

# Efecto De Flaps De Popa En La Resistencia Hidrodinamica De Un Casco De Semi-Desplazamiento

M. Salas\*, J. A. Rosas, R. Luco y P. Sepúlveda  
Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Universidad Austral de Chile  
\*msalas@uach.cl

P. Sepúlveda  
Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales, Armada de Chile

## RESUMEN

Los efectos de una serie de flaps de popa en el rendimiento hidrodinámico de un casco de semi-desplazamiento fueron evaluados mediante ensayos de canal. Se obtuvieron seis configuraciones de flaps de popa, mediante la variación del largo de cuerda, envergadura y ángulo de flap, las cuáles constituyen las variables de mayor influencia en el rendimiento hidrodinámico. Se realizaron ensayos con cada una de las configuraciones obtenidas, con el objeto de medir la influencia de cada flap en la resistencia al avance y en el trimado del casco. El rendimiento del casco sin flap fue evaluado con el objeto de comparar el beneficio real obtenido para cada configuración de flap. Las principales características de la serie ensayada fueron obtenidas de las recomendaciones de diseño existentes, las cuáles provienen principalmente de la experiencia en el diseño en embarcaciones militares y naves de desplazamiento. Los ensayos mostraron resultados similares a los observados en otras embarcaciones; demostrándose que la instalación de flaps de popa puede contribuir a una disminución significativa de la resistencia al avance.

## INTRODUCCION

Un flap o perfil de popa es una extensión del fondo de una embarcación a popa del espejo, el cual al interactuar con el casco a determinadas velocidades produce beneficios hidrodinámicos y variaciones de trimado. Es un apéndice relativamente pequeño construido de una plancha conectada al espejo en un ángulo relativo a la prolongación del fondo del casco. (Figura 1).

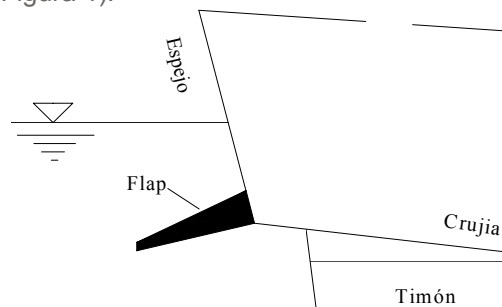


Figura 1: Concepto de flap de popa.

La eficiencia que produce el flap al interactuar con el casco está relacionada con sus características geométricas y su disposición en la popa. Las variables con mayor influencia en el rendimiento del flap (Figura 3) son:

- Cuerda ( $L_f$ ): Es su extensión longitudinal, la cual se considera en % de  $L_{PP}$ .
- Envergadura ( $B_f$ ): Es el alcance transversal del flap. Se recomienda que este valor alcance el máximo posible a lo largo del espejo.
- Angulo ( $\beta$ ): Este valor es medido tomando como base una extensión ficticia a popa del fondo de la nave. Sus valores típicos varían entre  $10^\circ$  con el borde del flap hacia arriba (ángulos negativos) hasta  $20^\circ$  con el borde hacia abajo (ángulos positivos).

La presencia de un flap de popa produce una alteración de las condiciones hidrodinámicas alrededor del casco, lo que a partir de una cierta velocidad genera un efecto positivo que se traduce en los siguientes beneficios.

La manera en que estos apéndices actúan en el casco varían dependiendo si la embarcación es de planeo o de desplazamiento. Todos los flaps de popa, sin importar sus características, generan una fuerza de empuje vertical en el espejo y modifican la distribución de presiones en la zona de popa. En embarcaciones de planeo, las cuales operan a altas velocidades y obtienen la mayor parte de su empuje de fuerzas dinámicas, las fuerzas verticales de un flap pueden modificar el trimado en  $4^\circ$  a  $5^\circ$ . En este tipo de embarcaciones, la clave para minimizar la resistencia al avance es optimizar el trimado de la nave. La embarcación de planeo más efectiva es aquella que maximiza el empuje vertical del casco, y minimiza la superficie mojada, disminuyendo la resistencia por fricción y por olas, en las cuales el control del ángulo de trimado es relevante.

En contraste, en embarcaciones de mayor desplazamiento el uso de flaps solo altera el trimado de  $0.1^\circ$  a  $0.3^\circ$ . A

través de ensayos experimentales se ha encontrado que estos cambios de trimado tienen poco efecto en la resistencia al avance. El principal beneficio atribuido es el cambio inducido en el flujo alrededor del casco, el cual causa una reducción en la resistencia en la zona del espejo y modifica la resistencia por formación de olas de la nave.

Existen otros tipos de apéndices que, al ser instalados en una nave, mejoran el comportamiento hidrodinámico y producen efectos similares a los producidos por los flaps de popa. Estos son principalmente las cuñas de popa (wedges) y el sistema integrado wedge-flap, los cuales representan alternativas viables y pueden sustituir el uso de flaps.

### FENOMENOS HIDRODINAMICOS PRODUCIDOS POR LA PRESENCIA DE FLAPS DE POPA

Los mecanismos físicos que rodean la operación de un flap de popa constituyen un tema que está aún bajo investigación y discusión. Sin embargo, se ha logrado identificar los principales fenómenos presentes y los efectos que se producen alrededor del casco, a través de ensayos en más de 50 tipos de cascos distintos. Estos fenómenos y efectos deben ser vistos como una representación general para tener una buena comprensión de los mismos.

Los principales fenómenos presentes debido a la presencia de flaps de popa pueden clasificarse en tres fenómenos distintos:

- Modificaciones en el flujo en la zona de popa.
- Modificaciones en el Sistema de Formación de Olas.
- Efectos hidrodinámicos secundarios.

### Comportamiento del Flujo en la Zona de Popa

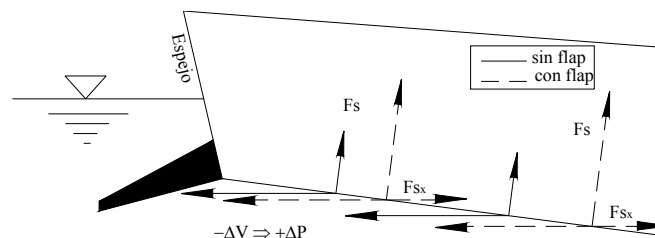
El comportamiento del flujo en la zona de popa puede ser dividido en tres simples fases: baja velocidad, zona de transición y alta velocidad. A bajas velocidades, la zona del espejo y el flap están completamente mojados y el flujo no presenta separación del casco. La resistencia al avance es relativamente alta debido a la gran superficie mojada y la significativa formación de vórtices. A medida que aumenta la velocidad, el espejo está cada vez menos sumergido y menos agua tiende a fluir por encima del flap.

En un pequeño rango de velocidades, en números de Froude más altos, el flujo en la zona de popa pasa por un estado transitorio, periódicamente separándose libre del espejo y del flap, y luego retrocediendo hacia ellos para mojarlos nuevamente. Por lo general, este rango de velocidades se sitúan entre  $0.3 < F_N < 0.6$ .

A altas velocidades ocurre la tercera fase, en la cual el flujo se separa constante y claramente del borde exterior del flap. La velocidad en la que comienza esta fase depende de diversos factores, tales como el desplazamiento, el trimado, el diseño e inmersión de la zona del espejo y el diseño específico del flap.

### Modificaciones en el Flujo en la Zona de Popa

El efecto principal producido por un flap es la reducción en la velocidad del flujo, y con ello se produce un aumento de la presión debajo del casco (Figura 2). Se ha encontrado que los flaps pueden producir variaciones en el flujo en una extensión de entre 5% y 15% de  $L_{pp}$ , aumento de presión de hasta  $0.3 \text{ Kg/cm}^2$  en la zona del espejo y  $0.04 \text{ Kg/cm}^2$  en la zona de la hélice a velocidades cercanas a  $F_N = 0.4$  [1]. Además, el incremento de la presión dinámica genera una fuerza de sustentación con una componente en sentido del movimiento de la nave, lo que ayuda a contrarrestar el arrastre producido en la zona de popa.



donde:

- Fs = Fuerzas de sustentación
- ΔV = Disminución de velocidad causada por el flap
- +ΔP = Aumento de presión causado por -ΔV
- Fsx = Componente de Fs en el sentido del avance.

Figura 2: Aumento de presión / reducción de resistencia

Se han observado que la velocidad de salida del flujo del borde exterior del flap es mayor a la de la nave sin flap. Este incremento produce una reducción sustancial de la velocidad de separación del flujo, lo que genera una separación más ordenada de éste, y que se traduce en una significativa reducción de vórtices, y por lo tanto de la resistencia de presión de origen viscoso.

### Modificaciones en el Sistema de Formación de Olas

El flujo alrededor de la zona del espejo sin la presencia de flaps se ve afectada por una pérdida de energía del campo próximo al casco, debido a fenómenos de origen de presión viscosa (vórtices y gran turbulencia principalmente), las cuales no se propagan a la energía del campo lejano [1]. A velocidades equivalentes, la presencia de un flap produce en el flujo alrededor de esta zona una reducción de: altura de ola, pendiente y posición de la primera cresta de ola en la salida del espejo, velocidad en donde se alcanza una separación ordenada del tren de olas y cantidad de “espuma” en las olas de salida de los bordes del flap (Figura 3). Las velocidades de separación del flujo en la zona del espejo son menores a las registradas en las pruebas de mar.



a) b)  
Figura 3: Vistas del Flujo en la Zona del Espejo  
a) Sin Flap. b) Con Flap.  
Cortesía DTMB – U.S. Navy

A través de diversos ensayos se ha encontrado una disminución en la altura de la superficie libre de las olas presentes en el campo lejano del casco. Este fenómeno comienza a producirse a partir de las velocidades medias de la fase de transición (alrededor de  $F_N = 0.45$ ). Esta disminución de altura de ola produce una reducción en el coeficiente de formación de olas a velocidades equivalentes [2].

### Fenómenos Hidrodinámicos Secundarios

La presencia de un flap de popa produce una serie de fenómenos hidrodinámicos, que en su conjunto contribuyen a mejorar los beneficios hidrodinámicos producidos por su presencia. Estos fenómenos son los siguientes:

- Aumento de la línea de agua efectiva
- Interacción propulsiva
- Modificaciones en el trimado
- Reducción del desplazamiento aparente
- Variaciones de las fuerzas de Lift y Drag.

### Influencia de Fenómenos Viscosos

“Generalmente, el rendimiento de un flap instalado en una embarcación a escala real es mayor que el obtenido en los ensayos de canal. Este hecho ha llevado a los diseñadores a concluir que, como consecuencia de la menor escala, las condiciones del flujo alrededor del modelo de un flap de popa son distintas a las que ocurren en la nave prototipo. Esto es atribuido a la presencia de fenómenos viscosos [1], los cuáles no se reproducen exactamente a escala, dado que los ensayos de canal se realizan a iguales  $F_N$  entre la embarcación real y el modelo, y los fenómenos viscosos dependen del número de Reynolds en general.

La presión bajo el casco varía según el factor de escala. Como es conocido, la capa límite es mucho mas delgada a factores de escala altos. Es probable que la efectividad de un flap sea mitigado por el mayor grosor relativo de la capa límite asociado a las pruebas con modelos muy pequeños. A través de simulaciones computacionales se ha demostrado que la componente de la resistencia por presión viscosa alrededor de la zona de popa tiene un significativo efecto asociado a diferentes números de Reynolds.

### RECOMENDACIONES GENERALES EN EL DISEÑO

Los flaps de popa representan un mecanismo viable para mejorar el rendimiento hidrodinámico de naves que operan a velocidades equivalentes superiores a  $F_N > 0.2$  [3]. En general, cuando se dispone de flaps de popa con cuerdas largas, se obtiene una mayor reducción de resistencia al avance a altas velocidades, y un menor rendimiento a velocidades bajas y medias.

Otro aspecto importante es la determinación del ángulo adecuado del flap. Al igual que al variar la cuerda, los flaps de mayor ángulo producen una mayor eficiencia a altas velocidades, y una menor reducción de resistencia a menores velocidades [2].

El aumento tanto del valor de la cuerda como del ángulo de flap produce una disminución en el trimado, generando un momento que reduce el calado en la proa. Esto puede ser útil para alterar las condiciones del flujo en esta zona, lo que ayudaría a corregir condiciones adversas a las ideales en cierto rango de velocidades, con los consecuentes beneficios adicionales en el rendimiento hidrodinámico.

El diseño de un flap de popa debe ser un compromiso entre los factores económicos y operativos de una embarcación. Previo a la etapa de diseño, se debe estudiar en forma detallada el perfil de misión de la nave, para así determinar el criterio de selección deseado. Es recomendable estudiar el rango de velocidades vs. el tiempo de operación anual en cada una de ellas, y no necesariamente enfocarse en la velocidad máxima o de servicio. Además, se debe investigar si existen limitaciones de trimado para las áreas operativas.

La mayor parte de las investigaciones sobre el diseño de flaps de popa ha sido desarrollada en el David Taylor Model Basin (DTMB), enfocando principalmente a su aplicación en embarcaciones militares de desplazamiento. Basados en su experiencia, recomiendan el diseño de flaps cuyas variables estén dentro de los siguientes valores [4,5]:

- Las cuerdas entre 0.5% y 2.5% de  $L_{pp}$ .
- Los ángulos efectivos están dentro de  $-10^\circ$  y  $+15^\circ$  generalmente. Sin embargo, debe estudiarse el efecto de esta variable a lo largo del rango de velocidades. No es de conocimiento de los autores la existencia de algún prototipo con flaps de popa operando con ángulos negativos.
- La envergadura debe alcanzar el máximo valor posible, sin que interfiera con los vórtices producidos en los bordes del espejo, y sin doblar significativamente la superficie del flap.

### DESCRIPCION DE LA EMBARCACION ENSAYADA

Con el objeto de medir el rendimiento hidrodinámico de las recomendaciones de diseño existentes, fue diseñada una serie de 6 flaps de popa, cuyas características están dentro de los rangos recomendados, y fueron instalados en un casco de semi-desplazamiento, cuyas formas representan a la lancha de pasajeros "Aguja", propiedad de la Autoridad del Canal de Panamá. Las formas de la embarcación son mostradas en la Figura 3, y sus dimensiones principales en la Tabla I.

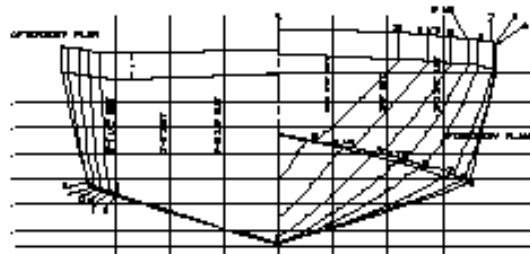


Figura 3.- Lancha de Pasajeros "Aguja"

Eslora entre Perpendiculares ( $L_{pp}$ )	15.14 m.
Eslora en Flotación ( $L_{WL}$ )	14.89 m.
Manga en Flotación ( $B_{WL}$ )	4.00 m.
Calado Medio ( $T_m$ )	0.83 m.
Desplazamiento ( $\Delta$ )	20.22 tonnes
Astilla Muerta	$18^\circ$
Velocidad Máxima ( $V_s$ )	20 Kn

Tabla I.- Características de la Lancha de Pasajeros "Aguja".

### DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES

Para la realización de los ensayos se construyó un modelo a escala, de madera, pintado, técnicamente liso, con un factor de escala  $\lambda=16$ , el cual fue dispuesto sin ningún tipo de apéndices. Los experimentos fueron realizados para el desplazamiento de máxima carga (20.22 Ton), para el rango de velocidades de 14 a 22 Kn; para las condiciones de casco sin flap, y casco dispuesto con una serie de 6 flaps de popa con variaciones en sus características geométricas y ángulos. Además, se realizaron ensayos con la extensión existente en el fondo, para medir la eficiencia hidrodinámica actual de la embarcación. Los ensayos se llevaron a cabo en el Canal de Pruebas Hidrodinámicas perteneciente al Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Austral de Chile.

La extrapolación al prototipo fue hecha con los datos obtenidos de los ensayos, haciendo uso del método de Froude y el coeficiente de fricción de ITTC-57, más la corrección por rugosidad y curvatura según ATTC de

0.0004 sobre el coeficiente de fricción de la nave y de 0.0 sobre el coeficiente de fricción del modelo. Con el objeto de inducir flujo turbulento a lo largo del modelo, se colocaron 6 pins estimuladores de turbulencia a cada banda, de 1/8" de diámetro, los cuales sobresalen 1/10" del casco, con una distancia entre pins de 1.4 cms. ubicados a popa de la intersección de la roda con la línea de agua y cubriendo una distancia de 10% de  $L_{WL}$ . La colocación de los pins se hizo según las recomendaciones del Ship Report N° 10 del NPL (Hughes). Todos los datos presentados en este estudio son válidos para la embarcación a escala real operando en aguas tranquilas y profundas, y en agua salada a una temperatura de 15°C y 35% de salinidad.

### SELECCIÓN Y EVALUACION DE LA SERIE DE FLAPS

La serie de flaps fue seleccionada siguiendo las recomendaciones encontradas en la bibliografía existente (1, 2, 3, 8), de acuerdo a los valores típicos de efectividad en embarcaciones similares. La Tabla II detalla las características principales de la serie ensayada.

Cada uno de los flaps fueron ensayados para los ángulos de flap ( $\beta$ ) de 0, 5 y 10°

Flap #	Cuerda (m)	Cuerda (% $L_{PP}$ )	Envergadura (m)	Envergadura (% $B_T$ )	Area (m <sup>2</sup> )
1	0.38	2.5	3.66	100	1.33
2	0.38	2.5	1.83	50	0.64
3	0.23	1.5	3.66	100	0.82
4	0.23	1.5	1.83	50	0.40
5	0.078	0.5	3.66	100	0.28
6	0.078	0.5	1.83	50	0.14

Tabla II.- Características de la serie ensayada.

Los siguientes son los criterios de selección que debe cumplir el flap óptimo de la serie:

- Reducción de resistencia al avance en el rango de velocidades de 18 a 22 Kn.
- Mantener o mejorar la eficiencia hidrodinámica del casco sin flap en el rango de velocidades de 14 a 18 Kn.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### Análisis de Resistencia del Casco Desnudo

Las figuras 4 y 5 muestran las curvas de resistencia al avance para flaps con envergadura 100% y 50%  $B_T$  respectivamente, con resultados extrapolados expresados en la forma adimensional resistencia/desplazamiento ( $R/\Delta$ ). En cada uno de los gráficos se trazó la curva de resistencia del casco sin flap, de tal modo de que se puedan observar las diferencias entre las distintas condiciones en estudio.

De la figura 4 se tiene que, para la envergadura 100%  $B_T$ , todos los flaps instalados reducen considerablemente la resistencia hidrodinámica en un amplio rango de velocidades. En las velocidades más bajas de estudio, los flaps más eficientes fueron los de ángulo 10° para todas las cuerdas. Se encontró que a medida que se incrementa la velocidad se observa que los flaps de menor ángulo aumentan progresivamente su efectividad. En altas velocidades, los flaps de mayor rendimiento fueron aquellos con ángulo 0°, con excepción del flap con cuerda 1.50%  $L_{PP}$  que tuvo su mejor rendimiento en el ángulo de 5° (figura 4.b). En general, se observó que a las más bajas velocidades todos los flaps son eficientes, y la pérdida de efectividad empieza entre  $1.85 \sim F_{N\Delta} \sim 2.1$  (18-22Kn).

Los flaps con envergadura de 50%  $B_T$  (Figura 5) presentan tendencias similares a las obtenidas por los flaps 100%  $B_T$ . A bajas velocidades, los flaps de mayor ángulo son los de mejor rendimiento, mientras que a altas velocidades, para todas las cuerdas, los de ángulo 0° son los más eficientes. En general, los flaps de esta envergadura empiezan a perder su efectividad en el rango de  $1.82 \sim F_{N\Delta} \sim 2.15$ .

#### Análisis de Coeficiente de Resistencia Residual

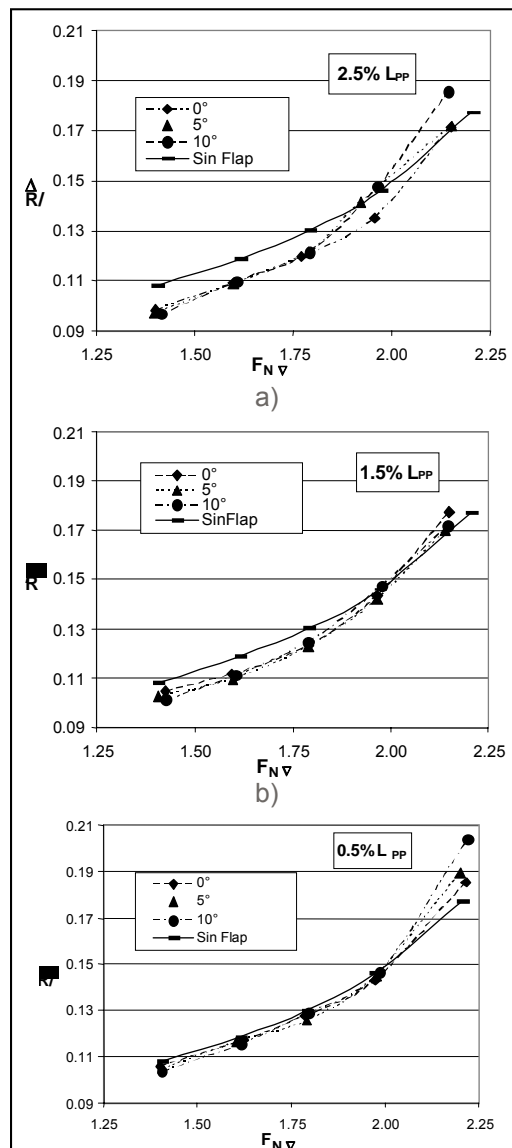
El coeficiente de resistencia residual ( $C_r$ ), el cuál incluye los fenómenos de olas y de presión viscosa, representa la mayor pérdida de energía en este tipo de embarcaciones. El análisis de este factor es esencial para el análisis de la eficiencia hidrodinámica en el rango de velocidades estudiado.

La figura 6 muestra las curvas en función de la velocidad para los flaps con envergadura 100%  $B_T$ . Como es de esperarse, para el rango de estudio, a medida que aumenta la velocidad disminuye el coeficiente  $C_r$ . De la figura

6.a se observa que el menor valor lo produce el flap 2.5%  $L_{PP}$  a  $0^\circ$ , aproximadamente a  $F_{N\Delta} \sim 1.95$  (19.5 Kn), reduciendo el coeficiente en alrededor 9.75% con respecto al casco sin flap. En general, las curvas mantienen las mismas tendencias para todas las cuerdas, en donde las mayores reducciones las ocasionan los flaps de menor ángulo. La única excepción fue el flap con cuerda 1.50%  $L_{PP}$  (Figura 6.b) en el ángulo  $10^\circ$ , el cuál cambia bruscamente su tendencia en  $F_{N\Delta} \sim 2.0$  y, aunque generando un  $Cr$  mayor al del casco sin flap, éste va aumentando su efectividad. Este es el único flap que a altas velocidades tiende a mejorar su rendimiento. En los flaps 50%  $B_T$  (Figura 7), las mayores reducciones de  $Cr$  las producen los flaps con ángulo  $0^\circ$  para todas las cuerdas entre  $2.05 \sim F_{N\Delta} \sim 2.15$ , y las máximas disminuciones estuvieron en el orden 6.75% en comparación con el casco sin flap.

### Incrementos en la Velocidad Máxima

Para todas las cuerdas se observaron las mismas tendencias que las obtenidas con las envergaduras 100%  $B_T$ , en donde a menores ángulos fueron mayores las reducciones de  $Cr$  registradas a altas velocidades. La disminución de resistencia al avance se traduce en un aumento de la velocidad máxima que puede alcanzar la embarcación. La Tabla III muestra los aumentos producidos por los flaps óptimos a cada velocidad. Para ambas envergaduras los mayores incrementos se registran en las velocidades bajas, destacando el flap 100%  $B_T$  con cuerda 2.50%  $L_{PP}$  en ángulo de  $5^\circ$ .



c)

Figura 4.- Resistencia / Desplazamiento – flaps de envergadura 100%  $B_T$ .

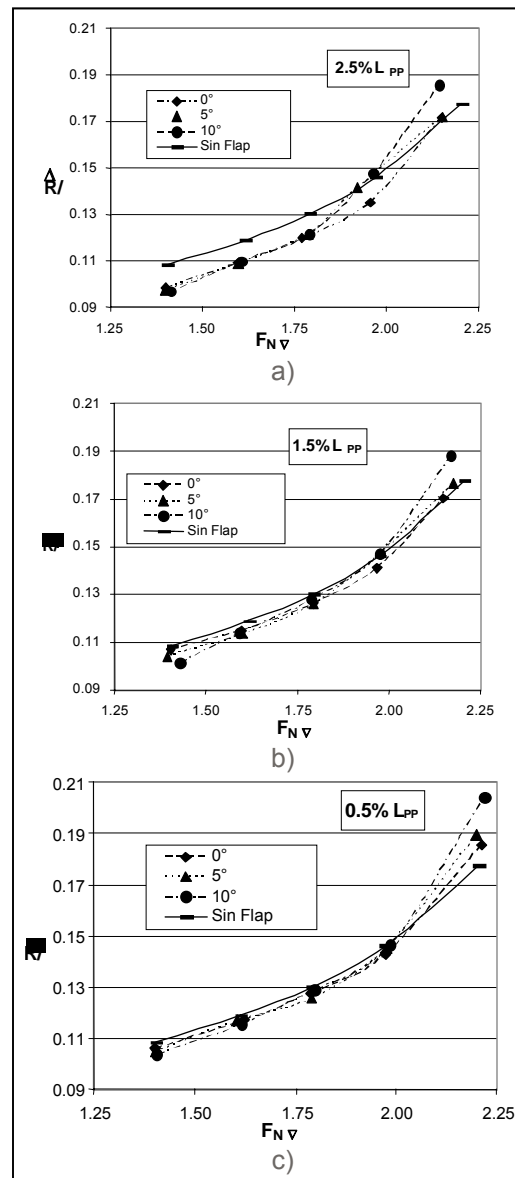


Figura 5.- Resistencia / Desplazamiento – flaps de envergadura 50%  $B_T$ .

V sin Flap (Kn)	Flaps 100% $B_T$			Flaps 50% $B_T$		
	Flap Tipo	V con Flap (Kn)	Incremento (%)	Flap Tipo	V con Flap (Kn)	Incremento (%)
14.5	2.5% $L_{PP}$ 5°	16	12.1	1.5% $L_{PP}$ 10°	15	6.8
16	2.5% $L_{PP}$ 5°	17.32	8.3	1.5% $L_{PP}$ 10°	16.78	4.9
17.5	0.5% $L_{PP}$ 5°	18.35	4.9	2.5% $L_{PP}$ 5°	17.89	2.2
19	2.5% $L_{PP}$ 0°	19.9	4.7	1.5% $L_{PP}$ 0°	19.47	2.5
20.5	2.5% $L_{PP}$ 0°	20.85	1.7	1.5% $L_{PP}$ 0°	20.79	1.4

Tabla III.- Incrementos en la velocidad máxima de los flaps 100%  $B_T$ .

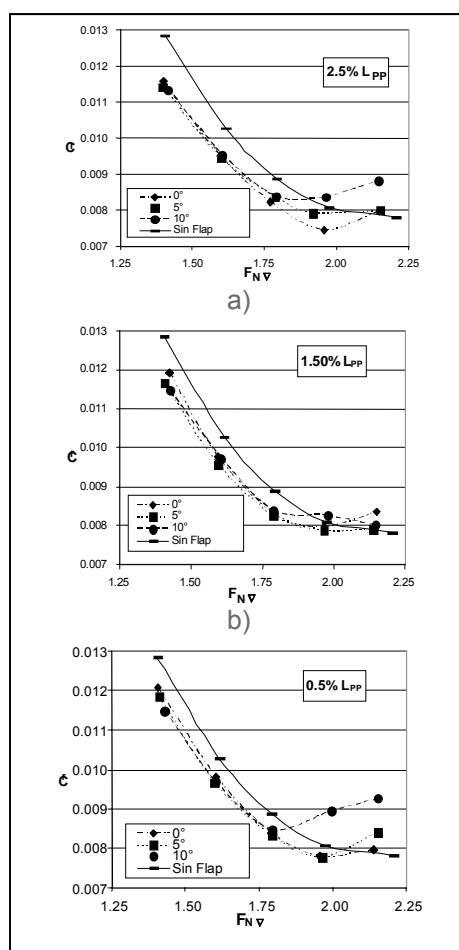
Teniendo en cuenta los requerimientos establecidos para la selección del flap óptimo, el flap de envergadura 100%  $B_T$ , cuerda 2.50%  $L_{PP}$  con ángulo  $0^\circ$  es el dispositivo ensayado de mejor rendimiento en el rango de velocidades estudiado.

### Análisis de Variaciones de Trimado

A excepción del flap con cuerda 0.5%  $L_{PP}$ , 50%  $B_T$  y ángulo  $0^\circ$  (Figura 9.c), todos redujeron considerablemente los ángulos de trimado con respecto al casco sin flap. En los ensayos con envergadura 100%  $B_T$  (Figura 8) se observan tendencias similares para todas las cuerdas y ángulos de estudio. Las más grandes diferencias de trimado la producen los flaps con ángulos de  $10^\circ$ , siendo el de cuerda 2.5%  $L_{PP}$  el que registró la mayor variación, encabuzando el modelo a  $1.25^\circ$  y produciendo una diferencia de  $1.9^\circ$  con respecto al casco sin flap. A medida que disminuye el ángulo del flap, disminuyen las variaciones en los ángulos de trimado en todo el rango de velocidades. En general, la presencia de un flap de esta envergadura tiende a encabuzar el modelo a lo largo del rango de velocidades estudiado.

Para la envergadura 50%  $B_T$  (Figura 9) se observan tendencias distintas al caso anterior. En los flaps con cuerda 2.5%  $L_{PP}$  (Figura 9.a) se produce un aumento del trimado hasta  $F_{N\Delta} \sim 1.65$  para todos los ángulos de flap, para posteriormente encabuzar el modelo a medida que se incrementa la velocidad. La presencia de flaps de otras cuerdas (Figura 9.b y 9.c) tiende a encabuzar la embarcación en todo el rango de velocidades estudiado. El mayor cambio de trimado lo producen los flaps de cuerdas 2.50%  $L_{PP}$  y 1.50%  $L_{PP}$  en ángulo de  $10^\circ$ , encabuzando la embarcación  $0.5^\circ$  y produciendo una diferencia de  $1.15^\circ$  con respecto al casco sin flap.

Comparando los resultados aquí obtenidos con los del análisis de resistencia al avance podemos notar que, para esta embarcación, no se producen semejanzas entre las diferencias de trimado y las reducciones en resistencia. Esto nos indica que existiría una independencia entre ambas variables en el rendimiento hidrodinámico esperado de la serie de flaps en estudio. Es evidente que las variaciones en resistencia están influidas por los cambios en el flujo.



c)

Figure 6.- Cr de Flaps 100% B<sub>T</sub>.

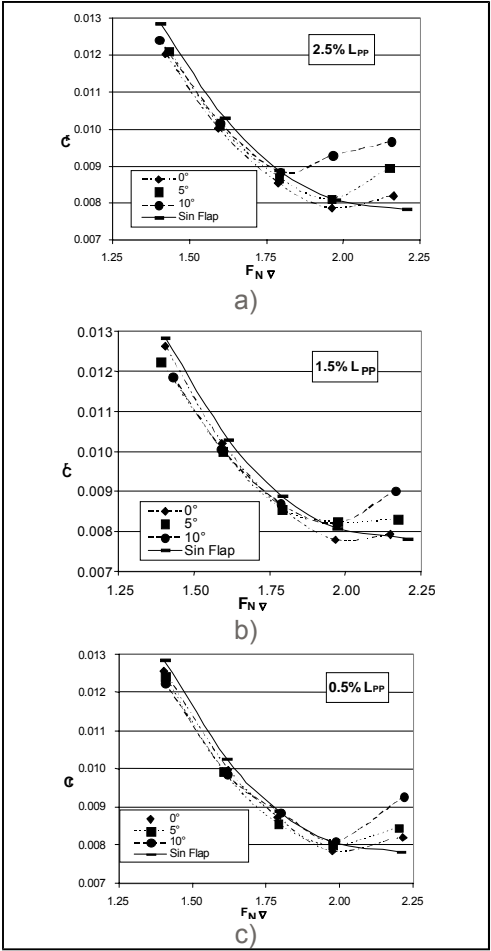


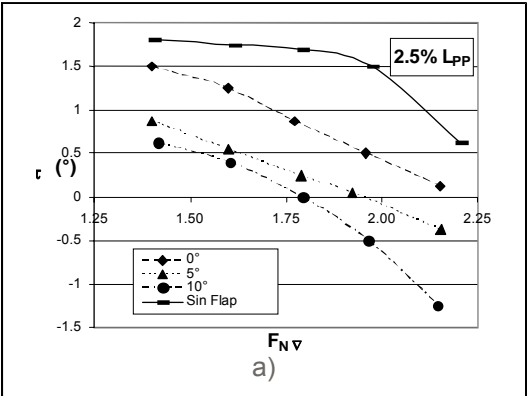
Figure 7.- Cr de Flaps 50% B<sub>T</sub>

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA HIDRODINÁMICA ACTUAL DE LA EMBARCACIÓN**

Como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad la embarcación dispone de una extensión del fondo que funciona como un flap de popa (100% B<sub>T</sub>, 1.0% L<sub>pp</sub>, 0°).

En la Figura 10 se muestra el comportamiento de la extensión, en comparación con el casco sin flap y con el flap de mejor rendimiento de la serie.

Como se puede apreciar, el flap existente es eficiente a lo largo del rango de estudio. Sin embargo, su rendimiento es menor que el flap óptimo de la serie, sin embargo, al aproximarse a  $F_{N\Delta} \sim 2.1$  ambos pierden efectividad.



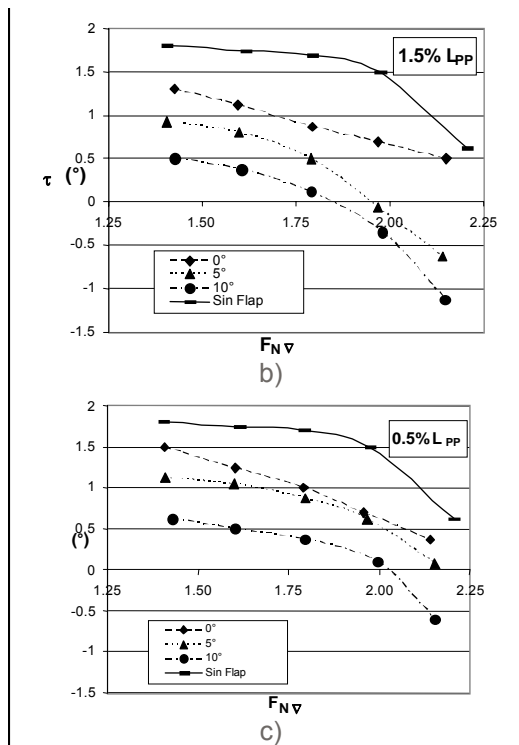
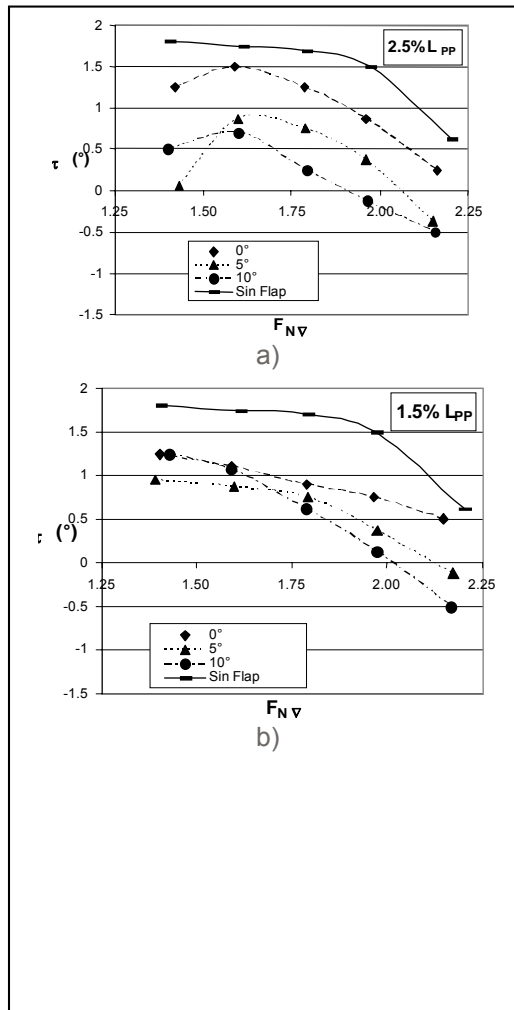


Figure 8.- Cambio de Trimado – Flaps con envergadura 100% B<sub>T</sub>.



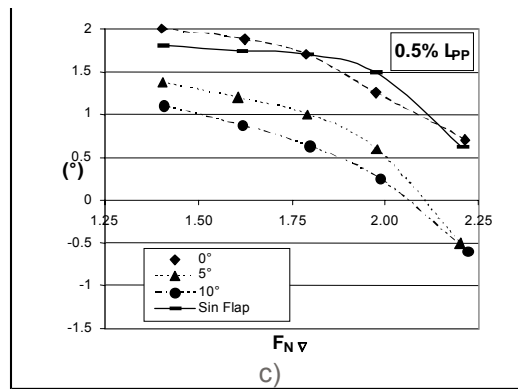


Figure 9.- Cambio de Trimado – Flaps con envergadura 50%  $B_T$ .

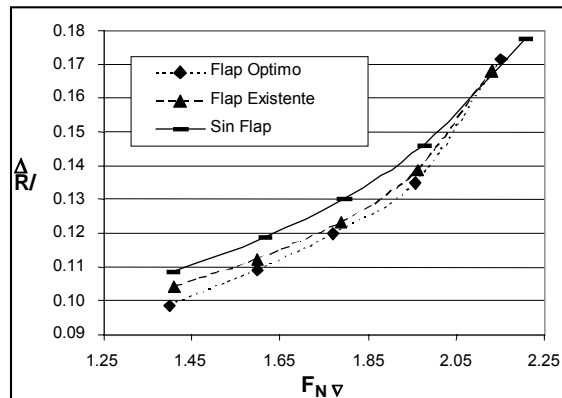


Figure 10: Resistencia/Desplazamiento del Flap Optimo y la extensión existente.

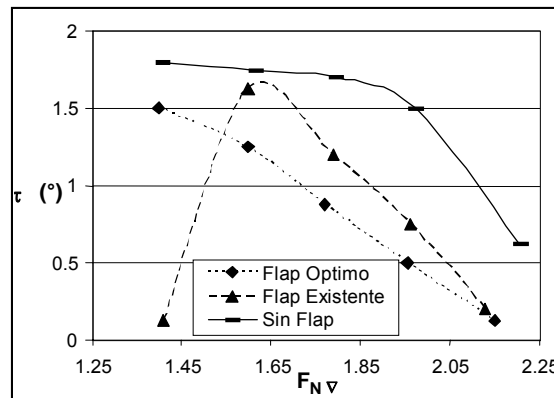


Figure 11: Cambios de trimado para el flap óptimo y la extensión existente.

## CONCLUSIONES

Mediante la realización de ensayos experimentales en un canal de pruebas, se midió el rendimiento hidrodinámico de una serie de flaps de popa en una lancha de semi-desplazamiento, cuyas características se obtuvieron siguiendo las recomendaciones de la literatura técnica. De estos ensayos se pudo concluir lo siguiente:

- Todos los flap mostraron una reducción en resistencia al avance a velocidades de  $F_{N\Delta} \sim 1.75$ .
- En general, a bajas velocidades, los flaps de mayor ángulo son los más eficientes. A medida que aumenta la velocidad, los ángulos de flaps óptimos disminuyen.
- Los flaps de mayor envergadura son los más eficientes en todo el rango de velocidades.
- No se estableció ninguna relación entre la variación de trimado y la reducción de resistencia al avance. Se sugiere que los beneficios en el rendimiento hidrodinámico son debidos a la variación en el flujo.
- Se encontró similitud entre las tendencias arrojadas de los ensayos con respecto a los cambios de

cuerdas y ángulos de flap, y las encontradas en las recomendaciones. Esta situación confirma la validez de las recomendaciones y su utilización como valores preliminares en la etapa de proyecto. Sin embargo, se deben estudiar a futuro los máximos valores de % de cuerda que producen eficiencia hidrodinámica y los posibles beneficios de la instalación de flaps con ángulos negativos, ya que se podrían producir mejores resultados a los obtenidos.

### **Agradecimientos**

Los Autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo y al Instituto de Ciencias Navales y Marítimas de la Universidad Austral de Chile; y a las autoridades del Canal de Panamá por su asistencia en el desarrollo de este trabajo.

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Karafiath G., Cusanelli D. and Wen Lin C, "Stern Wedges and Stern Flaps for Improved Powering – U.S. Navy Experience", SNAME 1999 Annual Meeting, September 29-October 02, 1999, Baltimore, MD.
2. Cusanelli D., "Stern Flap Powering Performance on the PC 1 Class Patrol Coastal, Full Scale Trials and Model Experiments", Patrol '96 Conference, New Orleans, L.A. (Dec. 96).
3. Cusanelli D. and Karafiath G., "Integrated Wedge-Flap for Enhanced Powering Performance", Fourth International Conference on Fast Sea Transportation, Sidney, Australia, 21-23 July, 1997.
4. Cusanelli D. and Forgach K., "Stern Flaps for Enhanced Powering Performance", Twenty-Fourth American Towing Tank Conference, College Station Texas, November 2-3, 1995.
5. Cusanelli, D. and Karafiath, G., "Stern Flaps", Professional Boatbuilder, April-May 2001
6. Rosas, José A., "Análisis Teórico y Experimental de la Eficiencia Hidrodinámica de Flaps de Popa en Embarcaciones Veloces", Tesis de Grado, Universidad Austral de Chile, Julio 2002.