



Organizan:



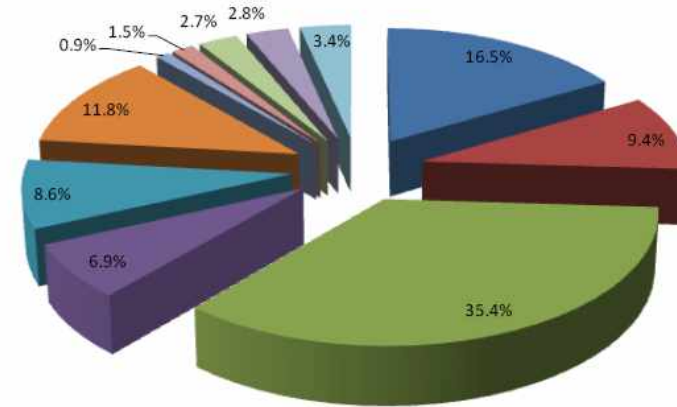
EVALUACIÓN DE INTERCEPTORES EN UNA PATRULLERA COSTA AFUERA OPV (OFFSHORE PATROL VESSEL) UTILIZANDO DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

E. Marcelo Cali Y., Marcos A. Salas Inzunza

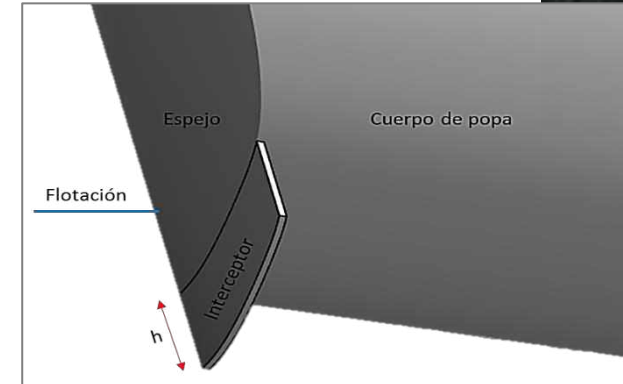
1. Introducción
2. Metodología
3. Variables de estudio
4. Modelo CFD
5. Análisis y resultados
6. Conclusiones

INTRODUCCIÓN

- Eficiencia energética y el ahorro de energía principal objetivo en un proyecto de buque
- Reducción de los costos operativos y del impacto ambiental.
- Los motores propulsores son los principales consumidores de combustible y depende directamente de las fuerzas dinámicas a vencer para alcanzar cierta velocidad (resistencia al avance).
- La implementación del Interceptor en popa es una buena posibilidad para reducir la resistencia al avance en embarcaciones patrulleras costa afuera.
- Metodologías estimación resistencia: Analítico, Pruebas de Canal, Series sistemáticas, análisis numérico.
- Los CFD son una alternativa. Su ventaja en relación a los ensayos de canal es su bajo costo.



High Speed comercial tráiler ship



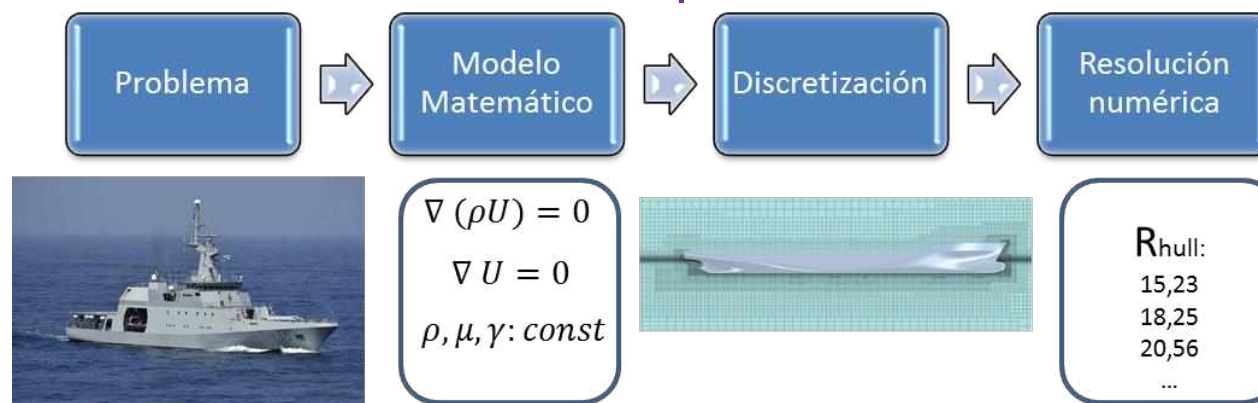
METODOLOGÍA

La metodología comprende el desarrollo de simulaciones numéricas de pruebas de canal con modelos a escala, utilizando el método de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para estimar la resistencia al avance del modelo de casco desnudo y con interceptor



ANÁLISIS NUMÉRICO

- Resolución analítica, ecuaciones de Navier-Stokes, algunas soluciones para estados de flujos simples, no hay solución para flujos turbulentos.
- Se recurre al análisis numérico para la resolución del problema. Los CFD son una alternativa.



- Ecuaciones promedio de Reynolds RANS
- Ecuaciones diferenciales parciales ---- Diferencias finitas
- Integrales ----- Volúmenes finitos

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

CASCO ESTUDIO

Característica	Simbología	Valor	Unidad
Eslora total	Loa	92,30	m
Eslora entre perpendiculares	Lpp	82,70	m
Eslora en líneas de agua	Lwl	85,10	m
Manga	B	14,03	m
Manga en línea de agua	Bwl	13,50	m
Calado	T	4,10	m
Centro de Boyantes longitudinal	LCB	41,48	m
Volumen de desplazamiento	V	2.598,20	m ³
Momento de Inercia, eje x	Ixx	64.216,68	ton-m ²
Momento de Inercia, eje y	Iyy	1.418.011,86	ton-m ²
Momento de Inercia, eje z	Izz	1.418.011,86	ton-m ²
Velocidad máxima	v	20	nudos



Modelo a escala

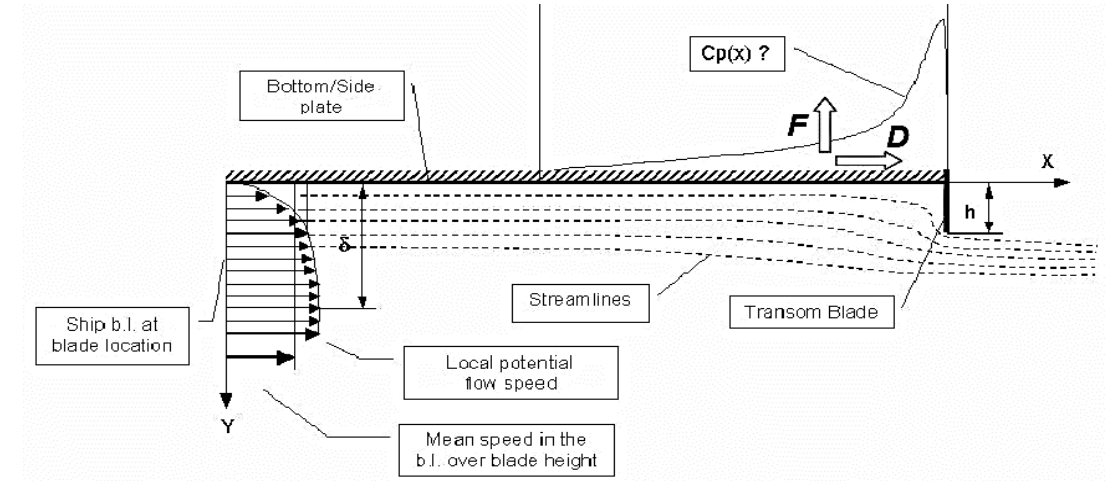
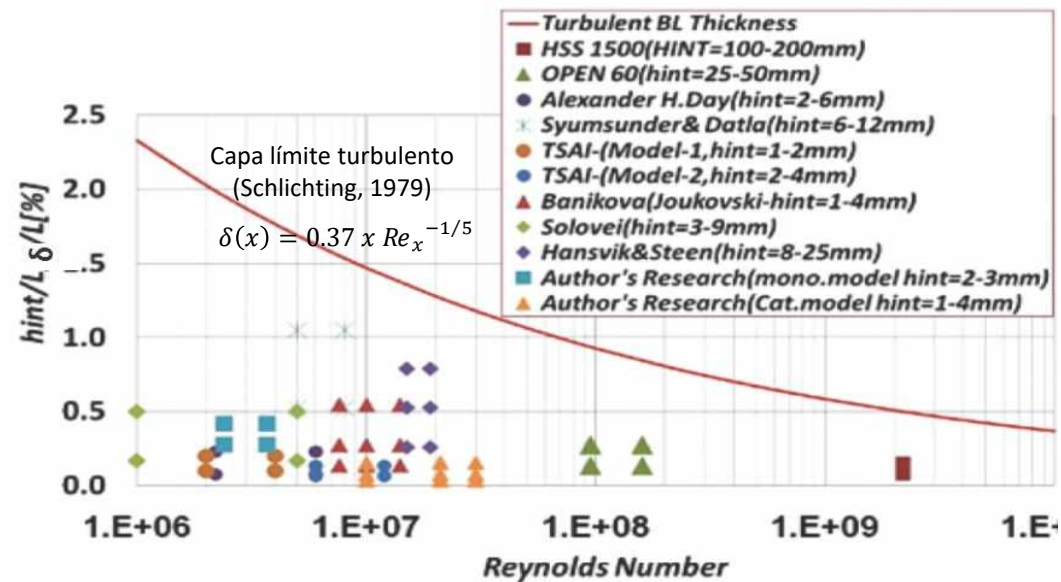
1 : 11,607

Loa: 7,95 m



VARIABLES DE ESTUDIO

- La acción principal del interceptor en la hidrodinámica del casco, se debe a las fuerzas de presión debido a la región de estancamiento.



$$F, D = f(h, V, \delta^*, \vartheta, \gamma, L, \rho, g, ht)$$

$$\frac{F, D}{\rho V^2} = f\left(Rn_L, \frac{L}{h}, H, Fn_{ht}\right)$$

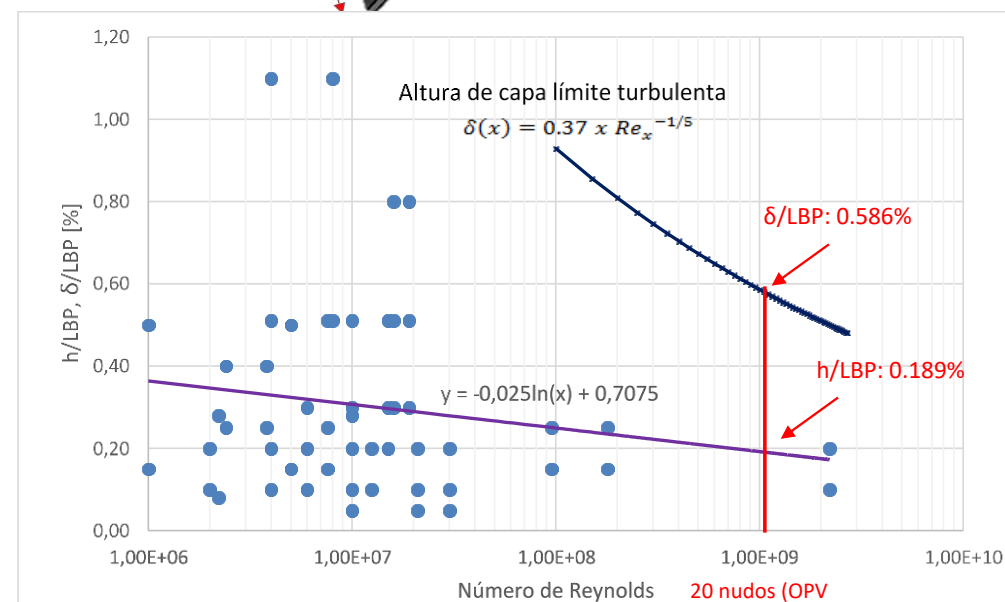
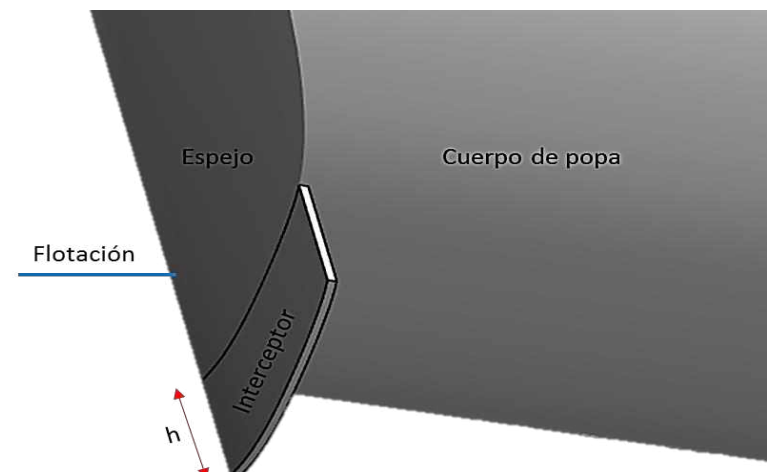
VARIABLES DE ESTUDIO

- Perfil operacional típico

Tarea	Velocidad	Porcentaje de tiempo
Maniobra, Patrulla	8	45%
Económica	12	45%
Máxima	20	10%

- Alturas de interceptor

Carrera Interceptor		h/LBP
Prototipo [mm]	Modelo [mm]	
65	5,60	0,076%
160	13,78	0,188%
200	17,23	0,235%
220	18,95	0,259%
240	20,68	0,259%
340	29,29	0,400%

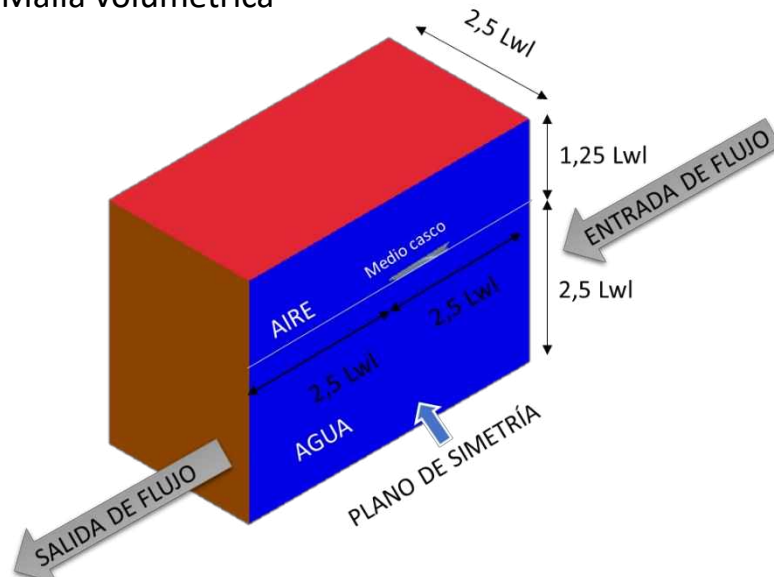


MODELO CFD

El código de Volumen Finito de un programa de Dinámica de Fluido Computacional fue utilizado para resolver las ecuaciones RANS con mallas no estructuradas recortadas.

Dominio

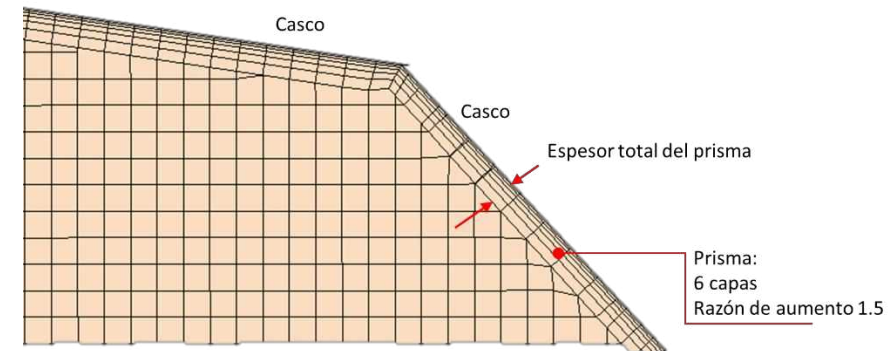
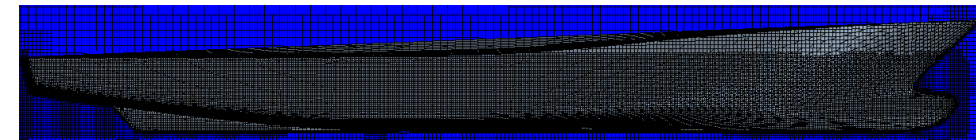
- Tiempo y exactitud de los resultados.
- Malla volumétrica



Enmallado

Ref.: casco KKC

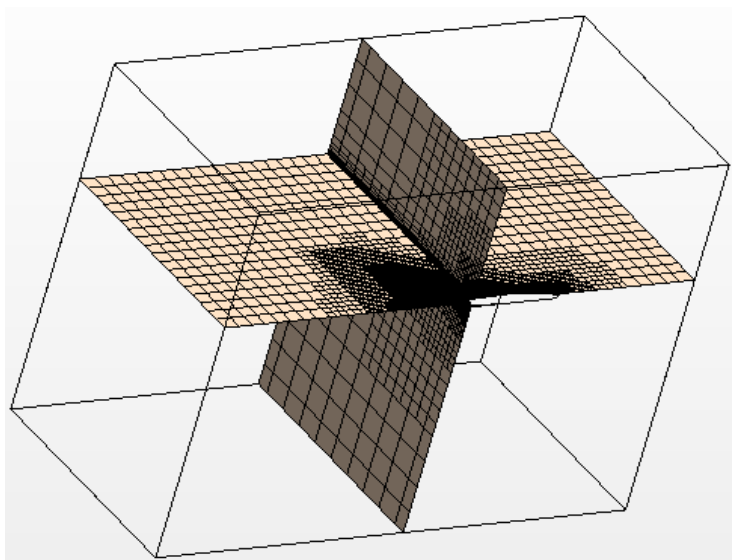
- Malla no estructurada
- Medida base: 1,72% Lwl
- Superficies de control:
 - Casco: 25%
 - Cubierta: 200%
 - Contornos tanque: 1600%,
 - Espesor total de prisma – 6 capas, y+ 95



MODELO CFD

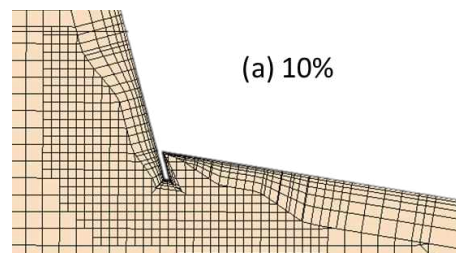
REFINAMIENTO DE MALLA

Casco: superficie libre

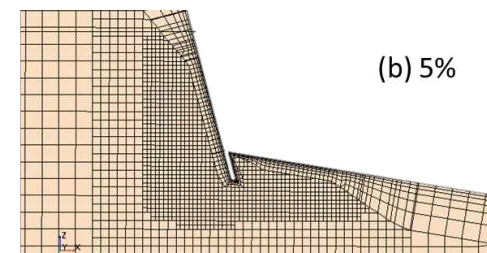


- 12.5% de la base
- Alrededor de 700.000 celdas

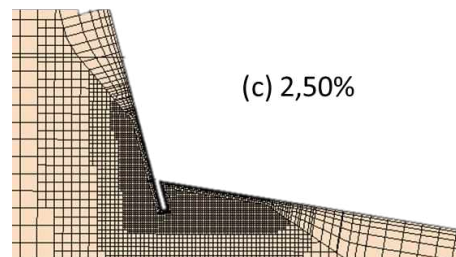
Interceptor: Zona alrededor



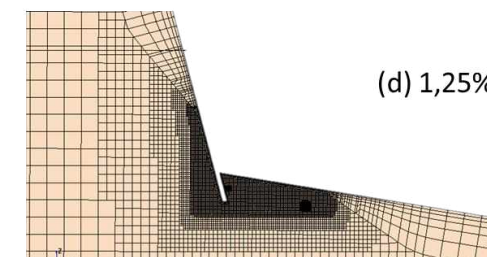
(a) 10%



(b) 5%

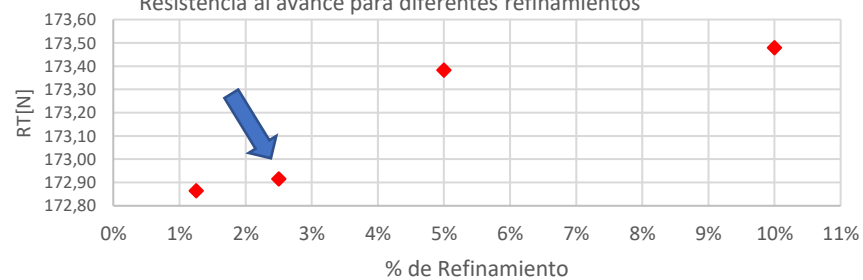


(c) 2,50%



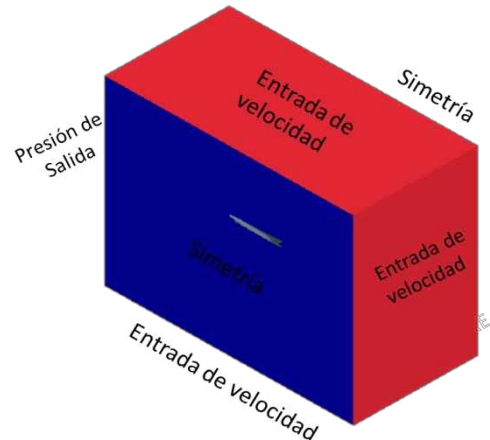
(d) 1,25%

Resistencia al avance para diferentes refinamientos



- Alrededor de 1.500.000 celdas

MODELO CFD

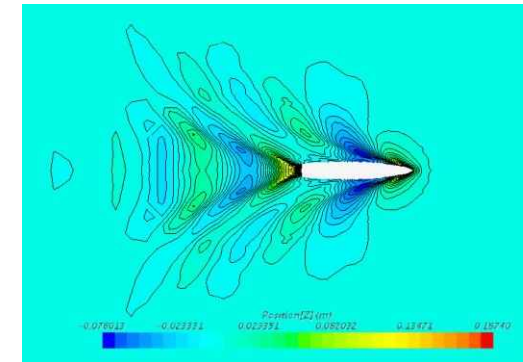


CONDICIONES DE BORDE

Borde	Condición de borde
Casco del modelo	Pared (sin deslizamiento)
Cubierta	Pared (sin deslizamiento)
Interceptor	Pared (sin deslizamiento)
Plano de simetría del bloque	Plano de simetría
Plano lateral del bloque	Plano de simetría
Plano fondo del bloque	Entrada de velocidad
Plano de techo del bloque	Entrada de velocidad
Plano de entrada del bloque	Entrada de velocidad
Plano de salida del bloque	Salida de presión

REFLEXIONES DE OLAS

- De onda por borde → VOF Wave Damping disponible en STARCCM, definiéndose como longitud de amortiguamiento de onda de 9 metros.
- Debido a transiciones de malla abruptas → Tasa de crecimiento lento durante la generación de la malla.



MODELO 6-DOF (6 grados de libertad)

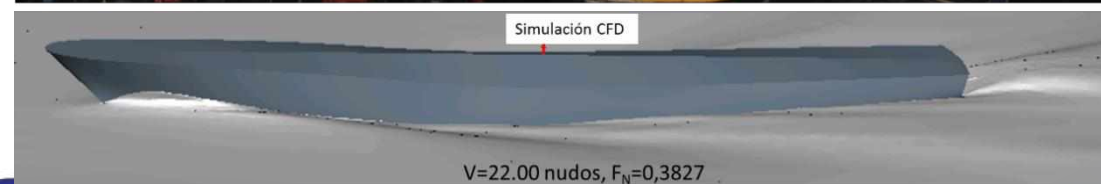
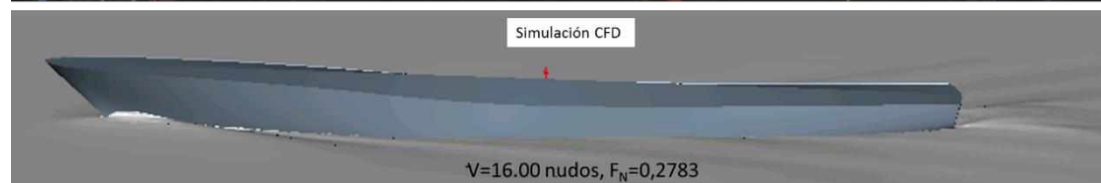
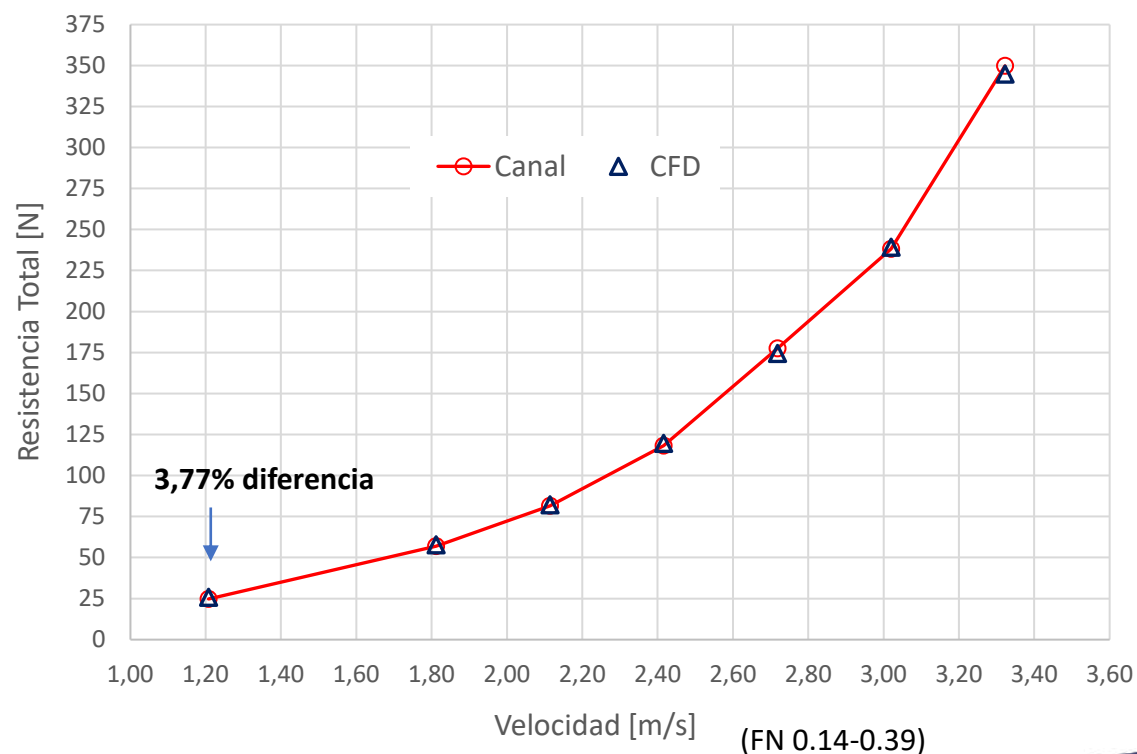
Módulo DFBI (Interacción dinámica del cuerpo – fluido) para simular el movimiento del buque en respuesta a las fuerzas de presión y de corte

SIMULACIONES NUMÉRICAS (Modelo a escala)

ANALISIS Y RESULTADOS

CASCO DESNUDO SIN INTERCEPTOR (Modelo a escala)

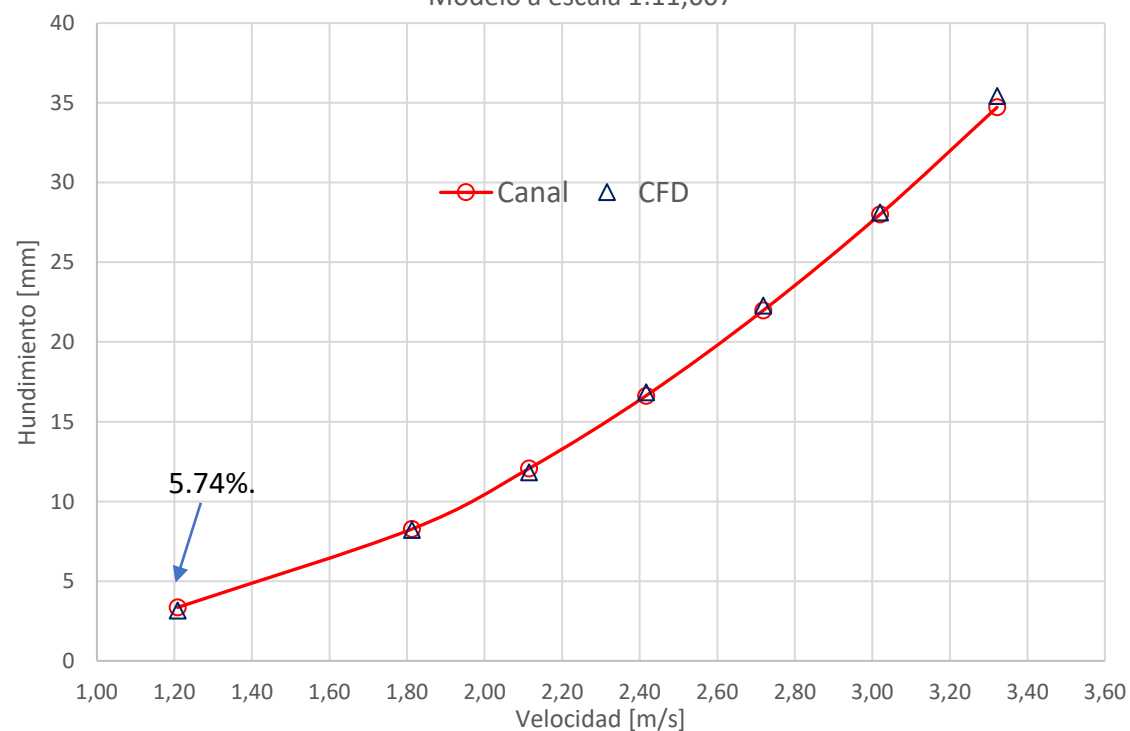
RESISTENCIA AL AVANCE
Modelo a escala 1: 11,607



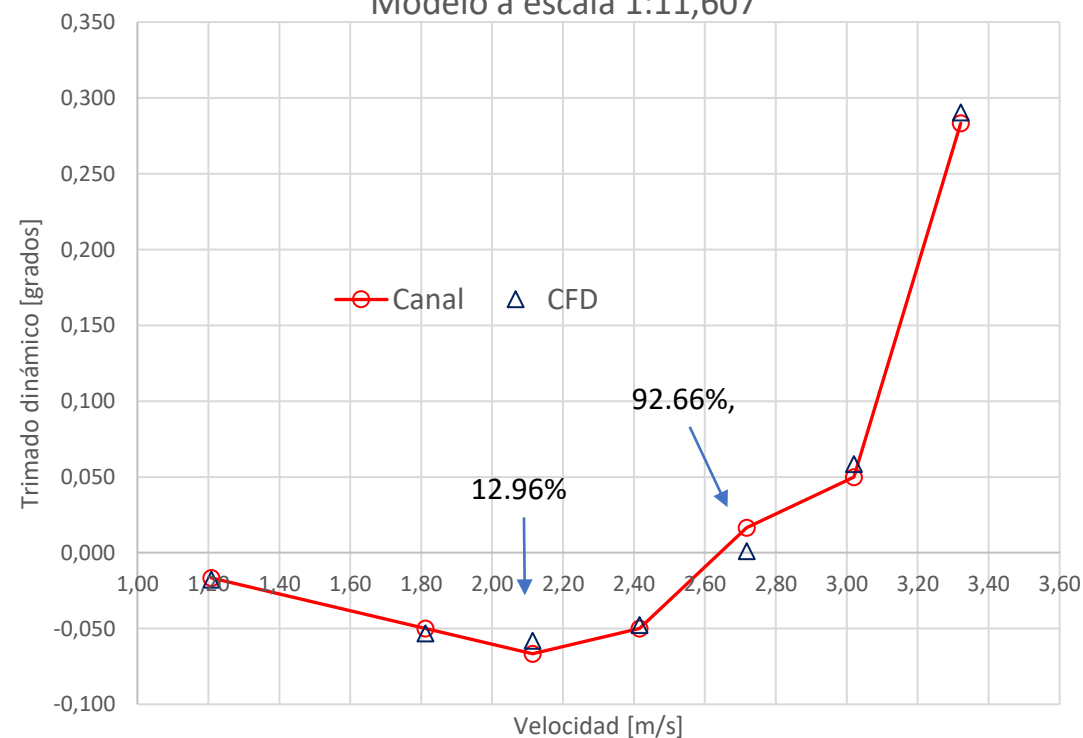
ANALISIS Y RESULTADOS

CASCO DESNUDO (Modelo a escala)

Hundimiento
Modelo a escala 1:11,607



Trimado dinámico
Modelo a escala 1:11,607

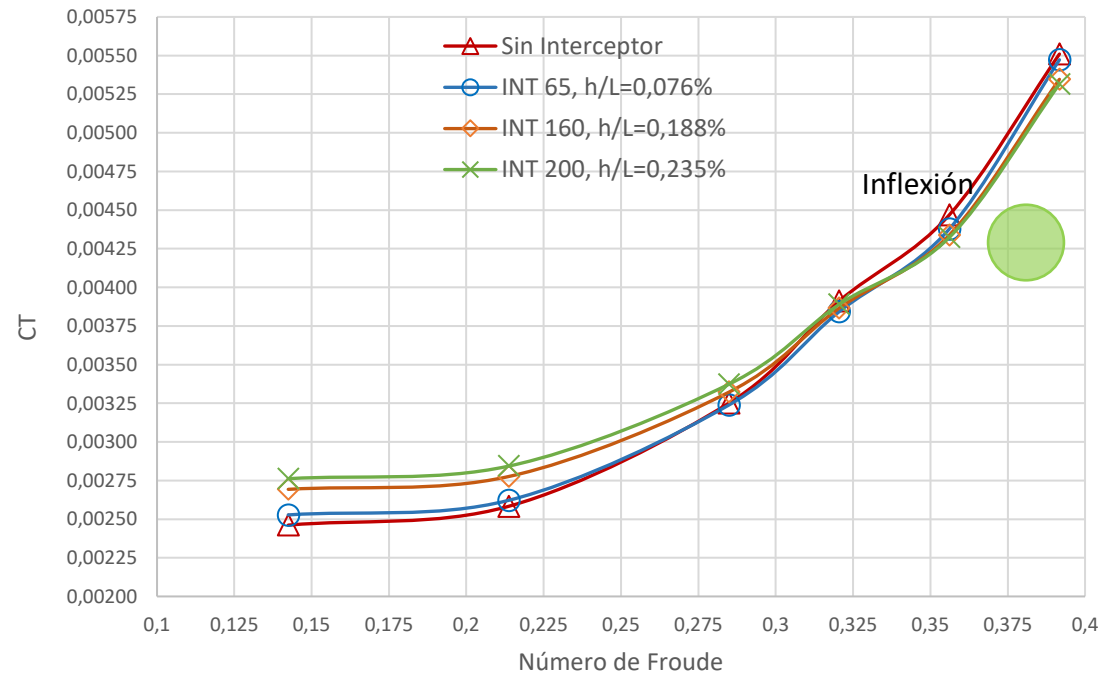


Extrapolación: ITTC'78 (International Towing Tank Conference)

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM} = C_{RS}$$

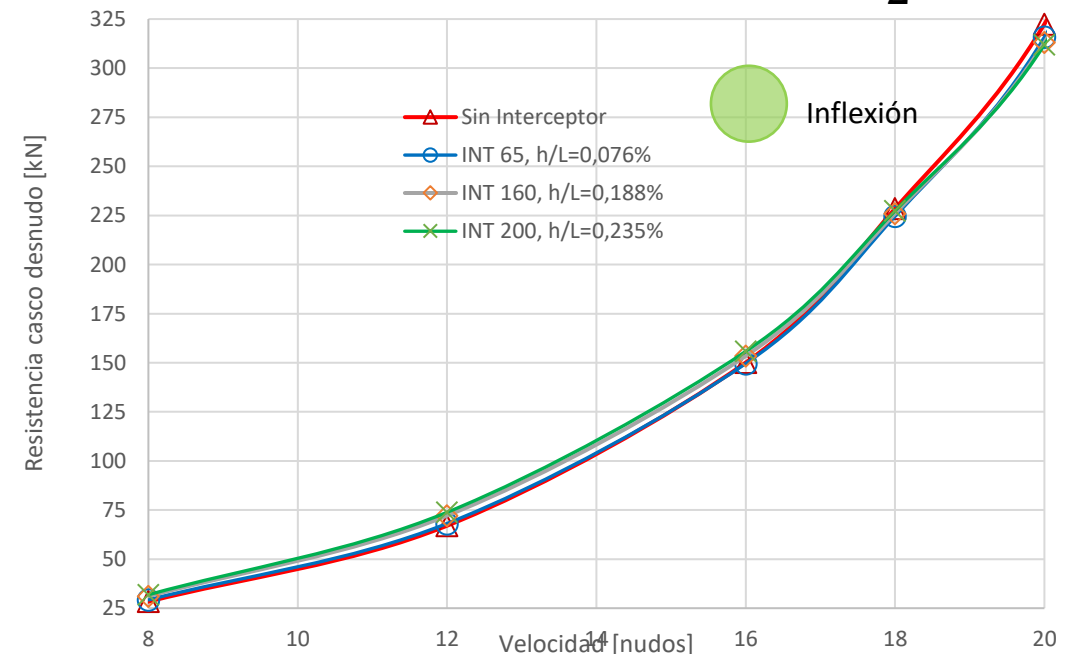
ANALISIS Y RESULTADOS

CASCO DESNUDO CON INTERCEPTOR (Modelo a escala)



COEFICIENTE RESISTENCIA TOTAL (Modelo a escala)

$$C_{TS} = C_{RS} - C_{FS} + C_A \quad C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \rho S V^2}$$

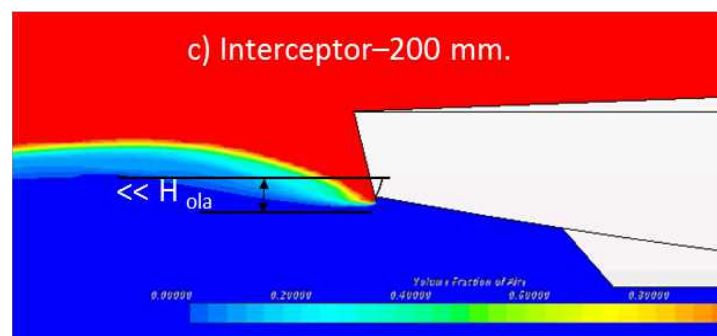
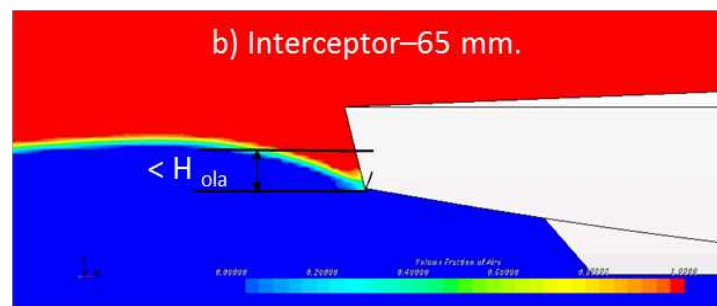
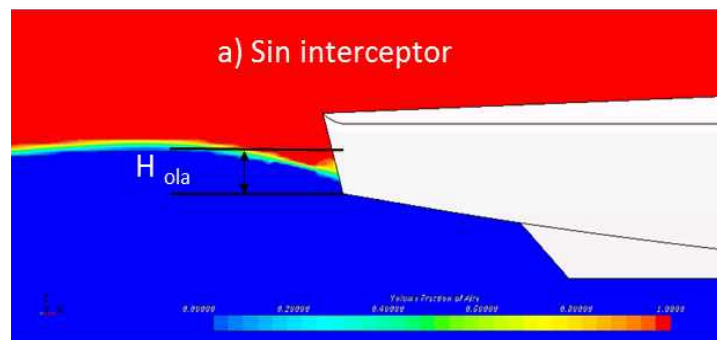


RESISTENCIA (Tamaño real)

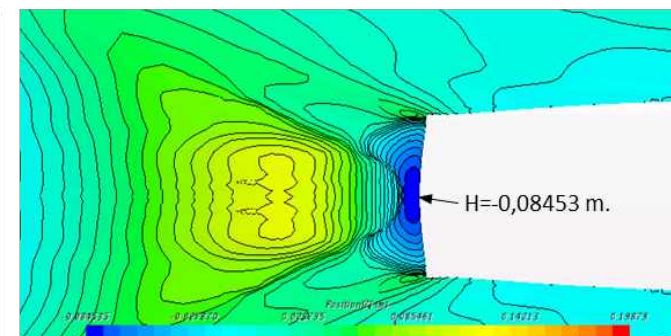
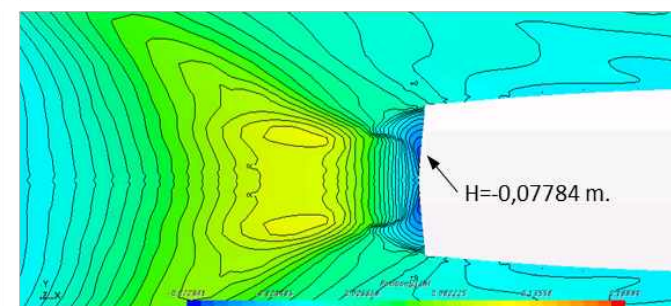
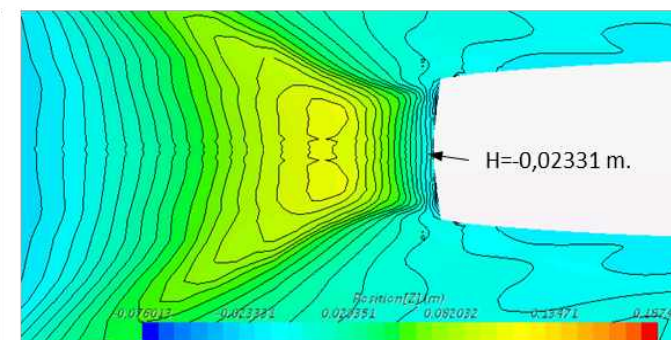
ANALISIS Y RESULTADOS

Superficie libre y Altura de Olas
(20 Nudos)

SUPERFICIE LIBRE (perfil)



ALTURA DE OLAS (planta)

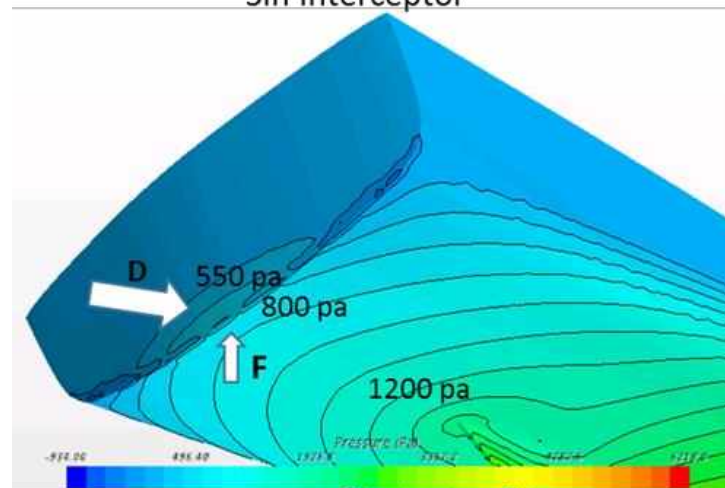


ANALISIS Y RESULTADOS

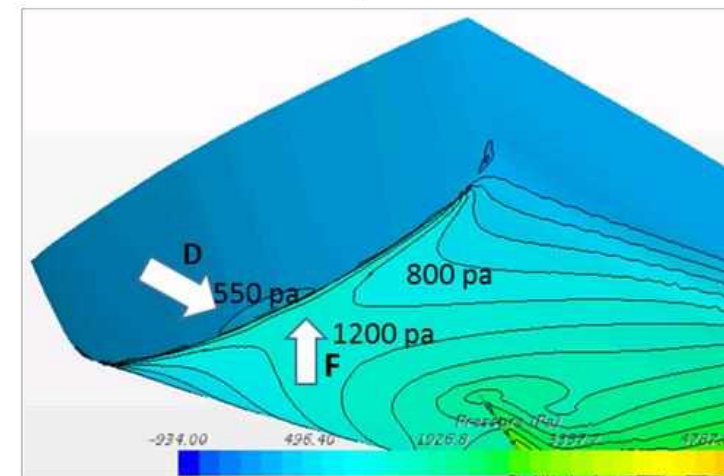
Distribución de Presiones

(20 Nudos)

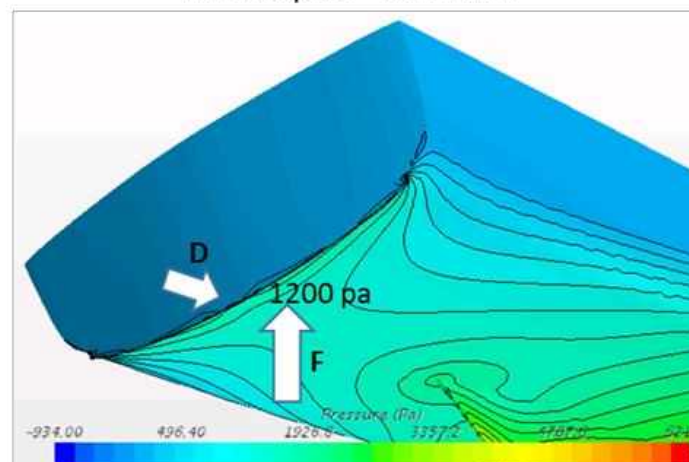
Sin interceptor



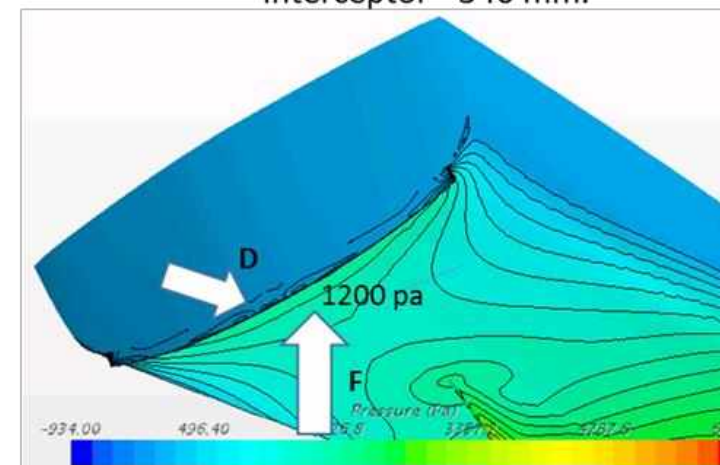
Interceptor - 65 mm.



Interceptor - 200 mm.

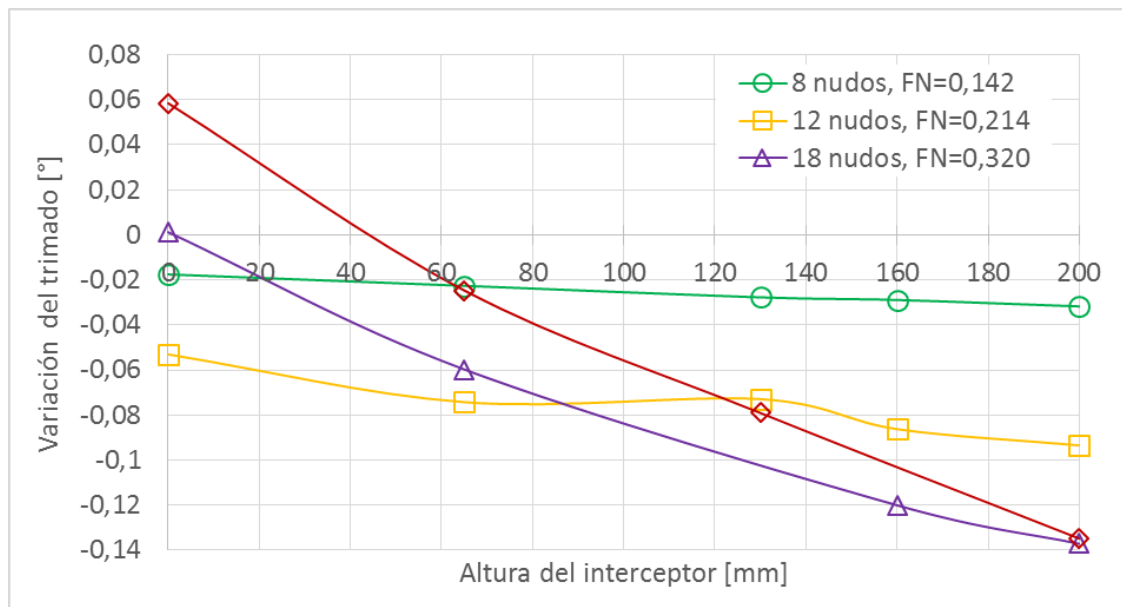


Interceptor - 340 mm.



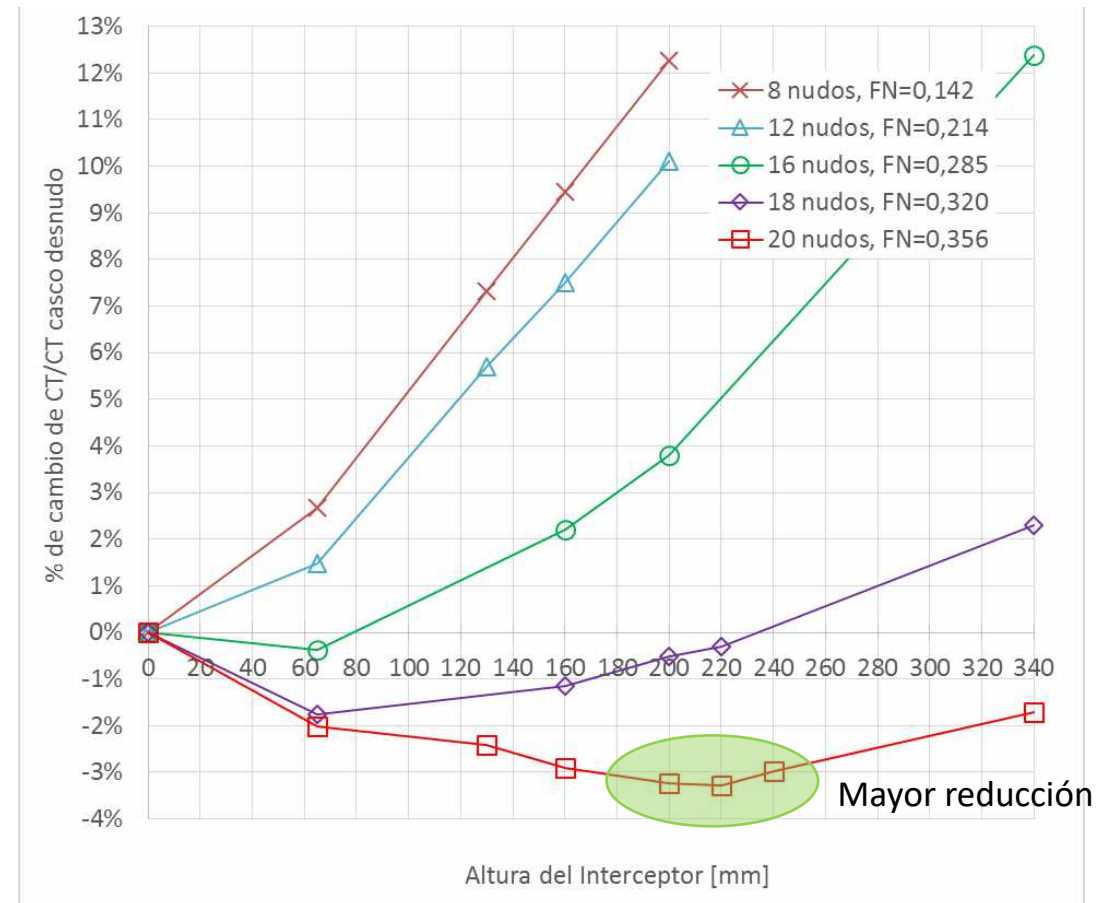
ANÁLISIS Y RESULTADOS

Variación del Trimado



- Trimado por debajo por debajo de 0.15 grados

VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA

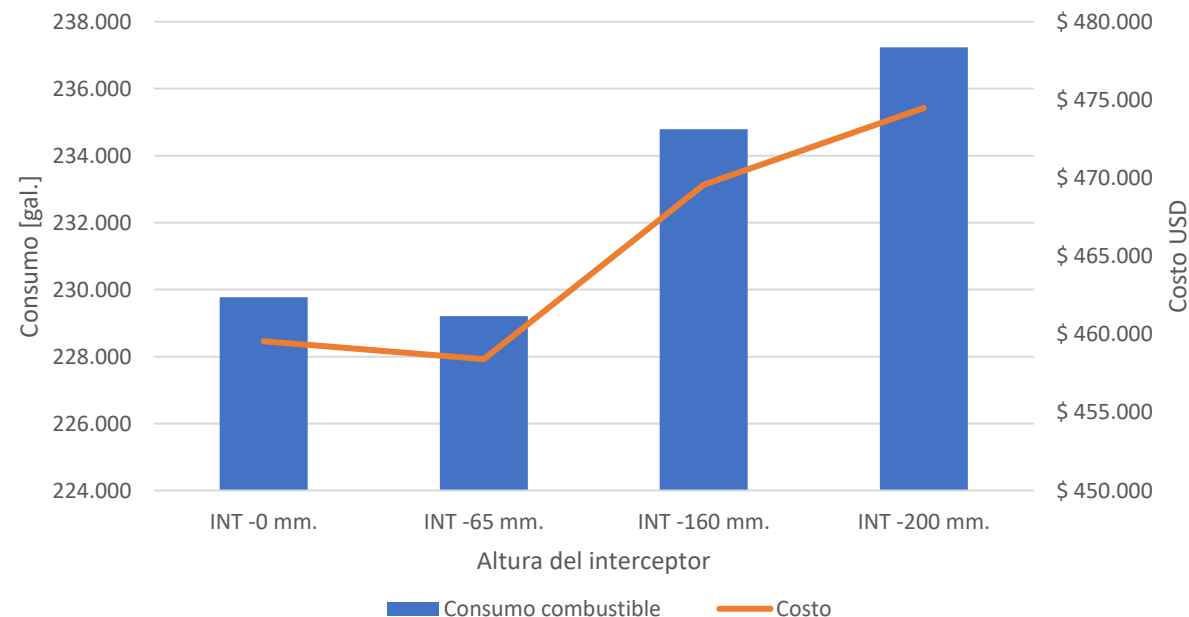


- Máxima reducción: 3,20%, velocidad 20 nudos.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

EVALUACIÓN ECONÓMICA

- 2 motores x 4800 kW
- consumos específicos:
 - 283 kW (8 nudos): 300 kg/kW.h
 - 1000 kW (12 nudos): 240 kg/kW.h
 - 8177 kW (20 nudos): 205 kg/kW.h
- 2500 horas de operación al año
- El costo promedio del combustible considerado fue de 2 dólares por galón (Ecopetrol, 2018).



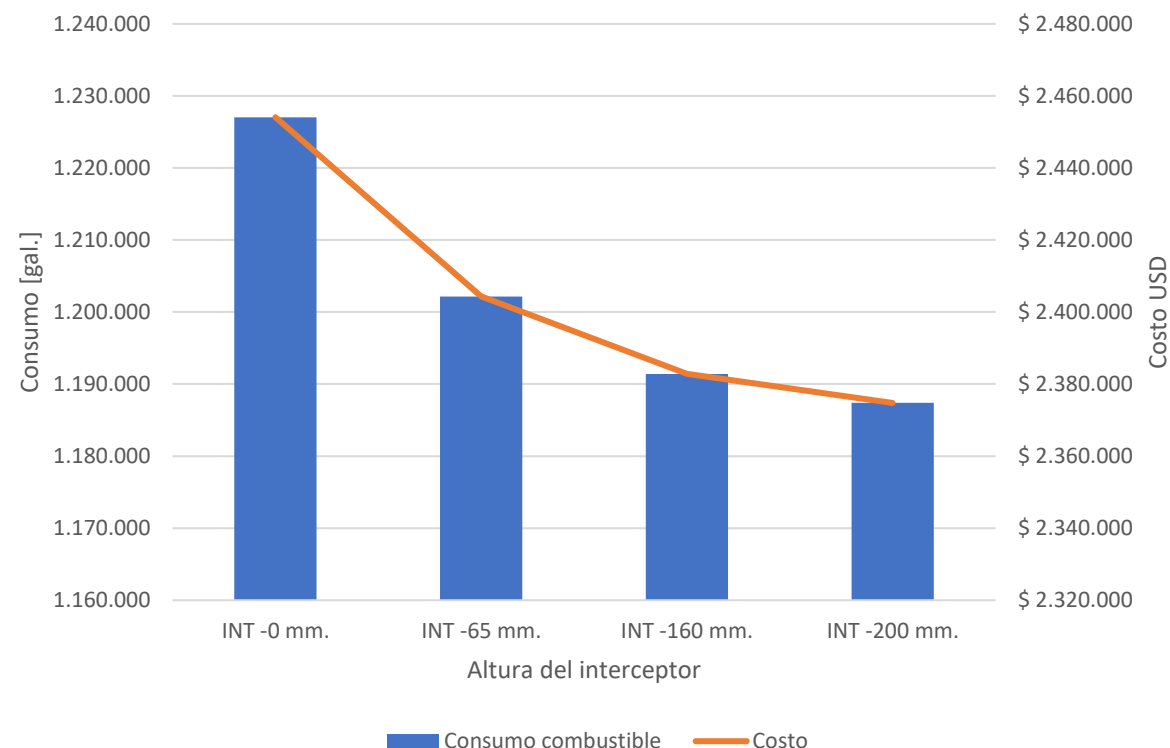
- ❑ 65 mm, sería la de mayor beneficio desde el punto de vista económico, sin embargo el ahorro de **1.139 dólares anuales** no es muy alentador, si consideramos los altos presupuestos que manejan estas embarcaciones.
- ❑ Otros factores:
 - Reducción en el costo de adquisición, debido a la instalación de un motor más pequeño
 - Mayor velocidad de alcance, debido a la reducción en las fuerzas de arrastre.

ANALISIS Y RESULTADOS

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Perfil operacional **MODIFICADO**

- tiempo de operación para la velocidad máxima de 20 nudos a 50%.



- ☐ Los resultados son más alentadores
- ☐ Los consumos de combustible se reducen a medida que aumenta la altura
- ☐ Ahorro de **79.320 dólares** en un año de operación, para el interceptor de **200 mm.**
- ☐ Se combina el mayor desempeño hidrodinámico con el económico
- ☐ Habría mayores argumentos inclinados a implementar el interceptor de mejor desempeño en la velocidad máxima.

CONCLUSIONES

- Utilizando la metodología CFD, se estimó la resistencia al avance para el casco desnudo de un buque Patrullero de 93 m. La máxima diferencia con resultados de canal, fue del **3.77%** para la velocidad de 8 nudos. Para las demás velocidades la diferencia no superó el **3%**.
- Los interceptores de 200 y 220 mm (escala real) fueron los de mayor efectividad, con una reducción del **3.29 y 3.26 %** respectivamente, para la velocidad de 20 nudos ($F_n=0,356$).
- Para 8 y 12 nudos (**$F_n < 0,2$**), los interceptores generaron aumento en la resistencia al avance, tendiendo a incrementarse a medida que se aumenta la altura. Para 200 mm el aumento fue de **12,25 y 10,11%** para 8 y 12 nudos respectivamente.
- La evaluación económica indicó que solo el interceptor con 65 mm de altura, se llegarían a tener ahorros en el orden de **1.139 USD** anuales, valor no muy significativo, considerando los altos presupuestos que se maneja en las embarcaciones.
- El bajo porcentaje de tiempo de operación para 20 nudos, es la razón del poco ahorro del consumo de combustible y en consecuencia del bajo ahorro en los costos.
- En el caso en que se incremente el porcentaje de operación a máxima velocidad, por ejemplo hasta un 50%; se llegarían a tener ahorros anuales del orden de **79.320 USD** anuales, lo que indica el beneficio de la implementación de los interceptores para perfiles operacionales con altos porcentajes de operación a la velocidad máxima.

GRACIAS



Colombia
mar **2019**