

Evaluación numérica de un mecanismo de eficiencia hidrodinámica en la popa de un casco de semi-planeo

*Jorge Díaz Carrillo, estudiante Ing. Naval, Universidad Austral de Chile
Supervisor de Proyecto de Titulación: Dr. Marcos Salas. msalas@uach.cl*

RESUMEN

Se presenta la evaluación numérica del efecto en la resistencia al avance de una serie de flaps de popa, en una embarcación turística de semi-desplazamiento. Se realizaron ensayos mediante el uso del software Ansys CFX, para un rango de velocidades de servicio, evaluando los cambios de trimado dinámico a estas velocidades.

Se analizó la resistencia del casco desnudo, comparándola con la serie de flaps determinados, obteniendo resultados beneficiosos tanto en términos de resistencia al avance como en cambio del trimado dinámico, Debe considerarse que la presente evaluación debe ser validada mediante estudios en un canal de pruebas o mediante mediciones a escala real.

1.- INTRODUCCION

El desarrollo de embarcaciones de turismo de alta velocidad tiene como problema común, la necesidad de altas potencias y altos consumos de combustible, siendo este uno de los factores más influyentes en la viabilidad de este tipo de proyectos.

La reducción de la resistencia al avance en una embarcación, es uno de los problemas más importantes en términos reducir los costos operativos de una embarcación, más aun con el escenario actual de precios elevados y crecientes de los combustibles.

Hoy en día existen múltiples artefactos y técnicas para optimizar el rendimiento de una embarcación, en el presente trabajo se realizará el análisis del funcionamiento de una serie de flap de popa, para ángulos de 0°, 5° y 10°.

2.- DESCRIPCIÓN DE LA EMBARCACIÓN EN ESTUDIO

Corresponde a una embarcación turística fluvial de semi-desplazamiento, monocasco de formas en V, su perfil de misión es realizar paseos turísticos en los ríos de la ciudad de Valdivia y la bahía de Corral, así como servir de medio de desembarco para los cruceros que esporádicamente llegan al puerto de Corral.

Actualmente esta labor se cumple con embarcaciones de desplazamiento, con tiempos de viaje de alrededor 4 a 6 horas a velocidad máxima de 9Kn, donde el tiempo mayoritariamente es utilizado en la navegación hacia las zonas turísticas.

Características Principales		
L total	19.5	Mts
L wl	17.7	Mts
B max	5.1	Mts
D	3.2	Mts
T	1.2	Mts
Velocidad	28	Kn
Desplazamiento	36	ton

Tabla N°1: Características Principales

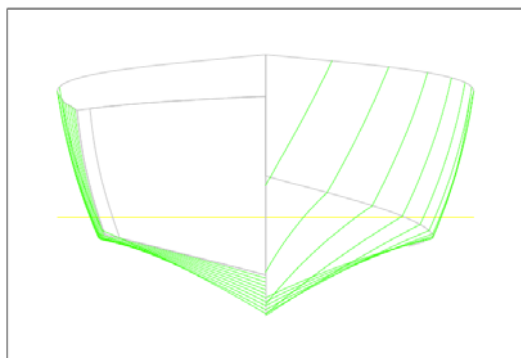


Figura N°1: Secciones – Casco.-

2.1.- DESCRIPCIÓN DEL MODELO

De acuerdo a análisis previos realizados mediante métodos CFD, es más conveniente realizar ensayos a escala, debido a su mayor exactitud, obteniendo a su vez valores comparables directamente con un eventual ensayo en canal de pruebas. Las dimensiones determinadas, por lo tanto consideran obtener un modelo de dimensiones adecuadas para su ensayo a escala.

L total	1.95	Mts
L wl	1.7795	Mts
B max	0.51	Mts
D	0.3193	Mts
T	0.12	Mts
V max	4.5547	m/seg
Desplazamiento	35	Kg

Tabla N°2: Características del modelo

3.-EL FLAP DE POPA

El flap de popa es un apéndice que consiste en una placa ubicada en el espejo, siendo una extensión del fondo formando un ángulo relativo a éste. Los principales efectos generados por este apéndice son: variación en el trimado, reducción de la resistencia al avance y consecuente aumento de la velocidad máxima.

En el caso de embarcaciones pequeñas, este efecto de reducción de la resistencia al avance, se debe principalmente a las variaciones de trimado inducida por el flap de popa, efecto que es positivo en una embarcación de turismo especialmente, para evitar ángulos de trimado excesivos y mejorar la visual durante el trayecto.

Los parámetros principales para el diseño de la geometría de un flap de popa son, cuerda **C_f** (dimensión en sentido de la eslora), envergadura **S_f** (dimensión en sentido de la manga) y ángulo α_F . Para escoger estos parámetros geométricos se tomó como apoyo experiencias previas de diseño por parte del Instituto de Ciencias Navales y Marítimas *Ref. 1*, adaptándolos a la embarcación presente. Se abarcó la mayor manga posible con la envergadura y se determinó un largo de cuerda de un 2%.

Flap	Angulo α_F	Cf (% Lwl)	Cf prototipo	Cf Modelo	Sf prototipo	Sf modelo
1	0	2,0	0.355	0.0355	3.68	0.368
2	5	2,0	0.355	0.0355	3.68	0.368
3	10	2,0	0.355	0.0355	3.68	0.368

Tabla N°3: Dimensiones, serie de Flaps

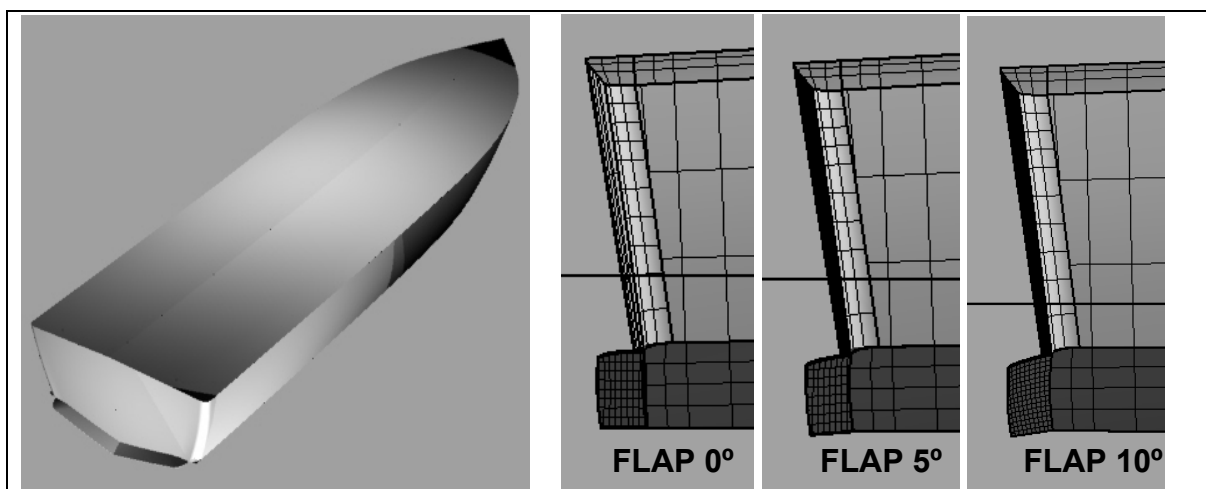


Figura N°2: Flap de popa de 0°, 5° y 10° aplicado a una embarcación de semi-desplazamiento

4.-DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

Los métodos CFD se han convertido en una herramienta recurrentemente requerida por la industria, abarcando cada día más campos, debido principalmente a las ventajas comparativas de generar simulaciones, limitando así los ensayos a escala. Podemos recalcar que estos métodos, son especialmente útiles en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías u optimización de elementos existentes. Sus ventajas principales son lograr disminuir tiempo, riesgos y costo del proyecto.

Las etapas de un análisis CFD se clasifican como:

1. *Pre-Proceso*: Etapa donde se genera la geometría, mallas, se aplican las condiciones de contorno y tipo de análisis.
2. *Solución*: Etapa donde el software aplica las condiciones ingresadas y genera una solución.
3. *Post-Proceso*: Fase de evaluación y análisis de los resultados generados.

Los métodos CFD están aun en desarrollo, por lo que son considerados aun imprecisos en la predicción exacta de resistencia al avance, pero desde otra perspectiva son muy útiles, en la optimización de un diseño o la selección del diseño más prometedor para verificar en un canal de pruebas, siendo perfectamente válido realizar comparaciones de ensayos numéricos de variaciones en el diseño.

5.1-PRE-PROCESO

5.1.1- Geometría

La modelación del casco y el dominio fluido, porción de agua, aire y superficie libre, se generó en el software Rhinoceros 4.0, de esta forma se delimitan los volúmenes de control del modelo CFD, determinando a su vez la

generación del mallado. El eje X se definió en la dirección longitudinal (eslora), el eje Y se definió en la dirección transversal (manga) y el eje Z en la dirección vertical (puntal).

Las dimensiones de este dominio que simula un canal de pruebas, están dadas a continuación y cumplen con el objetivo de evitar el efecto de bloqueo por aguas restringidas.

Item		
Altura aire	0.5	mts
Profundidad	1.6	mts
Ancho	2.0	mts
Longitud	7.0	mts

Tabla N°4: Características del Dominio

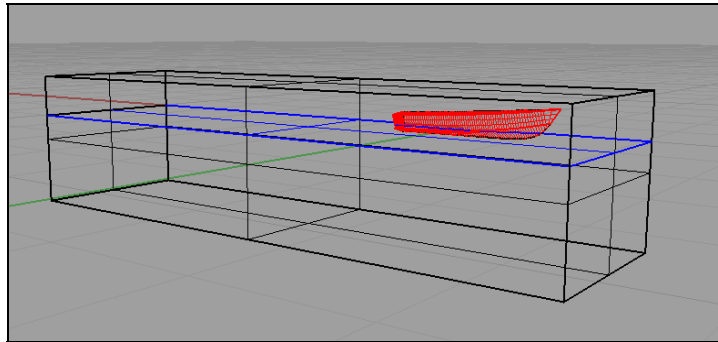
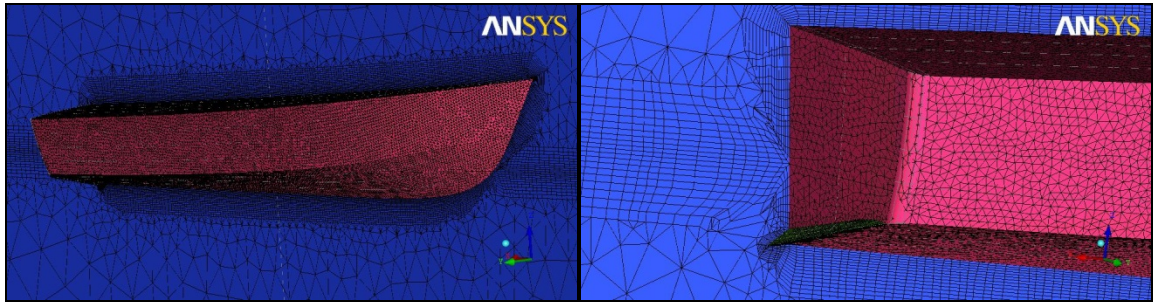


Figura N°3: Modelación en Rhinoceros

5.1.2- Generación de la malla.

La malla fue generada mediante el software ICEM CFD, utilizando una malla híbrida, compuesta en una etapa inicial de elementos no estructurados (tetra/mixed), siendo su principal ventaja la posibilidad de generarla de forma automática y una gran adaptabilidad a formas complejas como lo es el casco de una embarcación.

Esta malla automática si bien facilita el proceso, es el proceso más absorbente en términos de tiempo de interacción con el usuario, debido a las correcciones necesarias en la malla por errores en zonas de intersección de curvas. Además se utilizó el mecanismo de inflación utilizando elementos prismáticos estructurados en las superficies del casco y superficie libre y flaps, logrando así una mayor densidad de elementos en las zonas críticas definidas por la capa límite y la superficie libre.



Figuras N°4-5: Malla final (elementos no estructurados + inflación)

5.1.3- Modelo Matemático

Los códigos CFD han sido diseñados para el cálculo de la dinámica de los fluidos a través de la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes de forma discreta, para cualquier flujo laminar o turbulento. Ansys CFX se compone de tres módulos estructurados de forma que pasan entre ellos la información necesaria para el análisis CFD.

Esta aplicación de la dinámica de fluidos en el software, se desarrolla mediante la resolución de un modelo tipo RANSE (Reynolds Averaged Navier&Stokes Equations), en este caso utilizando el modelo de turbulencia $K-\epsilon$, para simular el flujo turbulento. Los modelos de turbulencia son utilizados para predecir los efectos de la turbulencia en un flujo sin necesidad de resolver todas las pequeñas escalas de las fluctuaciones turbulentas

5.1.4- Condiciones de contorno

CFX-Pre es el módulo de pre-procesamiento de datos, permite importar múltiples mallas, las especificaciones físicas del flujo como las condiciones de contorno e iniciales, y los parámetros de solución son especificados en este módulo.

Item	Cond. contorno
Entrada	Velocity Inlet
Salida	Pressure Outlet
Cielo	Opening
Simetria	Symetry
Pared	Slip Wall
Casco	No Slip Wall
Flap	No Slip Wall

Tabla N°5: Cond. de contorno

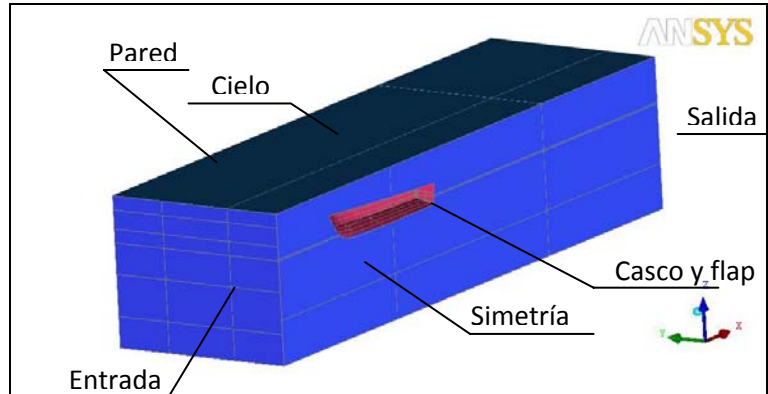


Figura N°6: Condiciones de contorno

5.1.5-Constantes físicas

Las constantes físicas a utilizar, representan las propiedades de los medios fluidos y las condiciones del estudio.

Densidad del agua	$\rho_{FW\ 13^\circ}$	101,87	$kg\ s^2 / m^4$
Peso específico del agua	$\gamma_{FW\ 13^\circ}$	999,4	kg / m^3
Viscosidad cinemática	$\nu_{FW\ 13^\circ}$	$1.2036 \cdot 10^{-6}$	m^2 / s
Densidad del aire	ρ_{air}	0,121	$kg\ s^2 / m^4$
Peso Específico del aire	γ_{air}	1,185	kg / m^3
Aceleración de gravedad.	G	9,81	m / s^2

Tabla N°6: Constantes físicas.

5.2- ETAPA DE SOLUCION

Esta etapa se realiza en el modulo ANSYS CFX –Solver, donde se carga y calcula el caso desarrollado, si bien la participación del usuario en esta etapa es baja, se debe vigilar y programar un valor adecuado de iteraciones para el estudio.

En la mayoría de las simulaciones realizadas, la convergencia de la solución, se produjo entre las iteraciones 400-550. Sin embargo existieron casos en los cuales la convergencia tomaba más tiempo, por lo que el usuario debe chequear constantemente los parámetros de la solución.

5.3- POST-PROCESO

En el post-proceso realizado mediante el modulo ANSYS-CFX Post, se midieron y utilizaron para refinar el cálculo de la resistencia a la propulsión dos parámetros:

- Torque sobre el casco (trimado dinámico)
- Fuerzas verticales (empuje y sustentación hidrodinámica)

6.-RESULTADOS

6.1-Resistencia al Avance

Los resultados obtenidos a continuación fueron procesados, mediante el software CFX-post, corresponden a las simulaciones definitivas, incluyendo las correcciones por trimado dinámico y hundimiento en los casos correspondientes.

Se procede comparando la curva de resistencia de casco desnudo respecto a cada uno de los flap analizados.

Las consideraciones de los ensayos fueron:

- El rango de velocidad entre 18 y 28 nudos
- El modelo ensayado es único para cada velocidad debido al trimado dinámico.
- El fluido simulado corresponde a agua dulce

Los siguientes resultados corresponden a los ensayos realizados para analizar el comportamiento del flap con una inclinación de 0°,5° y 10°. Estos resultados son la resistencia total a la propulsión del modelo entregando los resultados de gráficos en Newtons y velocidad en m/s.

Ángulo de Flap 0°

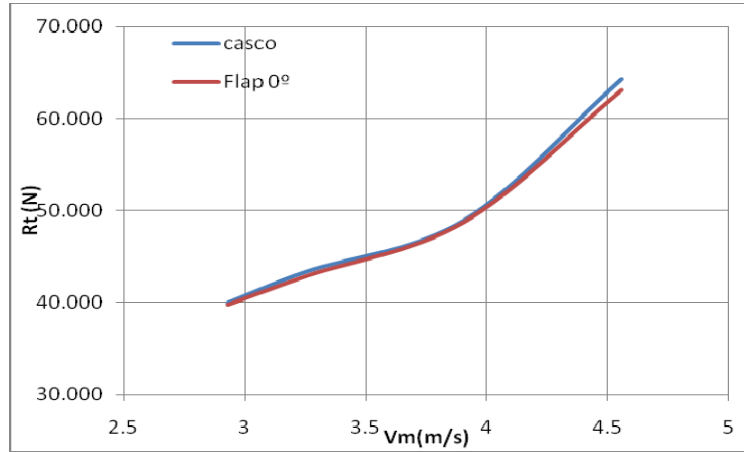


Gráfico N°1: Resistencia Casco desnudo/Resistencia Flap 0°

Ángulo de Flap 5°

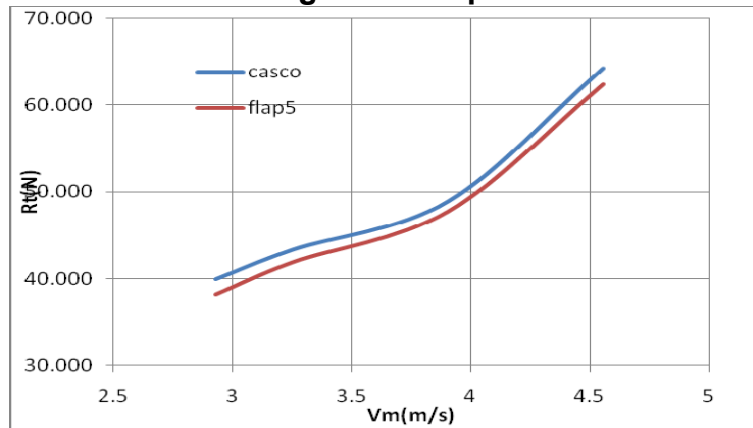


Gráfico N°2: Resistencia Casco desnudo/Resistencia Flap 5°

Ángulo de Flap 10°

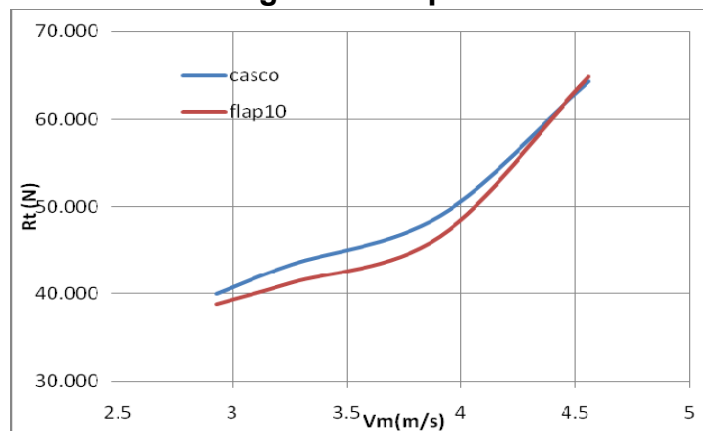


Gráfico N°3: Resistencia Casco desnudo/Resistencia Flap 10°

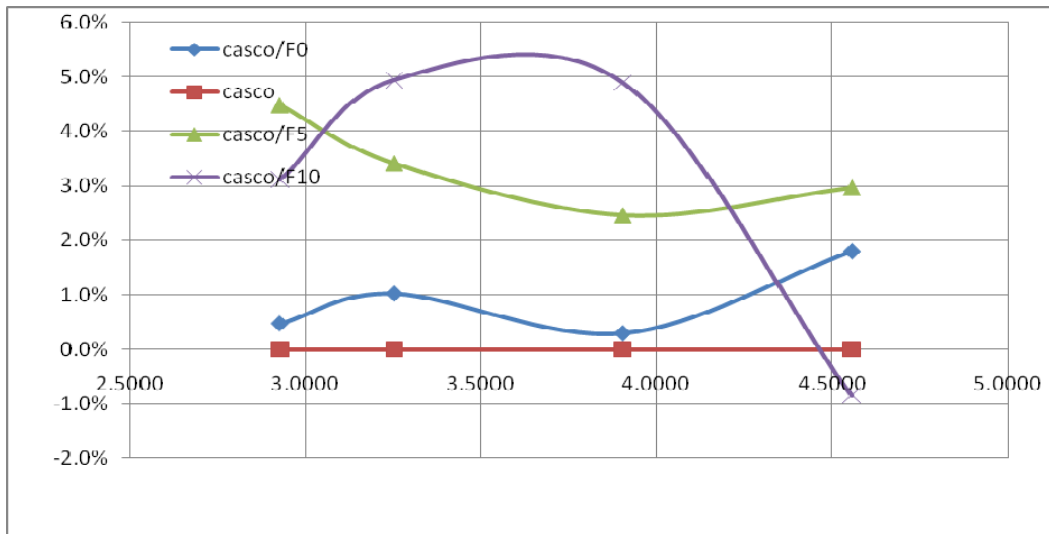


Gráfico N°4: Comparación - % Resistencia casco desnudo / Flap

6.2.-Trimado

Para la evaluación del efecto total del flap, es importante considerar las variación de trimado, debido a que en este tipo de embarcaciones es uno de los factores más influyentes en la disminución de la resistencia al avance por formación de olas.

Los resultados a continuación son producto de las correcciones realizadas luego del análisis de post proceso, traduciendo de esta forma el lift y el aumento de presiones generado por el flap en una disminución del trimado dinámico.

La corrección de ángulo de trimado duplicó los análisis necesarios en los casos con flap, debido a la necesidad de realizar una simulación de prueba, con el objetivo de conocer el valor del momento generado por la interacción casco/flap y así conocer el nuevo ángulo de trimado de equilibrio.

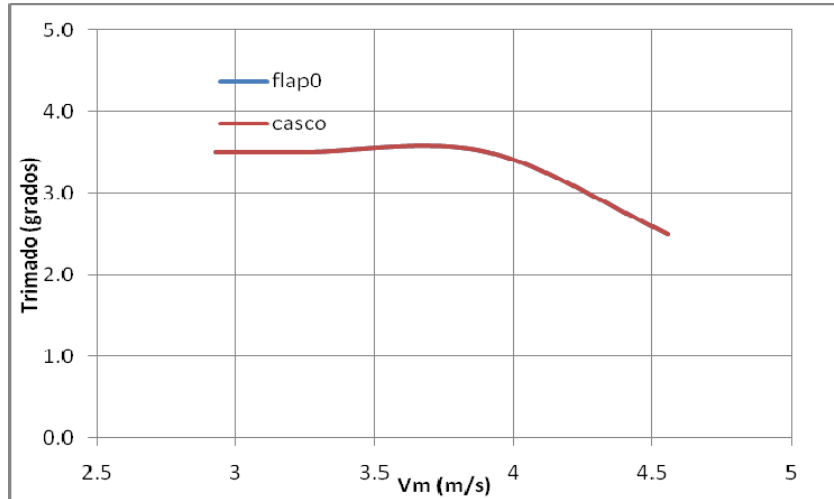


Gráfico N°5: Comparación – Trimado Casco desnudo-Trimado casco+Fap 0°

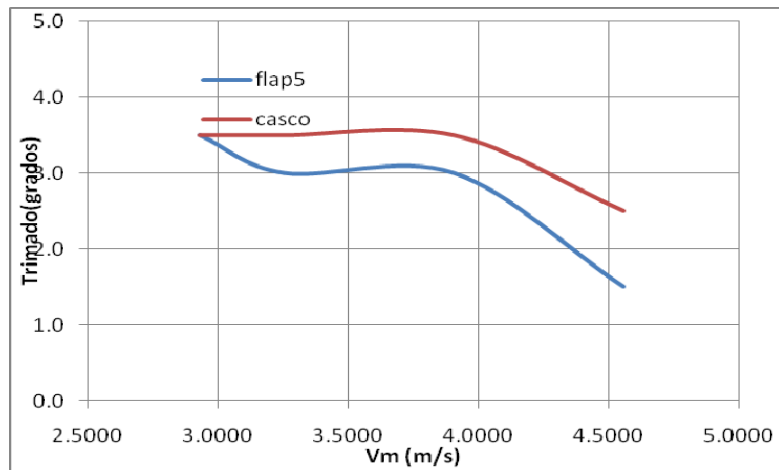


Gráfico N°-6: Comparación – Trimado Casco desnudo-Trimado casco+Fap 5°

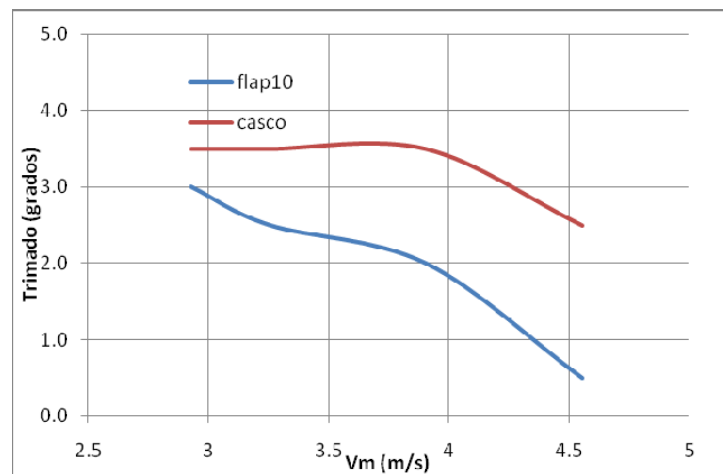


Gráfico N°7: Comparación – Trimado Casco desnudo-Trimado casco+Fap 10°

7.-ANALISIS DE RESULTADOS

7.1-ANALISIS DEL FLAP 0 °

Corresponde al primer flap analizado en la embarcación, provocando poca variación respecto a las condiciones originales en casco desnudo, las observaciones en detalle son las siguientes:

- Este Flap presenta disminuciones en la Resistencia a la propulsión, a lo largo de todo el rango de velocidades analizado, siendo porcentajes de disminución más bien bajos en relación a los otros flap.
- La máxima disminución de Resistencia a la propulsión, se produce a una velocidad de 28 nudos, con una disminución de 1,8% respecto a la Resistencia en condición casco desnudo.
- El trimado dinámico de la embarcación en condición casco desnudo, no se vio modificado con la instalación de este flap, manteniendo los valores de trimado a lo largo del rango de velocidades analizado.
- Si bien este flap no genera penalizaciones en la resistencia y trimado de la embarcación, el beneficio que entrega es muy bajo.

7.2-ANALISIS DEL FLAP 5°

Corresponde al segundo flap analizado en la embarcación, provocando variaciones notorias respecto a la condición de casco desnudo:

- Nuevamente se presentan disminuciones de la resistencia a la propulsión, considerando todo el rango de velocidades analizado.
- La máxima disminución de resistencia a la propulsión se provoca a los 18 nudos, siendo esta un 4,5% menor que la resistencia en condición casco desnudo.
- El menor porcentaje de disminución de resistencia a la propulsión, corresponde a un 2,5% de la resistencia en condición casco desnudo, a los 24 Kn.
- Con este flap, el cambio de trimado es notorio en el rango de velocidades, a excepción de a los 18Kn donde se mantiene.
- La máxima disminución de trimado, corresponde a 2°, producida a los 28Kn.

7.3-ANALISIS DEL FLAP 10°

Corresponde al último flap analizado en la embarcación, que si bien provocó notorios cambios respecto a la condición de casco desnudo, produce una leve penalización en la resistencia en la velocidad máxima.

- Este Flap produce una penalización en la resistencia a la propulsión, correspondiente a un 0,8% de la resistencia en casco desnudo para una velocidad de 28 nudos, se debe considerar que este flap si bien disminuye la resistencia por formación de olas, genera un aumento mayor en la resistencia de origen viscoso.
- El mayor beneficio generado por este flap, se produce para velocidades de 20 a 24 nudos, correspondiendo a una disminución de un 4,9% de la resistencia en condición casco desnudo.
- Uno de los efectos más importantes producidos por este flap, es el cambio de trimado dinámico, disminuyéndolo en todo el rango de velocidad.
- La máxima disminución en el trimado es de 3° y se produce a una velocidad de 28 nudos, correspondiente a su vez a una penalización en la resistencia.

8.-ELECCION DEL FLAP

En la selección final del flap a utilizar debemos considerar los parámetros más importantes del perfil de misión de la embarcación, debido a que los resultados obtenidos nos muestran que si bien el flap de 5°, disminuye de manera constante la resistencia a la propulsión, existen velocidades específicas, donde el rendimiento de otros ángulos de flap es superior. Dependiendo de los requerimientos y recursos del armador, existen variadas soluciones, como lo es utilizar flaps de ángulo variable, logrando así regular el ángulo óptimo para cada velocidad.

Considerando la instalación de un flap fijo, parece apropiado seleccionar el flap de 5°, el cual disminuye la resistencia al avance en todo el rango de velocidades y además logra la mayor disminución de resistencia a la propulsión a velocidad máxima de 28 nudos.

9.-CONCLUSIONES

La evaluación numérica mediante métodos CFD, es una herramienta de solución poderosa e importante para la industria naval, aplicable a la solución de problemas tan complejos como la dinámica de los fluidos, el análisis realizado en el presente trabajo si bien debe ser validado por ensayos en canal de prueba o con pruebas a escala real, ayuda a comprender algunos campos de aplicación del método CFD, además de los parámetros más influyentes en el proceso de cálculo.

La importancia de un buen trabajo en las etapas de pre-proceso, solución y post proceso es vital, para la obtención de buenos resultados. La elección del tamaño de elementos de la malla es muy importante, no solo por la precisión de la medición, sino que también por las capacidades del hardware utilizado en la solución.

Si bien el flap de popa con cuerda de 2% respecto a L_{pp} generó resultados positivos, puede considerarse además un análisis con variación del largo de cuerda e inclusive la aplicación de otros apéndices de popa, tales como interceptor y cuñas.

10.-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] M. Salas, P. Jiménez , J. Ahumada, P. Sepúlveda y A. Gómez. "Evaluación del Desempeño Hidrodinámico de Apéndices de Popa en Cascos de Desplazamiento". Copinaval 2009, Montevideo, Uruguay.

[3] "Practical Ship Hydrodynamics", Bertram, V., 2000

[4] Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles; Odd M Faltinsen.