

ANÁLISIS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DE UN CASCO PARA UNA EMBARCACION TIPO PATRULLERA POR EL METODO DE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD

Analysis for the optimization of the advanced resistance of a hull for a patrol boat by the CFD computational fluid dynamics method

Joel Eligio Paz Briones¹
Rafael Callamand Andrade²

Recibido: 26/09/2018

Aceptado: 25/06/2019

Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de optimizar un casco para una embarcación tipo patrullera de costa y a su vez, contar dentro de la Fuerza Naval de Honduras (FNH), con una metodología de investigación y procedimientos para realizar el análisis hidrodinámico de sus embarcaciones. El estudio contempló, entre otros aspectos, la obtención de las formas del casco de la embarcación tipo patrullera de costa, el modelamiento de dicho casco en un software de diseño asistido por computadora CAD y del cual, la superficie de la geometría del casco se exportó a un software de ingeniería asistida por computadora CAE, donde se realizaron los análisis hidrodinámicos. Posteriormente, a partir de los resultados obtenidos se seleccionaron una serie de propuestas para la reducción de la resistencia al avance, las cuales consistieron en apéndices de

popa tipo flap y cuña; los resultados derivados de los análisis de las propuestas hechas se tomaron como punto de partida para la realización del presente trabajo de investigación.

Palabras clave: Dinámica de fluidos computacional, resistencia al avance, capa límite, superficie libre, modelo de turbulencia, apéndices de popa.

Abstract

This research work was developed with the purpose of optimizing a hull for a coastal patrol vessel and, in turn, counting within the Honduran Navy FNH, with a research methodology and procedures to perform hydrodynamic analysis of their boats. The study contemplated, among other aspects, the obtaining of the hull forms of the coastal patrol vessel, the modeling of the hull in a CAD computer-aided design software and of which, the surface of

¹Ingeniero Mecatrónico y MSc. en Ingeniería Naval. Oficial de ingeniería de la Fuerza Naval de Honduras - jpazb2015@gmail.com

²Magister en Hidrodinámica Aplicada. Magister en diseño avanzado de buques, Magister en Seguridad y Defensa Nacional. Cotecmar - lcallamand@cotecmar.com.

the hull geometry was exported to CAE computer-aided engineering software, where the hydrodynamic analyzes were carried out. Subsequently, from the results obtained, a series of proposals were selected for the reduction of the resistance to the advance, which consisted of flap type aft appendages and wedge; the

results derived from the analysis of the proposals made were taken as a starting point for the realization of this research work.

Keywords: Computational fluid dynamics, drag, boundary layer, free surface, turbulence model, aft appendages.

Introducción

En esta investigación se realizó un análisis hidrodinámico del desempeño del casco de una embarcación tipo patrullera para costa, utilizando el método de CFD (Dinámica de Fluidos Computacional), con relación a la resistencia al avance para determinar, si es el caso, las modificaciones pertinentes para optimizar las líneas de forma del casco, a fin de mejorar la resistencia al avance. Al mismo tiempo se desarrolló una metodología para realizar este tipo de análisis a diferentes embarcaciones, que le permita a la Fuerza Naval de Honduras (FNH) contar con herramientas para este tipo de procesos o procedimientos de la industria naval.

Método

Como punto inicial de referencia para estimar la resistencia al avance del casco en estudio, se utilizó la metodología de predicción de resistencia a partir de métodos semi empíricos implementados en el software Maxsurf Modeler V8i para obtener resultados predictores de resistencia vs velocidad. Teniendo en consideración que para este tipo de análisis son más precisos los métodos numéricos.

Se definió el tipo de casco a optimizar, luego se realizó un modelamiento de casco desnudo en el software CAD, con un análisis de resistencia empleando métodos semi empíricos de predicción, permitiendo la comparación de los resultados de la resistencia al avance obtenidos del software CAE y de los métodos semi empíricos.

Elaboracion de base de datos y características geométricas de la embarcación

Tres principios fundamentales rigen los aspectos físicos de cualquier “flujo” de fluido como la conservación de la masa, la conservación de la energía, y la segunda ley de Newton. Estos principios pueden ser expresados en forma de ecuaciones matemáticas que, en su forma más general, son integrales o ecuaciones diferenciales parciales. El CFD reemplaza las integrales o derivadas parciales en estas ecuaciones con discretas formas algebraicas discretizadas que pueden ser resueltas. (Voxakis, 2012).

Es preciso decir que la resistencia que más afecta el avance de un barco es la resistencia viscosa. Esta resistencia se descompone a su vez en dos: la resistencia por fricción y en la resistencia de presión por fricción. (Guerrero, 2016). La primera de ellas se produce por la fricción directa entre el agua y el casco, recae el 60% o 70% incluso puede llegar al 80 % en muchos casos según formas y eslora del buque.

BASE DE DATOS DE PATRULLERAS

	Esloza L(m)	Manga B	Calado T	Puntal D	Vel. Kn	Pot. KW	Δ t	L / B	B / D	T / D	L / D	B / T
AUSTAL PATROL 21 	21,2	5,5	1,83	2,8	28,5	1618		3,85	1,96	0,65	7,57	3,01
DAMEN 1605 	16,15	5,4	0,85	1,85	30	2500		2,99	2,92	0,46	8,73	6,35
USCG 87 Pastrol Boats 	26,5	5,92	1,74	2,8	25	2240		4,48	2,11	0,62	9,46	3,40
Archer-class patrol vessel 	20,8	5,8	1,8	2,9	25		54,00	3,59	2,00	0,62	7,17	3,22
21m Fast Patrol Boat 	21	5,8	1,3	2,4	34	2200	45,00	3,62	2,42	0,54	8,75	4,46
PILOT BOAT 	22	5,2	1,07		28	1580		4,23				4,86
Fast Patrol Boat 	20	5,6	1,45		30	1470	32,00	3,57				3,86
PATROL CRAFT 	20	5,6	1,45		28	1800		3,57				3,86
DAMEN 2205 FRP 	22,8	6,08	1,5	2,65	30	3600		3,57	2,29	0,57	8,60	4,06
PROMEDIOS	21,16	5,66	1,44	2,57	28172	2126,00	43,67	3,74	2,28	0,58	8,38	4,12
	Esloza L(m)	Manga B	Calado T	Puntal D	Vel. Kn	Pot. KW	Δ t	L / B	B / D	T / D	L / D	B / T

Figura 1. Base de datos y características de embarcaciones tipo patrulleras.

De los cálculos realizados correspondientes a las regresiones, se resumen la siguiente tabla

Tabla 1.
Características principales del buque.

Calculado	Metros
Eslora L	21
Manga B	5,65
Calado T	1,43
Puntual D	2,53
Velocidad	28 Kns

Geometría del casco de patrullera de costa de 21 m de eslora

Las dimensiones generales de la embarcación de referencia se han extraído de las regresiones realizadas y posterior a esta etapa se utilizó el software Rhinoceros V5.0 para modelar la forma del casco.



Figura 2. Casco de patrullera de costa, vista de costado y popa. (Elaboración propia)

Resultados

Métodos de predicción Savitsky Pre-planing y Savitsky Planing

El método Savitsky se basa en estudios realizados sobre placas planas en régimen de planeo y que, finalmente, se aplican a embarcaciones. (Ponce, Septiembre 2011).

Tabla 2.*Resistencia obtenida por métodos semi empíricos.*

Análisis de Resistencia vs Velocidad		
Método	Velocidad Kns	Resistencia KN
Savitsky (<i>Pre-planning</i>)	12	17,67
	18	48,43
Savitsky (<i>Planning</i>)	18	31,67
	28	64,48

Predicción de la resistencia al avance por métodos numéricos CFD

En esta etapa se empleó el software STAR CCM+V9.0, el cual es una herramienta que implementa las ecuaciones de flujo de fluidos en presencia de un cuerpo rígido y cómo este interactúa con él, de acuerdo a su forma. Se estudió el comportamiento hidrodinámico del casco de la embarcación tipo patrullero de 21 m de eslora a escala real.

a) Condición de carga.

Tabla 3.*Cálculos hidrostáticos. Maxsurf Modeler.*

Medida		Valor	Unidad
Desplazamiento	Δ	50,66	t
Volumen (desplazado)	V	49,421	m ³
Eslora en flotación	LWL	19,942	m
Superficie mojada	S	102,604	m ²
Calado	T	1,43	m

b) Especificación del mallado.

El mallado se generó en el Software STAR CCM+ V9.0, optando por una malla Trimmer, que se compone de un mallado estructurado que proporciona un método robusto y eficiente para producir una cuadrícula de alta calidad para problemas de generación de malla tanto simples como complejos. Este tipo de malla es más sencillo de generar y de ajustar a las formas planas del casco.

El proceso de mallar es el que mayor influencia ejerce sobre el resultado por lo que se requiere una malla de la mejor calidad posible.

c) Configuración de la simulación.

Para la condición de casco desnudo se generó una malla medianamente fina, así también para las demás condiciones que incluyen apéndices se utilizará el mismo mallado, los tamaños de malla y demás datos calculados para el mallado con normas ITTC, se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Especificaciones del mallado con base en reglamentación ITTC.

Especificaciones del mallado		
Características		Dato
Tamaño de celda	<i>Base Size</i>	0,13 ~ 13 cm
Altura de celda Y	<i>Thickness of Near Wall Prims layer</i>	0,002407 m ~ 0,25 cm
Capa limite	<i>Prims LAyer Thickness</i>	0,16 m ~ 16 cm
Numero de capas	<i>Number o Prims Layer</i>	R

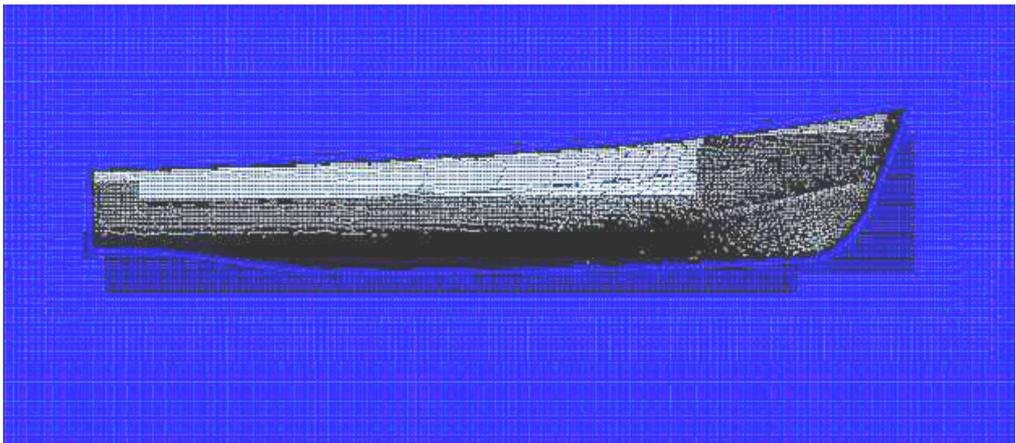


Figura 3. Mallado del casco y volúmenes de control, numero de celdas = 2 381668.

d) Selección de modelos físicos.

El modelo de turbulencia seleccionado para la simulación es el Sparlat Allmaras, que como descripción general es un modelo relativamente simple de una sola ecuación que resuelve la ecuación de transporte modelada para la viscosidad del remolino cinemático (turbulento).

Análisis y comparación de los resultados

Se presentan los resultados de resistencia obtenidos de las simulaciones mediante STAR CCM+ para las condiciones del casco desnudo y con apéndices en pro de la obtención de una mejora en la reducción de la resistencia al avance. El valor de la resistencia total al avance se obtiene como la suma de las fuerzas de presión y las fuerzas viscosas proporcionadas por STAR CCM+ y multiplicando este resultado por dos, ya que las simulaciones se han realizado con la mitad del casco.

Tabla 5.
Resistencia total, casco desnudo de 21 m.

Resistencia total del casco desnudo		
Velocidad Kns	Velocidad m/s	Resistencia KN
12	6,16	15829
14	7,2	21216
16	8,22	27294
18	9,25	33392
20	10,28	38890
22	11,3	43902
24	12,3	48956
26	13,36	54474
28	14,4	61192

Tabla 6.
Comparación de la resistencia total entre métodos de predicción.

Resistencia total del casco desnudo			
Método	Velocidad Kns	Velocidad m/s	Resistencia KN
STAR CCM+	28	14,4	61192
Savitsky (<i>Planing</i>)	28	14,4	64480

Los resultados obtenidos anteriormente se compararon con los análisis del casco al que se le diseñaron adaptaciones de cuñas y flaps, con el fin de evaluar cuál de ellos presenta mejores resultados en la optimización de la resistencia al avance. Las simulaciones realizadas en STAR CCM+ se realizaron con el casco a escala real, con el propósito de hacer una comparación y validación de los resultados del modelo numérico contra el modelo analizado con los métodos semi empíricos (Savitsky pre-planing y Savitsky Planing), también en escala real, correspondiente al casco de 21 m de eslora.

a) Diseño de la cuña en popa.

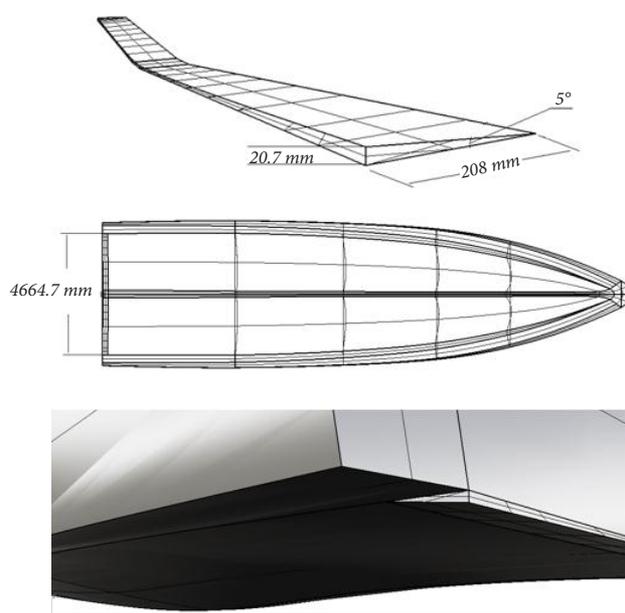


Figura 4. Diseño de cuña a 5°, vista de perspectiva en popa.

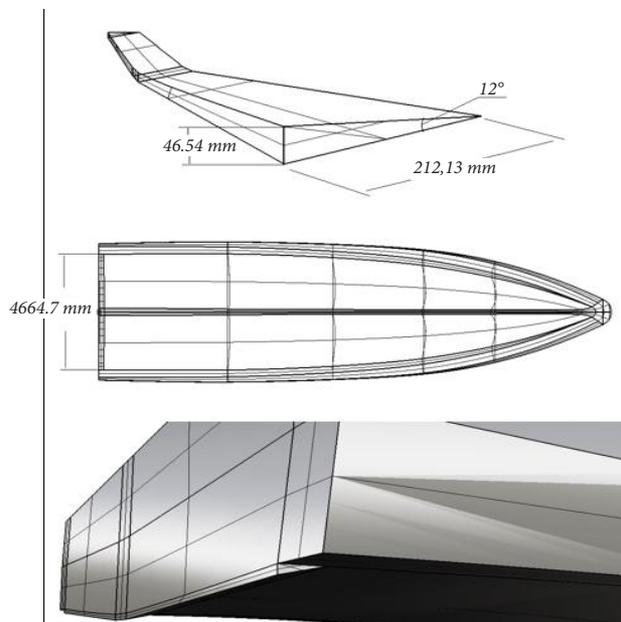


Figura 5. Diseño de cuña a 12°, vista de perspectiva en popa.

b) Diseño del flap en popa.

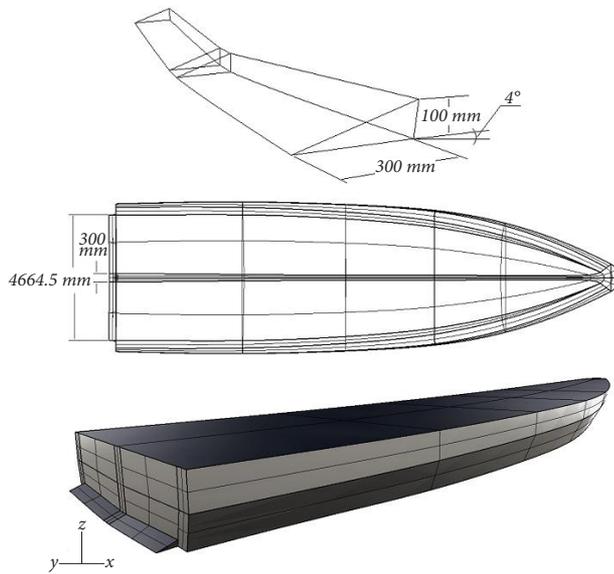


Figura 6. Diseño de flap a 4°, vista de perspectiva en popa.

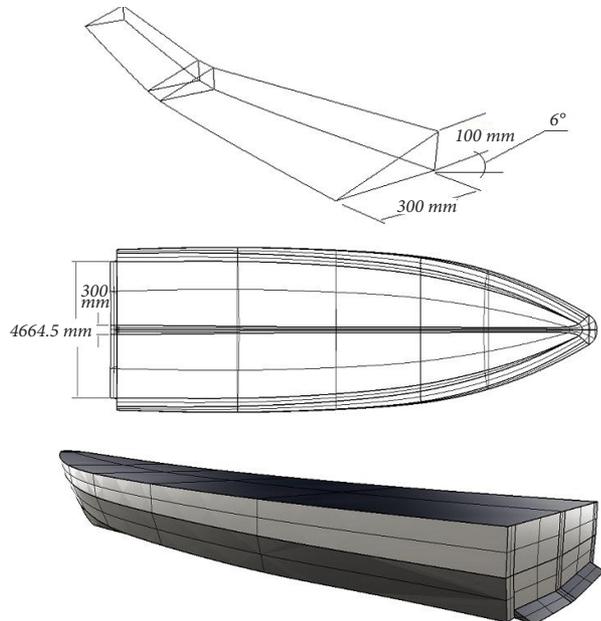


Figura 7. Diseño de flap a 6°, vista de perspectiva en popa.

Tabla 7.
Resistencia de casco desnudo vs cuña a 5° y 12°.

Velocidad KNS	Casco Desnudo	Cuña 5°	%	Cuña 12°	%
(1) 12	15892	16368	+3.0%	16948	+6.64%
(2) 14	21216	21972	+3.56%	22686	+6.93%
(3) 16	27294	28820	+5.59%	29594	+8.42%
(4) 18	33392	31706	+3.94%	36112	+8.14%
(5) 20	38890	40824	+4.97%	41756	+7.37%
(6) 22	43902	45360	+3.32%	47380	+8.06%
(7) 24	48956	54340	+4.86%	53038	+8.33%
(8) 26	54474	57078	+4.78%	59708	+9.6%
(9) 28	61192	62690	+2.45%	66112	+8.04%

Tabla 8.
Resistencia de casco desnudo vs flap a 4° y 6°.

Velocidad KNS	Casco Desnudo	Flap 4°	%	Flap 6°	%
(1) 12	15892	15636	-1,61%	15792	-0,63 %
(2) 14	21216	20860	-1,67%	21004	-0,99 %
(3) 16	27294	26918	-1,37%	27304	+0,036 %
(4) 18	33392	32734	-1,98%	33526	+0,4 %
(5) 20	38890	38174	-1,85%	39090	+0,51 %
(6) 22	43902	43040	-2%	43894	-0,018 %
(7) 24	48956	47988	-2%	49000	+0,089 %
(8) 26	54474	53340	-2,08%	54606	+0,24 %
(9) 28	61192	59128	-3,38%	60106	-1,77 %

Tabla 9.
Tabla general de los resultados de Resistencia al Avance en STAR CCM+.

Velocidad KNS	REPORTE DE LA RESISTENCIA TOTAL - BUQUE PATRULLERO DE 21m									
	Casco Desnudo	CUÑAS				FLAPS				
		5°	%	12°	%	4°	%	6°	%	
(1) 12	7946	8184	+3	8474	+6,64	7818	-1,61	7896	-0,63	
(2) 14	10608	10986	+3,56	11343	+6,93	10430	-1,67	10502	-0,99	
(3) 16	13647	14410	+5,59	14797	+6,42	13459	-1,37	13652	+0,036	
(4) 18	16696	17353	+3,94	18056	+8,14	16367	-1,98	16763	+0,4	
(5) 20	19445	20412	+4,97	20878	+7,37	19087	-1,85	19545	+0,51	
(6) 22	21951	22680	+3,32	23690	+8,06	21520	-2	21947	-0,018	
(7) 24	24478	25670	+4,86	26519	+8,33	23994	-2	24500	-0,089	
(8) 26	27237	28539	+4,78	29854	+9,6	26670	-2,08	27303	+0,24	
(9) 28	30596	31345	+2,45	33056	+8,04	29564	-3,38	30053	-1,77	

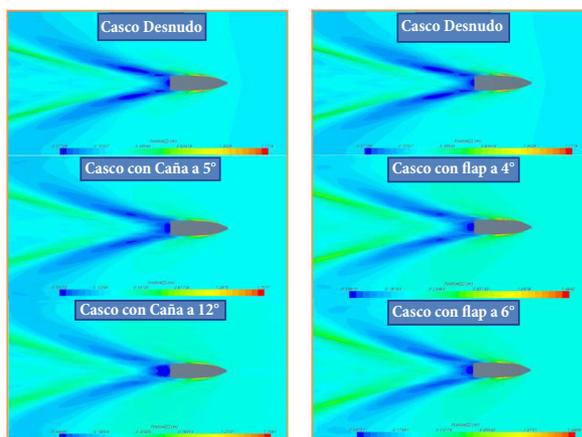


Figura 8. Evolución del sistema de olas generado por el modelo del casco con los diferentes apéndices, flap y cuña a 28 Kns durante el periodo de simulación en el tiempo calculado: 12 s. (Elaboración propia)

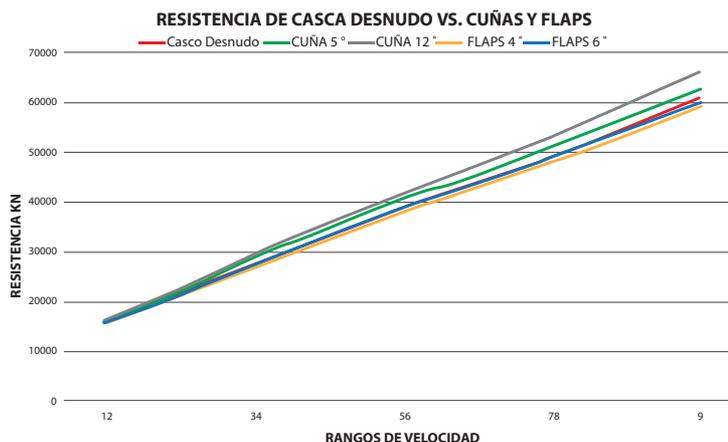


Figura 9. Grafica general de los resultados de Resistencia al Avance en STAR CCM+. (Elaboración propia)

Conclusiones

Los datos obtenidos a través de los diferentes métodos de predicción de la resistencia al avance y su comparación (métodos semi empíricos vs CFD) mostraron una variación de 5.1 % entre ambos métodos, con una resistencia total de 64480 KN a la velocidad máxima de operación de la embarcación, comparando con el resultado arrojado en STAR CCM+ de 61192 KN; se obtuvo una diferencia de 3288 KN hasta alcanzar un número de Froude, $Fn= 1.02$, en el que la sustentación dinámica comienza a cobrar importancia, lo que proporcionó una base fiable en el trabajo desarrollado.

Se concluye que la implementación del flap a 4° sobre el casco, reduce la superficie mojada efectiva de la embarcación y en la zona de succión del espejo. Por lo tanto, a la hora de realizar simulaciones de embarcaciones rápidas a altas velocidades, hay que tener en cuenta este efecto y configurar unas condiciones de simulación que incluyan la variación del trimado con la velocidad, pues de lo contrario, se obtendrá una sobrestimación de la resistencia al avance. Se aclara, que en nuestro estudio el análisis de la variación del trimado no es dinámico (Aunque así se distingue), ya que el resultado favorable en la reducción de la resistencia, es notorio en las altas velocidades con el flap a 4° , debido a la reducción de la fuerza de drag y a un aumento de la fuerza de lift.

El mallado seleccionado fue el tipo Trimmer ya que es el que mejor se distribuye en las zonas planas del casco, también se optó por la caracterización del mallado con más de dos millones de celdas (aproximadamente 2, 381,668 para el caso del casco desnudo), por la recomendación de expertos en el tema y además con este número de celdas se obtiene un porcentaje más alto en los diagnósticos de malla (aproximadamente 99.40%) en comparación con menos números de celdas.

El tiempo empleado con el módulo de Maxsurf Resistance, para la predicción de la resistencia toma aproximadamente 15 minutos, mientras que en STAR CCM+, aproximadamente 26 horas, debido que se tiene un gran número de celdas; concluyendo de esta forma que los análisis con otros métodos basados en, métodos semi empíricos (como el método Savitsky) pueden ser una herramienta confiable también para obtener información de una manera más inmediata dependiendo de la premura del tiempo, manejando siempre de igual forma algún grado de tolerancias.

Con la implementación de la cuña en popa a 12° se obtuvieron los valores de resistencia más altos, con 8.33 % más en comparación con el casco desnudo, mientras los mejores resultados en la disminución de la resistencia se obtuvieron con el flap a 4° , con 3.38 % menos en comparación con el casco desnudo, debido a que los flaps entre 1° y 6° son más eficientes en cascos de embarcaciones de planeo con bajo ángulo de astilla muerta, como es en el caso de la embarcación en estudio.

Referencias

- Bojovic, P., & Sahoo, P. (s.f.). *Effect of Stern Wedges and Advanced Spray Rail System on Calm Water Resistance of High-Speed Displacement Hull Forms*. Paper, ABS Americas; Australia Maritime College, Houston TX, USA. Launceston, Australia.
- Calle, J. M. (Noviembre 2004). *Análisis Dimensional*. Curso 2004-2005_Apuntes de Mecánica de Fluidos, Universidad de Oviedo, Área de Mecánica de Fluidos, Gijón. Obtenido de http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/hja/file/Mec_Fluid_CBS/tema_3_analisis_dimensional_0405.pdf
- D. Cumming, R. P. (June 14 – 16, 2006). *Hydrodynamic Design of a Stern Flap Appendage for the HALIFAX Class Frigates*. Institute for Ocean Technology, National Research Council

Canada, St. John's, Defence R&D Canada - Atlantic, Dartmouth, Nova Scotia, Department of National Defence, Ottawa, Ontario.

Espinosa, J. G. (1999). *Un Método de Elementos Finitos para Analisis Hidrodinámicos de Estructuras Navales*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Fluent, G. D. (23 de 01 de 2009). *4.3 Spalart-Allmaras Model*. Obtenido de <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node49.htm>

Guerrero, A. J. (2016). *Sistemas de Reducción de la Resistencia en la Navegacion mediante una Capa de Aire entre el Casco y el Agua*. Universidad Politècnica de Catalunya, Facultad de Náutica de Barcelona, Barcelona.

Luis Pérez Rojas, Dr. Ing. Naval, Ms.S.1. (s.f.). *La calidad en el software. Validación de "CFD"*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales (UPM), Facultad de Matemáticas (UCM), Madrid, España.

M. Salas, P. J. (2009). *Evaluación del Desempeño Hidrodinámico de Apéndices de Popa en Cascos de Desplazamiento*. Universidad Austral de Chile, Instituto de Ciencias Navales y Marítimas .

Ortiz, R. G. (2011). *Diseño de Interceptores para Embarcaciones de Pesca mediante Códigos CFD*. Tesis, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Valdivia, Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcib221d/doc/bmfcib221d.pdf>

Ponce, A. L. (Septiembre 2011). *Diseño de una Embarcación Planeadora de 5,4 m de L.O.A*. Tesis, Universidad Politècnica de Catalunya, Facultad Náutica de Barcelona, Barcelona.

Rodríguez, P. A. (2009). *Análisis Experimental de una Serie de Flaps de Popa en Unidad de Desplazamiento*. Tesis de Pre-Grado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Valdivia, Chile.

Systems, B.(2013). *Manual del Usuario de Maxsurf Resistance*.

Tsai, J.-F. (Jun, 2014). Study on the Compound Effects of Interceptor with Stern Flap for Two Fast Monohulls with Transom Stern., (pág. 7). Taiwan, ROC. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/4129765_Study_on_the_compound_effects_of_interceptor_with_stern_flap_for_two_fast_monohulls

Voxakis, P. (2012). *Ship Hull Resistance Calculations Using CFD Methods*. Tesis de Post-Grado, Massachusetts Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering.

Zarate, M. F. (2017). Seminario de Herramientas Computacionales I (CFD)_ENAP. *Apuntes de la clase*.