

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO HIDRODINÁMICO DE APÉNDICES DE POPA EN CASCOS DE DESPLAZAMIENTO

M. Salas¹ msalas@uach.cl, P. Jimenez¹, J. Ahumada¹

P. Sepúlveda² y A. Gómez³

¹ Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Universidad Austral de Chile

² Geprocom. ³ Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales, Armada de Chile

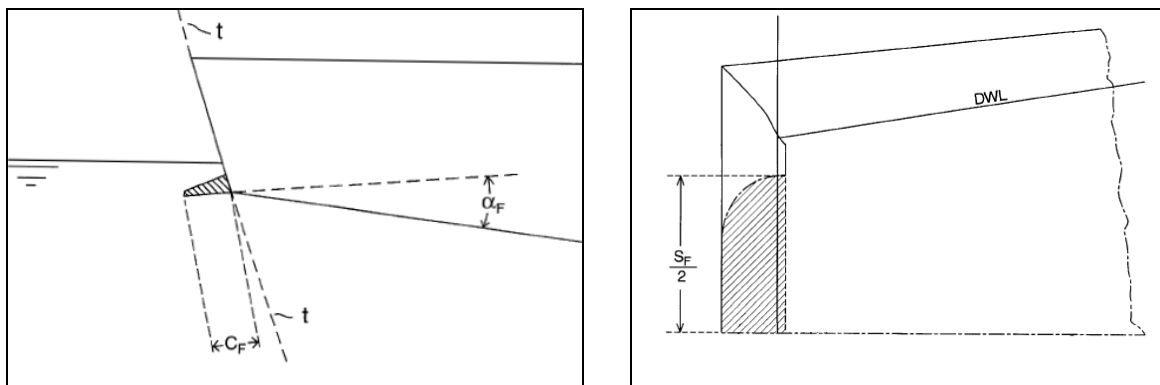
Resumen

Los efectos de una serie de flaps de popa en el rendimiento hidrodinámico de un casco de desplazamiento fueron evaluados mediante ensayos en el canal de pruebas hidrodinámicas de la Universidad Austral de Chile. Se obtuvieron configuraciones de flaps de popa de envergadura y cuerda fija con variación del ángulo de flap. Se evaluaron velocidades típicas de una embarcación de superficie para verificar los rangos de velocidad en que es ventajoso o perjudicial la instalación de estos apéndices. Los ensayos se realizaron con trimado fijo, condición aceptable en el rango de velocidades estudiado y dada la relativa esbeltez del casco ensayado. El rendimiento del casco sin flap fue también evaluado con el objeto de comparar el beneficio relativo obtenido para cada configuración de flap. Las principales características de los flaps ensayados fueron obtenidas de las recomendaciones de diseño existentes, las cuáles provienen principalmente de la experiencia en el diseño en embarcaciones militares de desplazamiento. Los ensayos mostraron resultados potencialmente beneficiosos, lo cual debe ser eventualmente comparado con ensayos en canales virtuales (CFD) e idealmente ratificado con pruebas a escala real.

1. Introducción

El flap de popa es un apéndice construido de una placa ubicada en el espejo con un ángulo relativo al fondo de la embarcación. La interacción con el casco causa variaciones en el trimado, reduce la resistencia a la propulsión y aumenta la velocidad máxima alcanzable.

Este tipo de apéndice comienza en el borde inferior que conforman la unión del espejo y el fondo del casco. Los parámetros principales para el diseño de la geometría de un flap de popa son: cuerda (C_F), envergadura (S_F) y ángulo (α_F), ver figura 1.



a) Vista de perfil

b) Vista horizontal

Fig. 1: características geométricas de un flap de popa, t (espejo), DWL (línea de flotación)

Existen otras características de la geometría del flap tales como forma de los bordes extremos, la variación transversal del espesor y el acabado de empalme de flap con el casco.

Estos apéndices son un mecanismo eficaz a velocidades correspondientes a $F_n > 0,2$. En la literatura técnica [1], [2], se recomienda considerar que las variables de los flaps estén dentro de los siguientes rangos:

- La cuerda entre 0,5 y 2,5% de L_{pp}
- El ángulo efectivo entre -10° a $+15^\circ$
- La envergadura debe alcanzar el máximo valor posible

1.1. Beneficios de los flaps de popa

Los factores beneficiosos de los flaps son:

- Cambio positivo sobre el trimado
- La fuerza de lift desarrollada
- Decrecimiento de la velocidad y aumento de la presión del flujo de la zona de popa
- Reducción de la energía del campo lejano y cercano de las olas
- Aumento de la eslora efectiva del barco

- Disminución del desplazamiento dinámico de la nave
- Mejoras en las características de cavitación y niveles de vibración

La aplicación de un flap de popa sobre naves de planeo induce cambios en el trimado, hasta 2°, mientras que las embarcaciones de desplazamiento (como es el caso de la nave del presente estudio) registran cambios despreciables de trimado, en el orden de solamente 0,2°.

2. Comportamiento del flujo en la zona de popa

La manera en que el flujo se comporta en la zona de popa puede ser dividida en tres fases: de baja velocidad, de transición y de alta velocidad.

Para la fase de baja velocidad, la zona del espejo y el flap están completamente mojados y el flujo no presenta separación del casco. En la fase de transición ocurre el cambio de fase de baja velocidad al de alta velocidad, este rango de velocidades se ubica generalmente entre $0,3 < F_n < 0,6$. En la tercera fase, la de alta velocidad, el flujo se separa libremente, en forma ordenada del borde exterior del flap.



Fig. 2: a) Casco a 22 nudos sin flap

b) Casco a 22 nudos con flap a 15°

En la figura 2, se puede apreciar el efecto de un flap sobre el flujo de salida del modelo ensayado a 22 nudos. En la figura 2-a modelo a casco desnudo. En la figura 2-b con flap de popa a 15°.

El flujo que se encuentra en la zona del espejo se ve afectado por pérdida de energía del campo próximo al casco debido a fenómenos de origen de presión viscosa. La aplicación de un flap provoca en el flujo de esta zona una disminución de: altura de ola, pendiente y posición de la primera cresta de ola, en la salida del espejo, y cantidad de espuma en las olas de salida de los bordes del flap.

2.1. Variaciones de las fuerzas de lift y drag

Un flap de popa en todas las condiciones generará una fuerza de lift y drag sobre la embarcación. El drag tiene un sentido contrario al avance de la nave. Los valores altos de drag se generan en el rango de bajas velocidades y disminuye a medida que aumenta la velocidad y se logra una mayor uniformidad en la separación de flujo. El lift tiene un sentido vertical y perpendicular al drag (ver figura 3).

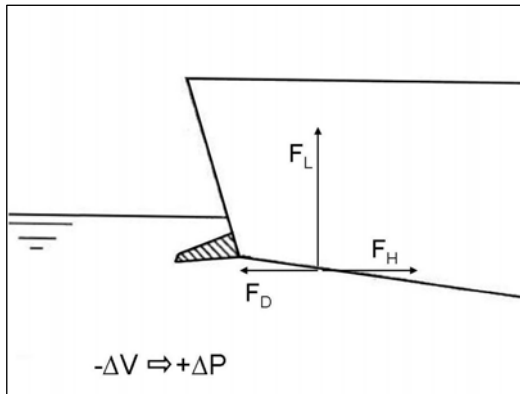


Fig. 3: fuerzas generadas por el aumento de presión en la zona de popa

F_L = fuerza de lift

F_D = fuerza de drag

F_H = fuerza horizontal

$-\Delta V$ = decrecimiento de velocidad

$+\Delta P$ = aumento de presión

3. Introducción para el ensayo experimental

3.1. Descripción general de la nave en estudio

La nave de desplazamiento en estudio corresponde a las formas de una unidad de superficie moderna. Las formas se extrajeron a partir del casco digitalizado en un software de diseño.

Características principales:

-Vel. máx. : 30,0 Kn

-Eslora : 148,2 m

-Manga : 13,9 m

-Calado : 4,6 m

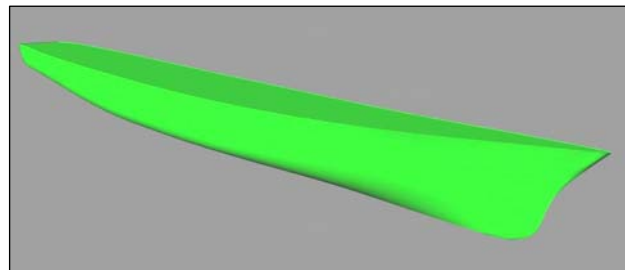


Fig. 4: modelo digital del monocasco en estudio

3.2. Descripción del modelo a ensayar

La escala del modelo (λ) fue de 80. La construcción fue regida por las recomendaciones de la ITTC para la manufactura de modelos. La definición de los estimuladores fue realizada según las recomendaciones del Ship Report N° 10 de NPL, de Hughes y Allan. Las dimensiones principales del modelo a la escala definida fueron:

$$\begin{array}{lll} L_{oa} = 1.764,0 \text{ mm} & B_{max} = 184,0 \text{ mm} & D = 100,0 \text{ mm} \\ L_{wl} = 1.704,0 \text{ mm} & T = 57,5 \text{ mm} & \Delta = 9,27 \text{ Kg} \end{array}$$

3.3. Selección de la serie de flaps

Para escoger los flaps de la serie se tomó en consideración los tres principales parámetros geométricos: envergadura, cuerda, ángulo. Para realizar la selección de estos parámetros se tomó como apoyo las consideraciones de diseño ya existentes y también una base de datos sobre ensayos del canal de pruebas del David Taylor Model Basin.

Los extremos de las regiones finales del flap fueron construidos con una curvatura de radio igual a la longitud de la cuerda y se procuró mantener la longitud de cuerda efectiva en toda la extensión del flap. La siguiente tabla presenta las dimensiones de los flaps de la serie.

Nº Flap	α_F (°)	C_F % L_{pp}	C_F Prototipo (m)	C_F Modelo (mm)	S_F Prototipo (m)	S_F Modelo (mm)
1	0	1,0	1,32	16	7,0	87,5
2	5	1,0	1,32	16	7,0	87,5
3	10	1,0	1,32	16	7,0	87,5
4	15	1,0	1,32	16	7,0	87,5

Tabla 1: dimensiones de los flaps



a) Flap N° 1, 0° de inclinación



b) Flap N° 2, 5° de inclinación



c) Flap N° 3, 10° de inclinación



d) Flap N° 4, 15° de inclinación

Fig. 5: vista lateral del modelo con cada uno de los flaps ensayados

3.4. Extrapolación de resultados

El ensayo fue realizado bajo la ley de similitud de Froude. La resistencia por fricción del modelo fue calculada utilizando el coeficiente de fricción según ITTC-78. La corrección en el coeficiente de fricción del modelo por efecto de rugosidad y curvatura se hizo según ATTC ($4 \cdot 10^{-4}$). La resistencia por apéndices para efectos del estudio, se estimó en el orden del 7% de la resistencia del casco desnudo. La resistencia por aire, se determinó usando la recomendación de Baker en que: $R_a = C_A \times 1/2 \times \rho_A \times V_b^2 \times A$.

4. Resultados del ensayo experimental

4.1. Objetivos

Por medio de este análisis experimental de resistencia al avance se obtuvieron dos grupos de resultados sobre la influencia hidrodinámica causada por una serie de flaps de popa en una embarcación de superficie. Los grupos de resultados corresponden al modelo sin y con estimuladores de turbulencia, referidos como etapa N° 1 y 2.

4.2. Generalidades

En la etapa N° 1 se realizaron los ensayos del primer grupo de valores, donde el modelo está sin estimuladores de turbulencia, esto con motivo de ser utilizados en un estudio posterior de correlación de resultados canal con simulación de un CFD.

La etapa N° 2 abarca los ensayos para obtener el segundo grupo de datos y, a diferencia de la etapa N°1, con la presencia de estimuladores de turbulencia en el modelo, para realizar la extrapolación a prototipo y hacer un análisis de la influencia hidrodinámica de la serie de flaps sobre la unidad de desplazamiento en estudio.

Las consideraciones de los ensayos fueron:

- El rango de velocidades estudiadas fue entre 14 y 30 nudos
- Se realizaron ensayos cada dos nudos
- El modelo fue ensayado a un único calado y parejo de 4,6 m en escala real.
- El punto de remolque fue ubicado en el LCF del calado de ensayo
- En los ensayos no se realizaron mediciones de trimado
- El fluido del canal de pruebas corresponde a agua dulce

Las condiciones ensayadas se resumen en la tabla 2 y los valores de temperatura tabulados, hacen referencia al agua del canal pruebas.

N° Condición	Flaps	T °C	
1	S/F	11	ETAPA N°1
2	0°	11	
3	5°	13	
4	10°	13	
5	15°	13	
6	S/F	13	ETAPA N°2
7	0°	13	
8	5°	13	
9	10°	13	
10	15°	13	

Tabla 2: condiciones ensayadas

4.3. Resultados etapa N° 1

La tabla 3 presenta un resumen de los resultados obtenidos de la etapa N° 1 de los ensayos. En este resumen de datos se expresa la resistencia del modelo a la velocidad del modelo en metros por segundos correspondiente a la velocidad en nudos de la escala natural.

Vel. Prototipo (Kn)	Vel. Modelo (m/s)	Sin Flap Resist. (gr)	Flap 0° Resist. (gr)	Flap 5° Resist. (gr)	Flap 10° Resist. (gr)	Flap 15 Resist. (gr)
14	0,805	55,1	58,0	59,3	60,4	60,6
15	0,863	61,1	64,1	64,0	66,4	65,9
16	0,920	69,1	71,6	70,5	73,1	72,7
17	0,978	80,7	81,2	80,2	81,2	82,4
18	1,035	94,5	92,9	92,1	91,6	94,9
19	1,093	108,9	106,2	104,8	105,0	109,0
20	1,150	123,3	119,7	118,1	119,9	123,1
21	1,208	137,0	132,3	131,7	133,1	135,6
22	1,265	149,9	144,9	145,1	145,4	147,4
23	1,323	162,2	158,8	158,1	157,9	159,4
24	1,380	176,0	174,5	172,0	171,7	173,0
25	1,438	193,7	192,4	190,4	188,6	190,1
26	1,495	217,2	213,5	216,2	211,6	212,9
27	1,553	244,8	240,0	242,4	239,7	239,1
28	1,610	275,7	272,5	269,2	270,9	268,7
29	1,668	309,7	306,9	300,7	302,5	303,4
30	1,725	345,7	341,4	337,6	334,0	342,7

Tabla 3: Resumen de los resultados etapa N° 1

4.4. Resultados etapa N° 2

4.4.1. Curvas de potencia efectiva en condición de viaje de pruebas

Los siguientes diagramas presentan las curvas de potencia efectiva, EHP, en condición de viaje de pruebas. Los gráficos son presentados en unidades de nudos por HP.

Los siguientes gráficos presentan los resultados del modelo con cada uno de los flaps de la serie y, además, se presenta trazada la curva de la nave sin flaps.

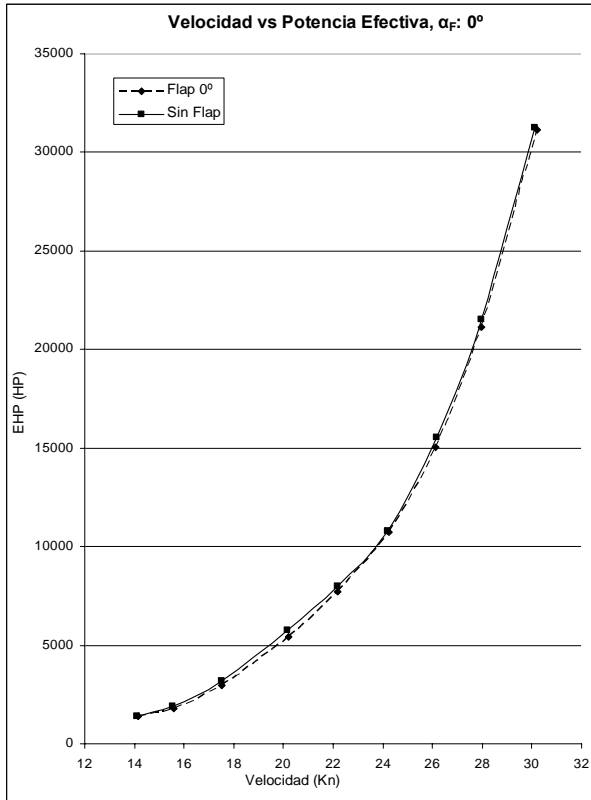


Figura 6: flap 0°

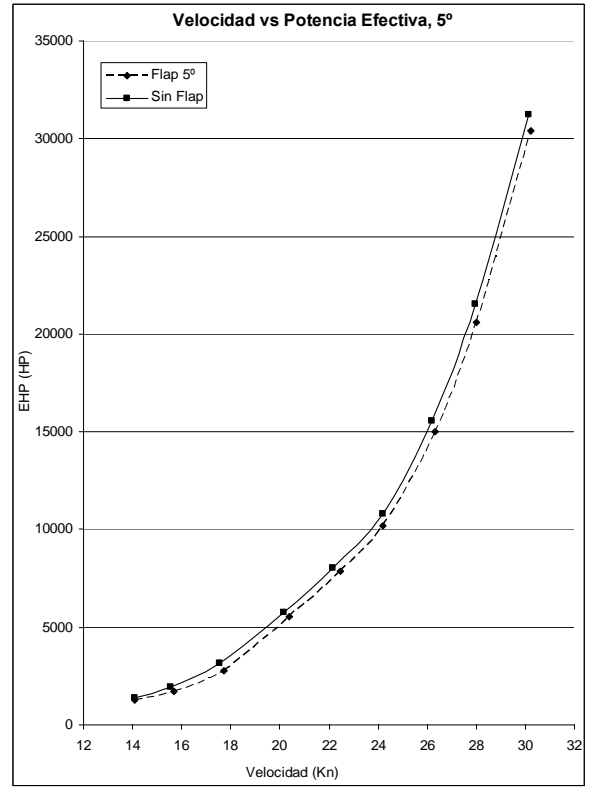


Figura 7: flap 5°

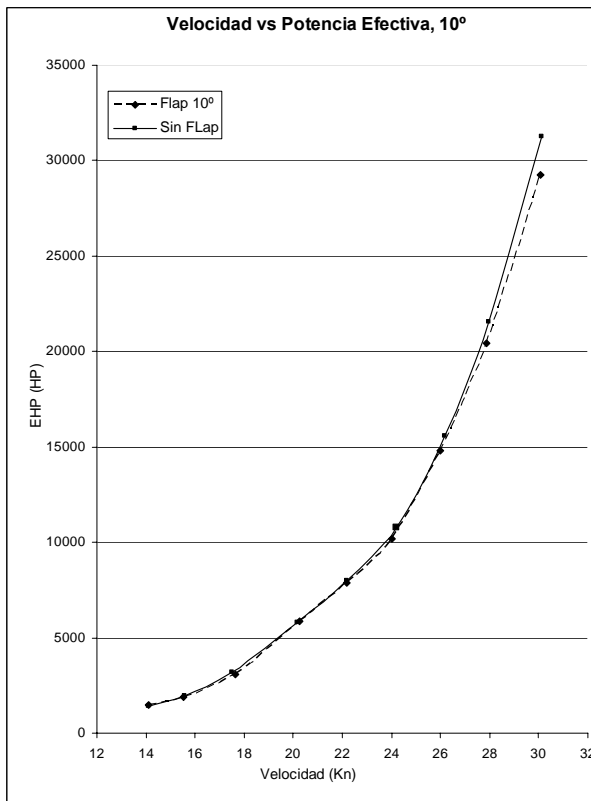


Figura 8: flap 10°

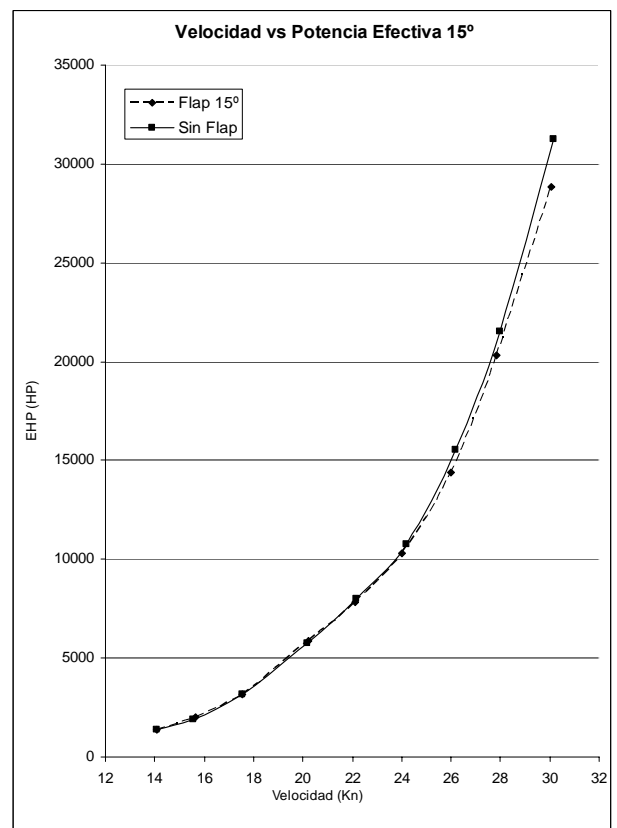


Figura 9: flap 15°

4.4.2. Resultados tabulados de la extrapolación

Para realizar una comparación y evaluación de la influencia de la serie de flaps se presenta la tabla 4, donde se aprecia la variación de velocidad inducida por los flaps en comparación con el casco sin flaps, además se elaboraron las tablas 5 y 6, éstas muestran los EHP en función de la velocidad en condición de “viaje de pruebas” y de “canal de pruebas”, respectivamente.

Fn	S.F.		0°		5°		10°		15°	
	Vel. (Kn)	EHP (HP)	Vel. (Kn)	%	Vel. (Kn)	%	Vel. (Kn)	%	Vel. (Kn)	%
0,20	14,0	1365	14,1	0,4	14,5	3,6	13,6	-2,9	14,0	0,1
0,21	15,0	1684	15,3	1,7	15,7	4,3	14,8	-1,5	14,9	-0,9
0,23	16,0	2128	16,3	1,7	16,7	4,1	16,0	0,1	15,9	-0,6
0,24	17,0	2782	17,3	1,6	17,7	4,0	17,2	1,2	17,1	0,4
0,25	18,0	3603	18,3	1,7	18,6	3,5	18,2	1,2	18,1	0,7
0,27	19,0	4540	19,3	1,7	19,5	2,8	19,1	0,6	19,0	0,2
0,28	20,0	5560	20,3	1,7	20,4	2,2	20,0	0,1	19,9	-0,3
0,30	21,0	6640	21,3	1,4	21,5	2,1	21,0	0,1	20,9	-0,3
0,31	22,0	7772	22,2	1,0	22,4	1,9	22,1	0,6	22,0	0,1
0,32	23,0	9009	23,1	0,5	23,4	1,8	23,2	0,8	23,1	0,3
0,34	24,0	10451	24,0	0,1	24,4	1,5	24,1	0,6	24,1	0,4
0,35	25,0	12361	25,0	0,0	25,3	1,2	25,1	0,3	25,1	0,5
0,37	26,0	14967	26,1	0,3	26,3	1,1	26,1	0,2	26,2	0,8
0,38	27,0	18052	27,1	0,4	27,3	1,0	27,1	0,5	27,2	0,9
0,39	28,0	21552	28,1	0,4	28,3	0,9	28,2	0,8	28,2	0,9
0,41	29,0	25782	29,1	0,4	29,2	0,8	29,3	1,1	29,3	1,2
0,42	30,0	30730	30,1	0,4	30,3	0,9	30,4	1,4	30,6	1,9

Tabla 4: Variación de velocidad para potencia de referencia sin flap

Los valores de velocidades mostrados en la tabla, son a igual potencia efectiva del casco sin flap (ver columna referencia EHP).

S.F. = sin flaps

EHP = potencia efectiva, en HP

Vel. = velocidad en nudos

(-,+) = decrecimiento e incremento de la velocidad, respectivamente

	S.F.	0°		5°		10°		15°	
Vel. (Kn)	EHP (HP)	EHP (HP)	% (+,-)	EHP (HP)	% (+,-)	EHP (HP)	% (+,-)	EHP (HP)	% (+,-)
14	1365	1353	-0,9	1253	-8,2	1473	7,9	-5	-0,4
15	1684	1605	-4,7	1488	-11,6	1752	4,0	55	3,3
16	2128	1988	-6,6	1817	-14,6	2122	-0,3	49	2,3
17	2782	2587	-7,0	2321	-16,6	2650	-4,7	-46	-1,7
18	3603	3350	-7,0	3031	-15,9	3398	-5,7	-106	-2,9
19	4540	4228	-6,9	3967	-12,6	4403	-3,0	-32	-0,7
20	5560	5210	-6,3	5060	-9,0	5539	-0,4	77	1,4
21	6640	6298	-5,2	6182	-6,9	6612	-0,4	64	1,0
22	7772	7488	-3,7	7289	-6,2	7638	-1,7	-30	-0,4
23	9009	8831	-2,0	8477	-5,9	8785	-2,5	-101	-1,1
24	10451	10395	-0,5	9859	-5,7	10202	-2,4	-145	-1,4
25	12361	12343	-0,1	11674	-5,6	12172	-1,5	-260	-2,1
26	14967	14789	-1,2	14144	-5,5	14800	-1,1	-551	-3,7
27	18052	17698	-2,0	17145	-5,0	17637	-2,3	-781	-4,3
28	21552	21139	-1,9	20581	-4,5	20737	-3,8	-896	-4,2
29	25782	25294	-1,9	24679	-4,3	24468	-5,1	-1356	-5,3
30	30730	30128	-2,0	29411	-4,3	28815	-6,2	-2302	-7,5

Tabla 5: EHP en condición de viaje de pruebas

	S.F.	0°		5°		10°		15°	
Vel. (Kn)	EHP (HP)	EHP (HP)	% (+,-)	EHP (HP)	% (+,-)	EHP (HP)	% (+,-)	EHP (HP)	% (+,-)
14	1244	1233	-0,9	1139	-8,4	1342	7,9	1239	-0,4
15	1535	1461	-4,8	1352	-11,9	1598	4,1	1590	3,6
16	1943	1812	-6,7	1652	-15,0	1936	-0,4	1988	2,3
17	2545	2363	-7,2	2114	-16,9	2420	-4,9	2501	-1,7
18	3300	3064	-7,2	2767	-16,2	3110	-5,8	3203	-2,9
19	4168	3877	-7,0	3635	-12,8	4044	-3,0	4141	-0,6
20	5112	4785	-6,4	4645	-9,1	5093	-0,4	5184	1,4
21	6102	5782	-5,2	5674	-7,0	6075	-0,4	6160	1,0
22	7144	6879	-3,7	6693	-6,3	7018	-1,8	7115	-0,4
23	8280	8113	-2,0	7784	-6,0	8071	-2,5	8186	-1,1
24	9611	9558	-0,6	9057	-5,8	9378	-2,4	9476	-1,4
25	11379	11359	-0,2	10735	-5,7	11202	-1,6	11134	-2,2
26	13791	13623	-1,2	13021	-5,6	13633	-1,1	13275	-3,7
27	16647	16318	-2,0	15798	-5,1	16260	-2,3	15918	-4,4
28	19895	19509	-1,9	18987	-4,6	19134	-3,8	19058	-4,2
29	23822	23365	-1,9	22791	-4,3	22595	-5,2	22554	-5,3
30	28414	27853	-2,0	27182	-4,3	26626	-6,3	26265	-7,6

Tabla 6: EHP en condición de canal de pruebas

Vel. = velocidad en nudos

(-,+) = decrecimiento e incremento de la potencia, respectivamente

5. Análisis de los resultados tamaño prototipo (datos etapa N°2)

5.1. Análisis del flap 0°

El experimento mostró que el flap de 0° decrece la potencia efectiva a lo largo de todo el rango de las velocidades estudiadas. Otras observaciones son:

- Dentro de las velocidades estudiadas, este flap presenta los mayores beneficios en el rango de bajas velocidades, específicamente entre los 16 y 21 nudos, donde se supera el 5% de reducción de los EHP en viaje de pruebas. Luego de la velocidad de 21

nudos el porcentaje de reducción de EHP decrece paulatinamente y hasta no superar más del 2%

- Los valores más favorables sobre la velocidad, se presentan en el rango de los 15 y 21 nudos, donde hay un incremento de 0,3 nudos para todas las velocidades
- Los valores positivos sobre la velocidad en el rango de 24 y 30 nudos que registra el flap sobre la nave, se pueden considerar como despreciables, ya que no registran un incremento más del 1% de la velocidad en la condición de viaje de pruebas. Por lo tanto, podemos concluir que el flap no tiene influencia sobre la resistencia a la propulsión de la nave en el rango de 24 y 30 nudos

5.2. Análisis del flap 5°

El flap de 5°, al igual que el de 0°, disminuye la potencia a lo largo de todo el rango de velocidades estudiado, pero presenta porcentajes mayores de beneficio que éste.

Observaciones del flaps de 5°:

- El flap presenta su máximo beneficio a los 17 nudos, con el decrecimiento de 16,6% de los EHP en condición de viaje de pruebas. En las velocidades posteriores comienzan a decrecer los porcentajes hasta el orden del 4% a los 29 y 30 nudos
- Con respecto al aumento de la velocidad, entre los 14 y 19 nudos se mantiene un incremento por sobre los 0,5 nudos, y llegando hasta los 0,7 nudos en los 15, 16 y 17 nudos, todo esto en la condición de viajes de pruebas

5.3. Análisis del flap 10°

El flap comienza a presentar valores positivos a la velocidad de 16 nudos del rango ensayado. Bajo esta velocidad tiene un efecto de penalización sobre la resistencia.

Del flap de 10° se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Tiene un efecto de incremento de los EHP en las velocidades 14 y 15 nudos, en condición de servicio, de 7,5 y 3,9 %, respectivamente
- El flap a partir de los 26 nudos comienza a tener porcentajes de disminución considerable en la potencia y llega alcanzar su máximo beneficio a la velocidad de 30 nudos, donde se disminuye en 6,2% los EHP en condición de viaje de pruebas
- El mayor incremento de velocidad es en los 30 nudos, el cual es de 0,4 nudos

5.4. Análisis del flap 15°

Este flap a las bajas velocidades del rango ensayado, entre las de 14 y 21 nudos, presenta un comportamiento donde se dan valores tanto con efectos positivos como negativos. Los porcentajes de diferencia que se dan con respecto a la nave sin flap, en estas velocidades, no superan el 1%. Estos porcentajes son bajos y se pueden considerar como despreciables y concluir que el flap de 15° no tiene influencia en la nave entre las velocidades de 14 y 21 nudos.

El flap comienza a tener incidencia y presentar resultados positivos sobre la nave de manera clara y creciente a partir desde los 22 nudos de velocidad. Del flap de 15° se puede hacerse las siguientes observaciones:

- La mayor reducción de potencia en la condición de servicio ocurre a los 30 nudos, disminuyendo 7,5% los EHP
- Para la velocidad de los 30 nudos, se puede llegar a un incremento 0,6 nudos

6. Recomendaciones para futuros estudios

A continuación se presentan cuatro puntos con recomendaciones a considerar para futuros estudios:

- Realizar ensayos con ángulos intermedios de flaps dentro del rango estudiado. Si se desea buscar mejoras para bajas velocidades, y teniendo presente los resultados beneficiosos del flap de 5°, los ángulos estudiados podrían ser: 2,5 y 7,5°. En cambio, si se está interesado por buscar mejoras a altas velocidades se recomienda estudiar los ángulo de 12,5 y 17,5°
- Para tener más antecedentes e información sobre la influencia de los flaps en la nave estudiada, se sugiere hacer ensayos con flaps que varíen en el parámetro de la cuerda
- La eficiencia de los flaps en condición de servicio (presencia de mar irregular y oscilaciones de la nave) es un aspecto que debe ser estudiado con detalle. Las investigaciones anteriores han indicado que la eficiencia de los flaps no se ve afectada en condición de servicio
- La influencia que podría tener la hélice en la eficiencia de los flaps estudiados, debe ser chequeada, a pesar que en otros estudios realizados sobre el tema, no registran efectos perjudiciales

7 Conclusiones

Los ensayos mostraron resultados potencialmente beneficiosos, los cuales deben ser eventualmente comparados con ensayos en canales virtuales (CFD) e idealmente ratificados con pruebas a escala real.

Con respecto a los resultados obtenidos se hacen las siguientes observaciones:

- El flap de 5° es el que presenta mayores beneficios entre los 14 y 28 nudos
- El flap de 15° es el que presenta mayores beneficios entre las velocidades de 29 y 30 nudos
- El fenómeno de penalización en las bajas velocidades que tienen los flaps de 10 y 15° no es de sorprender, ya que los flaps de grandes ángulo sufren este tipo de inconveniente. Pero en recompensa tienen mayores beneficios a las velocidades altas como lo demuestra el flap de 15° en las velocidades de 29 y 30 nudos

Agradecimientos

El presente trabajo presenta resultados parciales del proyecto de investigación código DID I2007-07 en desarrollo bajo el convenio de cooperación científica entre la Universidad Austral de Chile y la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales de la Armada de Chile. Se agradece a la Armada de Chile el financiamiento del Proyecto y el aporte de información técnica relevante.

Referencias

- [1] M. Salas, J. Rosas and R. Luco. "Hydrodynamic Analysis of the Performance of Stern Flaps in a Semi-Displacement Hull". Latin American Applied Research. Vol. 34 2004, p.275-284. [2] Cusanelli, D., Karafiath, G., and Lin, Cheng Wen, "Stern Wedges and Stern Flaps for Improved Powering Performance – U.S. Navy Experience", SNAME Annual Meeting, Sept. 29 – Oct 2, 1999, Baltimore, M.D.
- [3] Cusanelli, D. and Karafiath, G., "Stern Flaps", Professional Boatbuilder, April-May 2001.
- [4] "Hydrodynamic Efficiency Improvements to the USCG 110 Ft. WPB Island Patrol Boats" Karafiath G., Cusanelli D., Jessup S. y Barry C.
- [5] "Stern Flap Powering Performance Prediction for the Coast Guard 110-foot WPB Island Class Patrol Boat", Cocklin M., Parsons M. y Troesch A., Marine Technology Vol. 37,
- [6] "Ship Design for Efficiency and Economy", Schneekluth, H. y Bertram, V. Segunda edición, 1998
- [7] "Practical Ship Hydrodynamics", Bertram, V., 2000