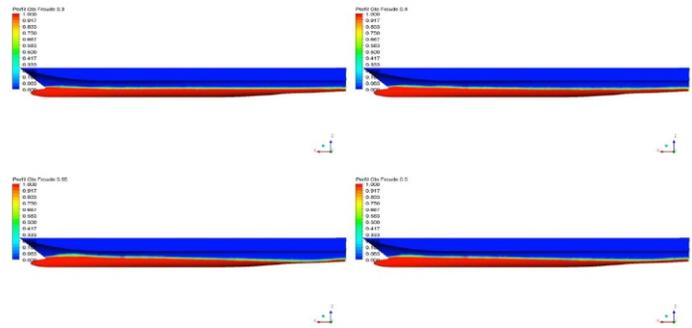


Figura 6. Perfil de ola y mapa de olas generadas para una separación de 9 m

Fuente: CEHIPAR

Teniendo en cuenta los resultados mostrados, se deduce que los cálculos por CFD son válidos para la definición y optimización de carenas monocasco, puesto que, como se observa, las diferencias con los valores de ensayo son mínimas y aceptables. Sin embargo, no se puede decir lo mismo en el caso de los catamaranes, donde los resultados de CFD no tienen el nivel de precisión exigidos, obteniéndose siempre resultados más optimistas que en los ensayos. A su vez, se observa que apenas existen diferencias entre los puntos obtenidos para las dos separaciones entre cascos estudiados, por lo que no parece que la utilización de CFD sea la opción más adecuada con el fin de optimizar la distancia entre los mismos.

3.2. Análisis comparativo de formas

Se llevó a cabo una evaluación de la curva de áreas y flotación de la carena, analizando las formas adoptadas para cada uno de los cascos, sin evaluar la idoneidad de casco simétrico o bien uno asimétrico, así como la separación entre los mismos. Señalar que cuando se procede a la modificación de una carena para obtener la curva de áreas optimizada, podrían alcanzarse unas reducciones considerables de la resistencia viscosa. En el caso de obtener economías de potencia muy

llamativas, es preciso tomar con prudencia esos valores, ya que aunque la variación de la potencia con los coeficientes C_{ca} y C_{cf} sea lineal, al encontrarse la aplicación en una fase de desarrollo, no existen garantías sobre la linealidad hasta el origen. A continuación se muestran algunos resultados de las carenas ensayadas.

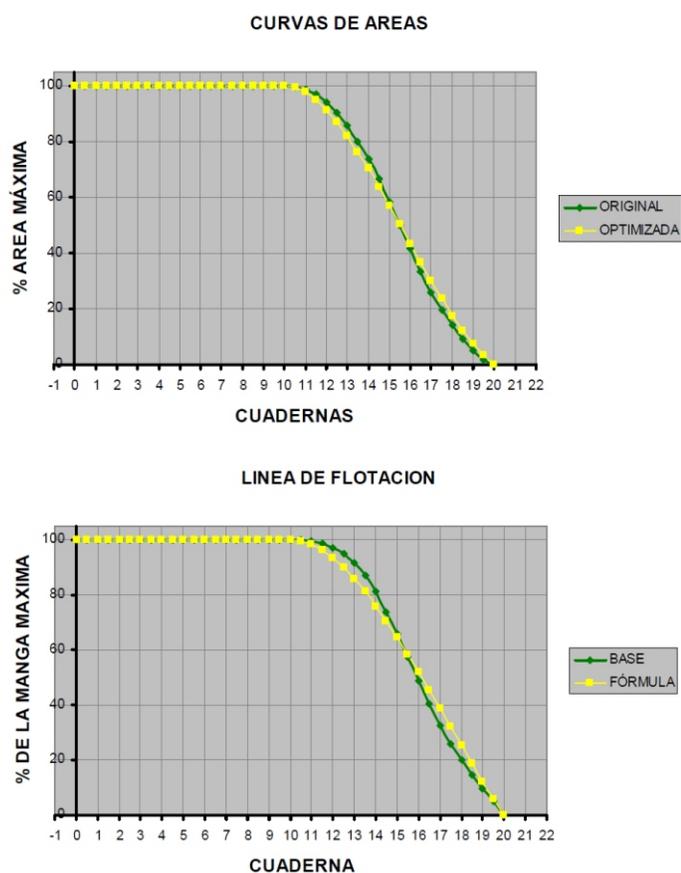


Figura 7. Curva de áreas original y optimizada. Flotación original y optimizada
Fuente: CEHIPAR

Una modificación del “shoulder” de proa de la curva de áreas original, ha conseguido reducir en casi un 10% la resistencia viscosa a la velocidad de 21 nudos. Por otro lado, y para la misma velocidad, una modificación en la curva de flotación, ha conseguido reducir la resistencia por formación de olas, por enci-

ma del 15%, valor muy significativo debido al gran peso específico que tiene ésta sobre la resistencia total.

3.3. Influencia relativa de las componentes de la resistencia

Para el proyecto de formas de carena con un comportamiento optimizado en resistencia y por tanto en consumo de combustible, es necesario tener una visión lo más exacta posible de cómo influyen en la resistencia cada una de las componentes, tratadas de manera individual, así como en su conjunto. Para buques tipo catamarán es preciso un conocimiento detallado de la interacción de los cascos, estudio no necesario en el caso de buques monocasco y, con grandes diferencias respecto a los buques tipo trimarán (García y Riola, 2013) ya que en éstos, el 90% del volumen de desplazamiento se encuentra en el casco central.

En general, la resistencia de un buque se suele descomponer en resistencia viscosa y residual. La viscosa se compone de resistencia de presión y de fricción, mientras que la residual se compone principalmente de la resistencia por la formación de olas que el propio buque genera en su desplazamiento por el agua a una determinada velocidad y por otras componentes en general menores como puedan ser olas rompientes, rugosidad, interacción viscosidad-olas, etc. (Doctors, 2003). En los buques tipo catamarán se produce además un fenómeno particular que es la interferencia entre los dos cascos que componen la carena y que da lugar a la llamada resistencia de interferencia (Broglia, Zaghi y Di Mascio, 2011).

En base a los resultados experimentales de las carenas ensayadas en esta investigación, se trata de analizar las tres componentes de la resistencia: viscosa, residual e interferencia. Para ello se han llevado a cabo con cada carena de catamarán tres ensayos de remolque, habiéndose primeramente ensayado cada uno de los cascos de manera individualizada. Este ensayo se realiza necesariamente con el dinamómetro de seis componentes ya que el casco individual no tiene estabilidad propia y por tanto se ensaya con el modelo cautivo, es decir, no se ha permitido que el modelo del casco singular tome asientos dinámicos.

Los ensayos de remolque de las carenas de los catamaranes se han llevado a cabo en la forma habitual, dejando que el modelo tome el trimado dinámico para cada velocidad. La extrapolación de los resultados obtenidos de los ensayos de remolque ha sido realizada según las indicaciones de la ITTC'78.

Estudio de la resistencia viscosa. Determinación del factor de forma

Como se ha comentado, la resistencia viscosa se compone de resistencia de presión y de fricción. El coeficiente de resistencia viscosa viene dado por la expresión:

$$C_v = (1 + k) * C_f \quad \text{Ecuación [11]}$$

Donde C_f es el coeficiente de la resistencia de fricción, calculado por la expresión dada por la ITTC'57 para la línea básica de correlación modelo – buque:

$$C_f = \frac{0,075}{(\log R_e - 2)^2} \quad \text{Ecuación [12]}$$

Siendo R_n el número adimensional de Reynolds, dependiente de la velocidad V , de la eslora de desplazamiento o eslora máxima sumergida

$$R_e = \frac{V * L_{DESP}}{\nu} \quad \text{Ecuación [13]}$$

El coeficiente k , que aparece en la expresión del coeficiente C_v de resistencia viscosa, asume la diferencia de forma entre una placa plana y el buque, existiendo distintos procedimientos para su determinación, si bien, con independencia del método utilizado, su valor debería ser prácticamente el mismo.

El factor de forma k se calcula mediante el método Prohaska, en la forma indicada por la ITTC, para el casco individual, así como para las carenas tipo catamarán. De los resultados que se obtuvieron se dedujo que se debería aceptar como una práctica razonable el adoptar para un catamarán el mismo factor de forma que el obtenido al ensayar un único casco, al obtenerse resultados ligeramente más conservadores.

Estudio de la resistencia por formación de olas

De la misma manera que ocurriera en el caso del estudio de la resistencia viscosa, para el cálculo de la resistencia por formación de olas se procedió a ensayar los cuatro modelos de carena seleccionados anteriormente, en las situaciones de monocasco y catamarán con dos separaciones de casco distintas, realizándose a su vez el análisis de los resultados extrapolados al buque real utilizando los coeficientes de forma obtenidos por el método Prohaska para cada ensayo, así como el perteneciente al casco único.

Estudio de la resistencia de interferencia entre los dos cascos

Se estudiaron las variaciones del coeficiente de resistencia residual SC_w , en función del número de Froude (F_n) para cada una de las carenas y separaciones entre cascos estudiadas, observándose que para el catamarán más pequeño de los ensayados, la resistencia de interferencia llega a anularse para valores muy altos de al encontrarnos en zona de planeo donde el valor de la resistencia por formación de olas es prácticamente independiente de las formas, además de apreciarse una considerable influencia en la misma de la separación entre cascos. Por el contrario, y para el resto de carenas, se observa que hasta un valor aproximado de F_n de 0,4 la resistencia de interferencia es prácticamente independiente de la separación entre cascos.

Como resumen, en la siguiente figura se muestran las distintas componentes de la resistencia de remolque pudiéndose apreciar la importancia relativa de cada una de ellas, de modo, que al desarrollar un proyecto, se puede tener claro el orden de magnitud que cabría esperar de una optimización de formas.



Figura 8. Componentes de la resistencia
Fuente: CEHIPAR

3.4. Análisis de resultados y validación de procedimientos

Aplicabilidad de plataformas tipo catamarán, desde el punto de vista propulsivo

Se ha utilizado el programa MJ-3A (García y Bobo, 1999) de predicción de potencia-velocidad para buques rápidos, para comparar los resultados con una patrullera, de la misma eslora y desplazamiento que cada uno de los cuatro catamaranes ensayados, concluyéndose que la patrullera tiene un comportamiento propulsivo mucho mejor que el catamarán aun cuando el de éste, se mantiene muy similar no sólo al variar la separación entre cascos, sino también con respecto a los cascos considerados aisladamente. La posibilidad de mejorar la resistencia de las formas de esta carena de catamarán no justifica la diferencia con la carena convencional de la patrullera. Para comprobar este extremo, se ha realizado otra predicción de potencia-velocidad para la carena convencional utilizando el programa SMALL BOATS para obtener predicciones rápidas para buques pequeños de alta velocidad y que si bien no tiene la fiabilidad de otros métodos, si dan una orientación inicial suficiente para cierto tipo de buques.

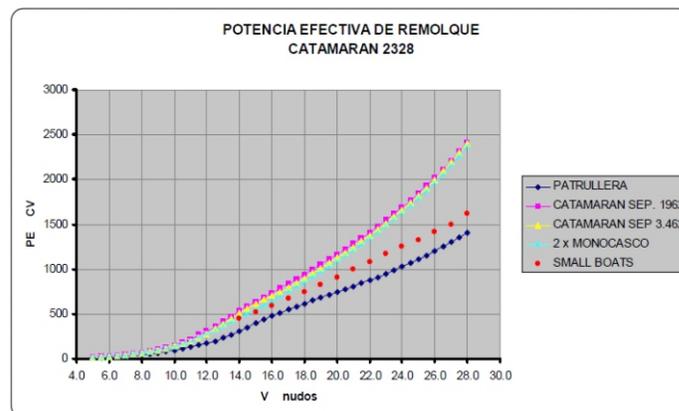


Figura 9. Potencia efectiva de remolque
Fuente: CEHIPAR

Desde el punto de vista propulsivo, y a la vista de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, se debe estudiar la posibilidad de adoptar formas de carena tipo catamarán dentro del rango de los 40 a 70 m de eslora. No deben olvidarse otra serie de factores a la hora de la elección del tipo de buque, como pudieran ser los aspectos positivos de un buque catamarán en cuanto a la amplitud de cubiertas con la versatilidad que ello confiere al buque, como los aspectos negativos referidos a la necesidad de un sistema de control más sofisticado para conseguir la mejora del comportamiento en la mar (Riola, Pérez, y Díaz, 2013).

Estimación de la resistencia al avance para buques tipo catamarán

Con los datos obtenidos en esta investigación no es posible elaborar un procedimiento de predicción generalizado para todos los catamaranes pero sí dar unas indicaciones que permitan tener una idea aproximada de los valores de resistencia para un catamarán en el rango de valores de los buques aquí estudiados.

La elección de la geometría del catamarán pasa por optimizar en primer lugar cada uno de los monocascos, bien simétricos bien asimétricos, dependiendo de la misión del buque y del rango de velocidades. En el caso de monocascos simétricos, su proyecto se puede abordar con el mismo criterio de optimización de los buques de un solo casco.

Las formas del monocasco se valoran mediante la variación sistemática de los distintos parámetros que las gobiernan y el ensayo de los modelos correspondientes.

El cálculo del factor de forma inicial, k , permite

conocer la resistencia de fricción. En cuanto a la componente de olas, se calcula el número de F_n para el que es máxima la resistencia y los valores aproximados de C_w para distintos F_n en función del parámetro $L_{pp}/\Delta^{1/3}$.

Con una precisión semejante se puede también conocer los valores de la resistencia total, utilizando para ello las fórmulas de la correlación de R/Δ de todas las carenas de la base de datos en función de $L_{pp}/\Delta^{1/3}$. El valor de R_2 es superior a 0.85 para F_n entre 0.5 y 0.6.

4. CONCLUSIONES

El trabajo realizado ha venido a constatar el gran interés que tiene profundizar en el conocimiento de la hidrodinámica de buques multicasco, como es el caso de los catamaranes. Con los datos obtenidos en esta investigación se pretende dar unas indicaciones que permitan tener una idea aproximada de los valores de resistencia para un catamarán, en el rango de valores de los buques aquí estudiados.

La elección de la geometría del catamarán pasa por optimizar en primer lugar cada uno de los monocascos integrantes, donde las formas tienen que ser valoradas mediante la variación sistemática de los distintos parámetros que las gobiernan y el ensayo de los modelos correspondientes. De esta manera, optimizaciones en la curva de área, así como en la flotación de la carena manteniendo el desplazamiento de la original, llevan asociadas notables reducciones en la resistencia al avance.

La incorporación del buque multicasco en la industria naval ha traspasado fronteras. Se ha convertido en la tendencia actual de construcción para la flota de la

“U.S.Navy” de aplicación en los “*Littoral Combat Ships LCS*”, en contraposición a la estructura monocasco de los mismos de principios de nuestro siglo.

Del trabajo presentado se extrae que el empleo de las herramientas CFD es de gran utilidad para la definición y optimización de los cascos por separado, sin embargo los niveles de precisión que se han obtenido para estudiar la hidrodinámica del buque con ambos cascos no alcanzan el nivel de precisión exigido, obteniéndose siempre resultados más optimistas que en los ensayos. Una de las razones que se extrajo de ello fue que este aspecto podría derivarse del hecho de no dejar libre al barco durante las simulaciones o bien la razón por la que se decantó es que esta merma de calidad en los resultados de CFD, para las configuraciones con ambos cascos, probablemente se deba a que no se simule correctamente la interacción entre los mismos, debido a que las técnicas de mallado utilizadas para buques monocascos no son válidas en estos casos, y sea necesaria la utilización de mallas más finas en la zona comprendida entre ambos cascos y tal vez otro modelo de turbulencia.

Al cierre de los trabajos, se resalta la conveniencia de seguir profundizando en el estudio de este tipo de buques con el fin de poder conseguir la optimización total de los mismos desde un punto de vista propulsivo, sin olvidar los aspectos técnicos y económicos.

REFERENCIAS

- Broglia, R., Zaghi, S. & Di Mascio, A. (2011). Numerical Simulation of Interference Effects for a High-Speed Catamaran. *Journal of Marine Science and Technology*, 16, 254-269.
- Doctors, L. (April, 2003). *The Influence of Viscosity on the Wavemaking of a Model Catamaran*. (Trabajo presentado en el 8th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies). Le Croisic, France.
- García, A y Bobo, M. (1999). *Programa MJ-3A. Predicción de potencia-velocidad para buques rápidos*. (Canal de experiencias de El Pardo). Madrid, España.
- García, A. y Riola, J. (Noviembre, 2013). *Proyecto hidrodinámico de un buque de escolta oceánico tipo trimarán: Dimensionamiento, diseño, estudio numérico y experimentación*. (Trabajo presentado en el Congreso DESE I+d). Madrid, España.
- Macfarlane, G. y Daire, N. (Septiembre, 2011). *The influence of catamaran hull form on added resistance in head seas*. (Trabajo presentado en el 11th International Conference on Fast sea transportation). Hawaii, USA.
- Michel, J. (1898). The wave resistance of a ship. *Philosophical magazine*, 45, 106-123.
- Millward, A. (1992). The effect of hull separation and restricted water depth on catamaran resistance. *Transactions of Royal Institute of Naval Architects*,

134, 341-349.

Moraes, H., Vasconcellos, J. & Latorre, R. G. (2004).

Wave resistance for high-speed catamarans, *Ocean Engineering*, 31, 2253-2282.

Riola, J., Pérez, R. y Díaz, J. (Octubre, 2013). *Análisis*

del comportamiento en la mar de buques de guerra multicasco. (Trabajo presentado en el 52º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima). Madrid, España.

Salas, M., Sahoo P. & Luco, R. (2008). Avances en la

estimación de la Resistencia de Catamaranes. *SHIP Science and technology*, 2, 39-46.

Thomas, G., Tomic, P. & Tuite, A. (December, 2006).

High-Speed catamaran or monohull? How do you choose? (Trabajo presentado en la 5th Conference on high performance marine vehicles (HIPER '06)). Lancaster, Australia.

Zaghi, S., Broglia, R. y di Mascio, A. (2010). Experi-

mental and numerical investigations on Fast Catamarans Interferente Effects. *Journal of Hydrodynamics*, Ser. B, 22(5), 545-549.