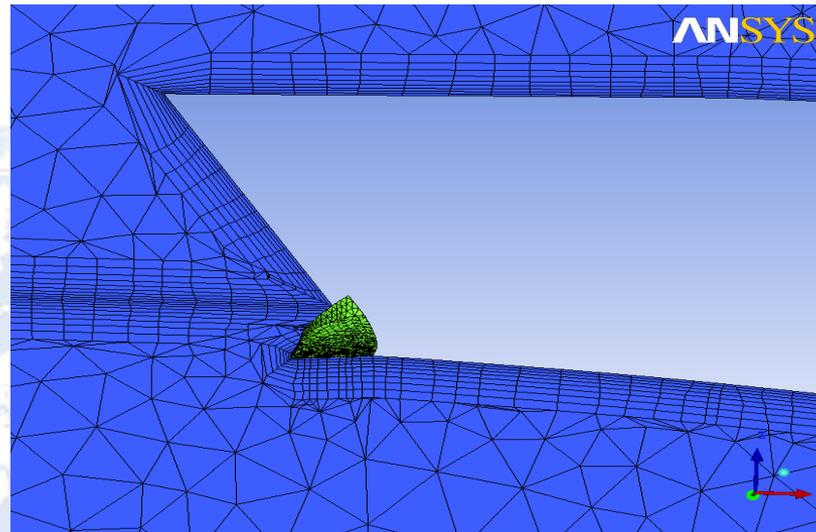
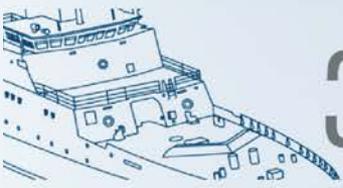


# EVALUACIÓN DE APÉNDICES PARA DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE



**Marcos Salas; Ph.D.**  
*Universidad Austral de Chile*  
*msalas@uach.cl*



## Introducción

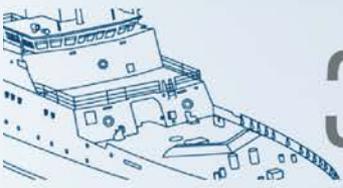
Incrementos constantes de precio de combustible y presión para reducir emisiones contaminantes.

Economías de 1% a 5% en gastos de combustible, consideradas irrelevantes en el pasado, ahora son cruciales en el desempeño económico de buques mercantes y pesqueros.

Una reducción modesta de la energía requerida podría significar la sobrevivencia económica en el largo plazo.

Hay un buen número de apéndices para reducir la resistencia al avance, su efectividad sin embargo no está bien probada y usualmente hay mucho argumento de ventas y poca evidencia técnica.

Es muy difícil evaluar el desempeño efectivo en condiciones operacionales reales variables (olas, carga, estado del casco....)

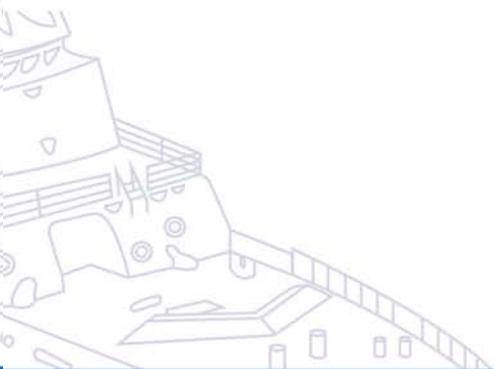


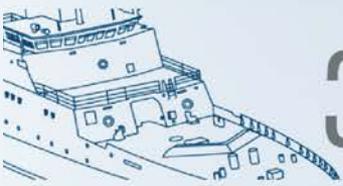
## Posibles métodos

Ensayos de canal

Simulaciones CFD

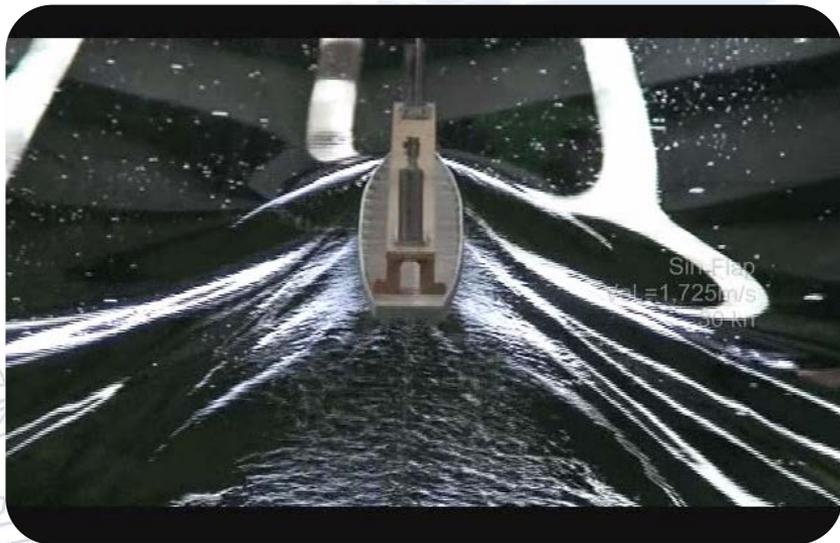
Pruebas a tamaño real



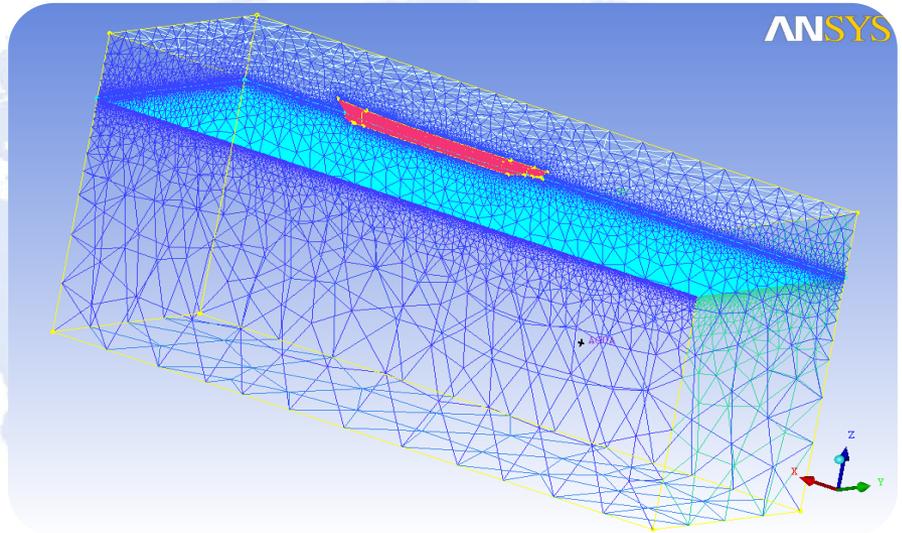


# Evaluación de Apéndices

Pruebas de canal



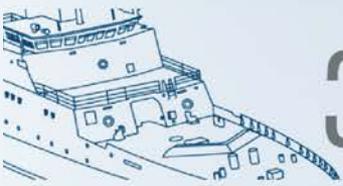
Simulaciones CFD





Apéndice	Potencial de reducción de resistencia
Flaps, Interceptor, cuñas.	5 – 10 %
Perfiles hidrodinámicos delante de la hélice.	3 – 10 %
Estator detrás de la hélice, hélices contra rotatorias.	3 - 5 %
Timones con bulbo.	2 – 3 %
Timones de borde de entrada asimétrico.	5 – 7 %
Sprayrails	1 - 5 %

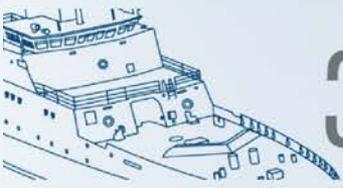




# 3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL SHIP DESIGN & NAVAL ENGINEERING CONGRESS

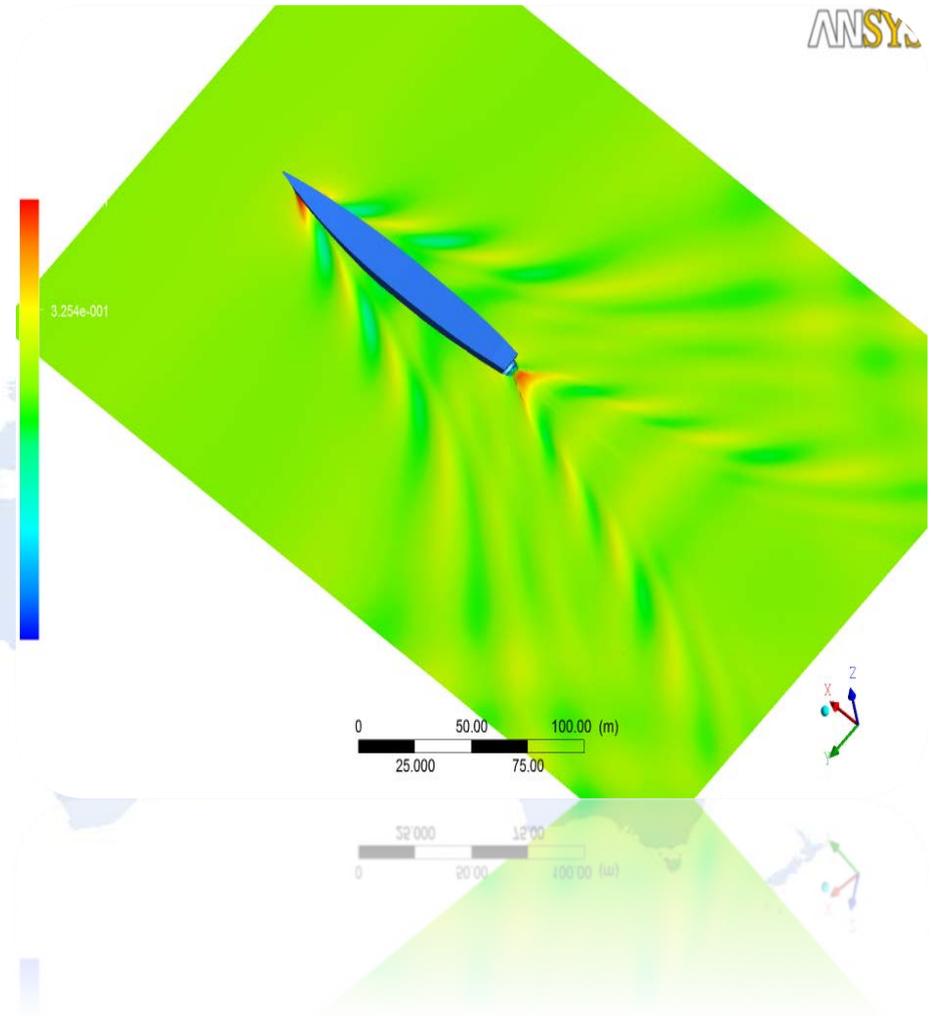


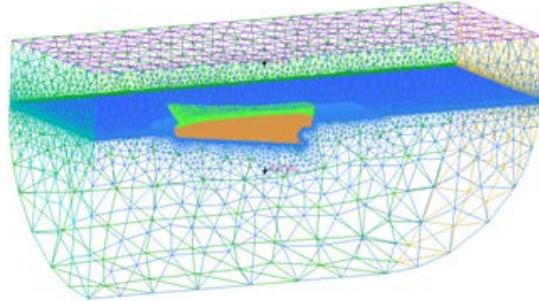
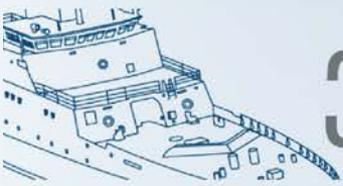
Canal de pruebas de la Universidad Austral de Chile



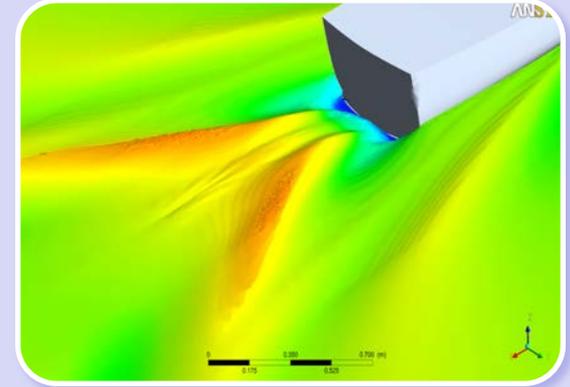
## Análisis CFD

- Es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos, para la resolución y análisis de problemas de fluidos.
- Funciona mediante la Resolución aproximada de las ecuaciones de Navier – Stokes aplicando algunos modelos de turbulencia.
- Es una herramienta muy útil para realizar simulaciones de ensayos hidrodinámicos.





$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) &= \\ &= -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \overline{u_i u_j}) \end{aligned}$$



## 1. Pre procesamiento

- Geometría.
- Mallado.
- Propiedades del fluido.
- Condiciones de contorno.

## 2. Solución

- Solución iterativa de ecuaciones básicas.

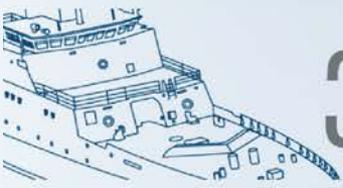
## 3. Post procesamiento

- Análisis de resultados.
- Visualización de resultados.

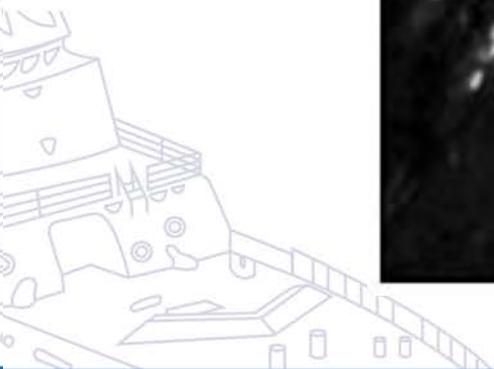
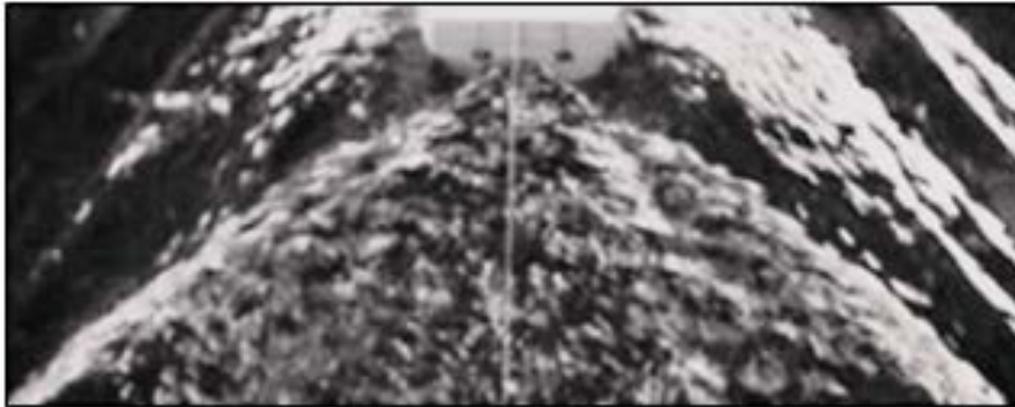
## 4. Etapa de control

Contraste experimental, ¿Es acorde a la realidad?

Fin



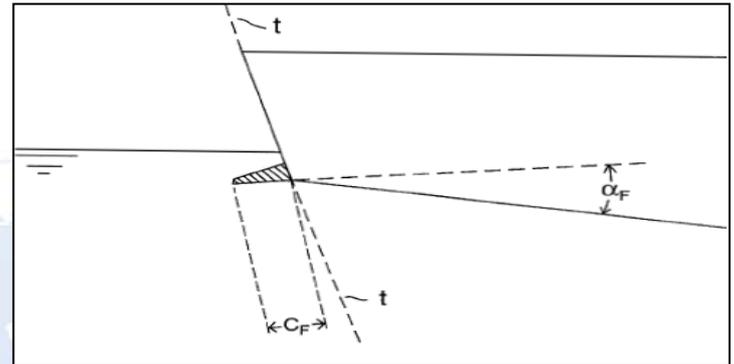
## Casco + Flap de popa



# ¿Qué es un Flap de popa?

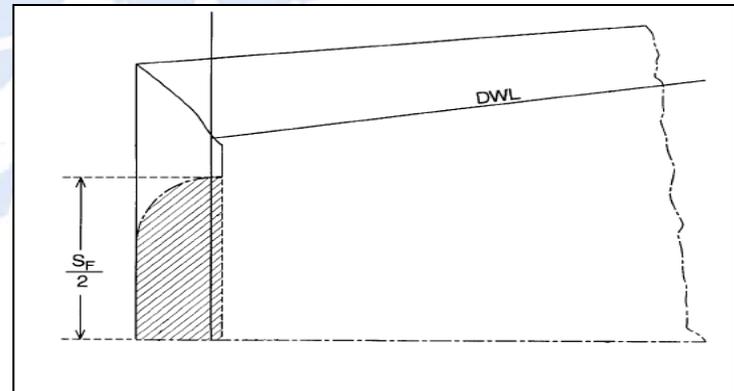
## Características geométricas principales

- Cuerda ( $C_F$ )
- Envergadura ( $S_F$ )
- Ángulo ( $\alpha_F$ )



## Características geométricas secundarias

- Variaciones transversales de espesor.
- Forma de los bordes extremos.
- Terminación de los bordes transversales.
- Acabado superficial de la unión flap-casco.



## Definición de la embarcación en estudio

Características principales			
<b>Eslora de flotación</b>	<b><math>L_{WL}</math></b>	<b>136,26</b>	<b>m</b>
<b>Manga en flotación</b>	<b>BWL</b>	<b>14,73</b>	<b>m</b>
<b>Calado medio</b>	<b><math>T_m</math></b>	<b>4,6</b>	<b>m</b>
<b>Coefficiente de bloque</b>	<b><math>C_B</math></b>	<b>0,514</b>	
<b>Superficie mojada</b>	<b>S</b>	<b>2086</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Desplazamiento</b>	<b><math>\Delta</math></b>	<b>4868,57</b>	<b>ton</b>

# Ensayos numéricos

## Condiciones del modelo

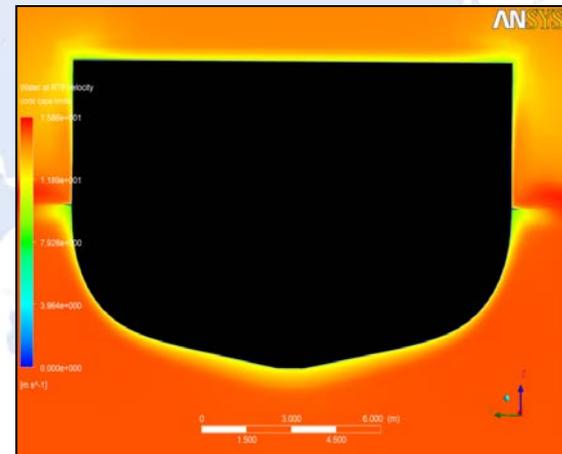
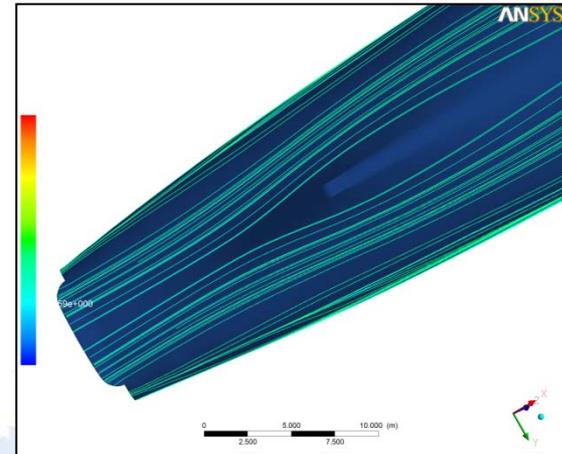
- Ensayo a escala 1:80
- Ensayo con variaciones del largo de Cuerda

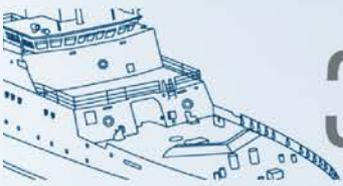
## Ángulos de Flap

0° - 5° - 10°

## Largos de Cuerda

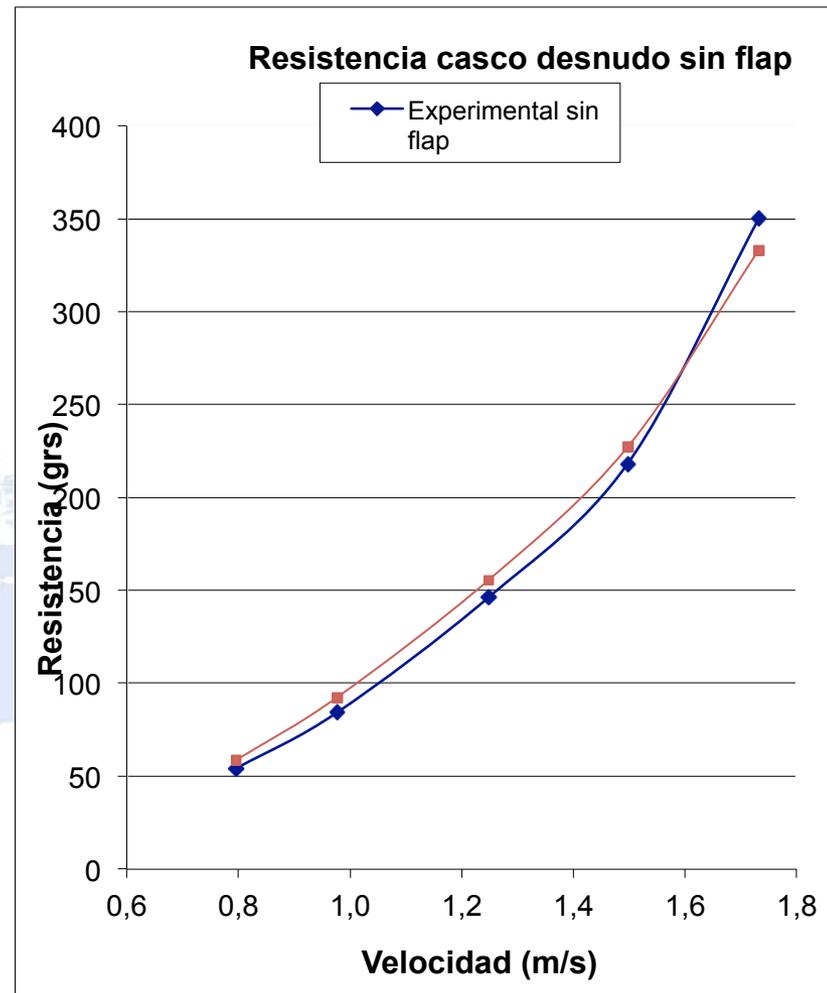
1%Lpp - 1,5% Lpp – 2% Lpp



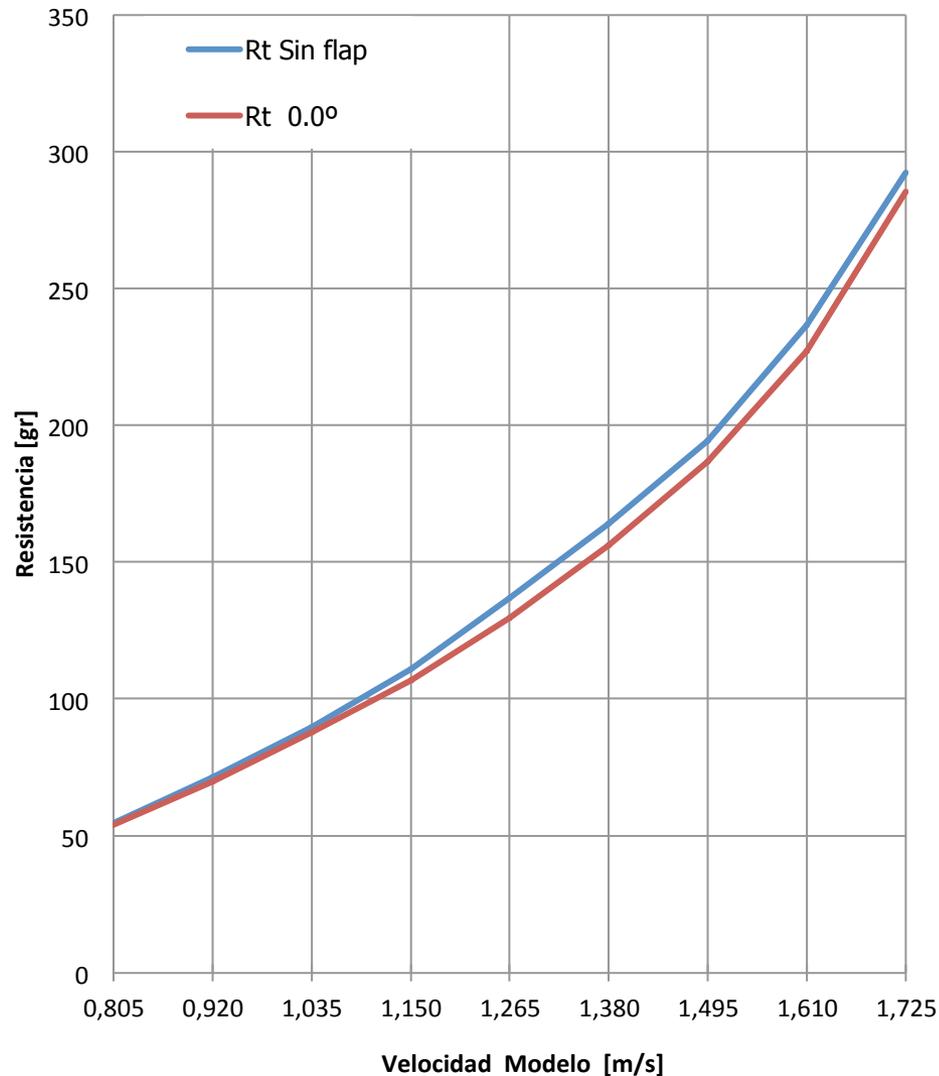


Resistencia al avance Numérica y  
experimental – *Sin Flap*

Comparación entre los  
resultados experimentales y  
numéricos muestra una  
diferencia máxima de 10,8%.

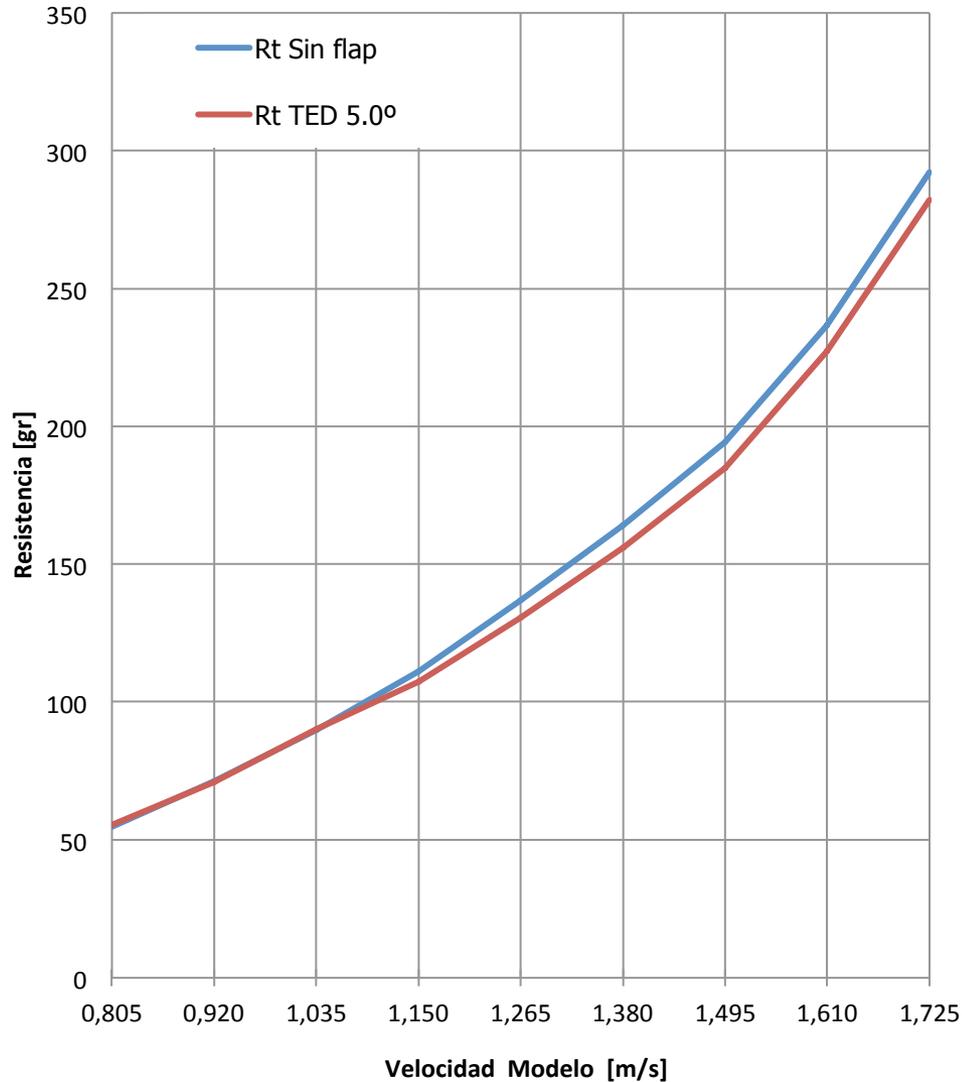


## Resistencia Flap 2.0% $L_{pp}$ 0.0° vs Casco sin Flap



- Gráfica correspondiente al **Flap 0° 2% $L_{pp}$  Vs Sin flap**, donde se presentan mayores beneficios.
- Existe una disminución de resistencia al avance en todo el rango de velocidades.
- En el rango medio de velocidades, es donde este flap genera mayores efectos de disminución de resistencia.

## Resistencia Flap 1.5% $L_{pp}$ 5.0° vs Casco sin Flap

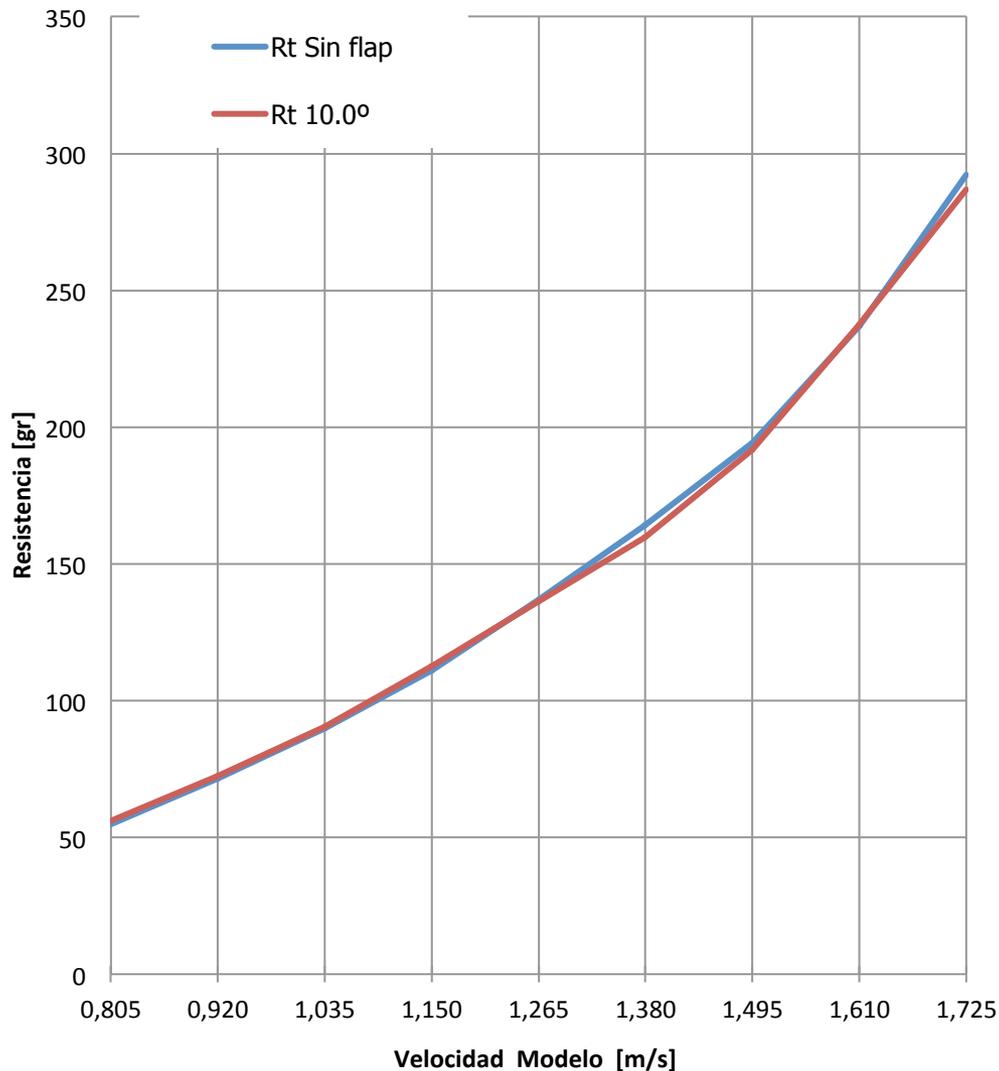


- Gráfica correspondiente al **Flap 5° 1,5% $L_{pp}$  Vs Sin flap**, donde se presentan mayores beneficios.

- Existe una disminución de resistencia al avance **desde los 20 Kn.**

- En el rango velocidades entre **14Kn - 18 Kn**, se generan aumentos en la Rt, entre el **1,3 – 0.3 %.**

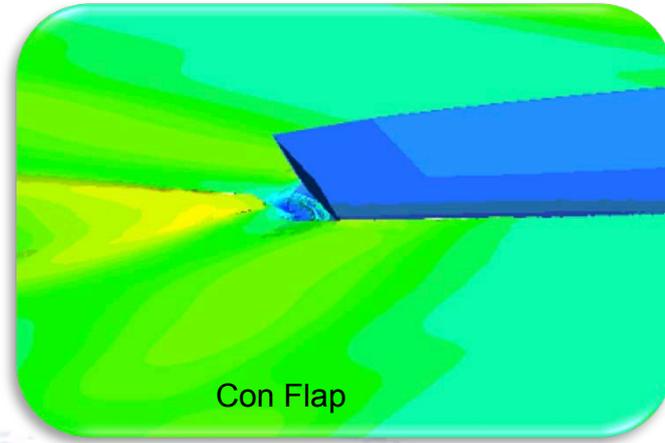
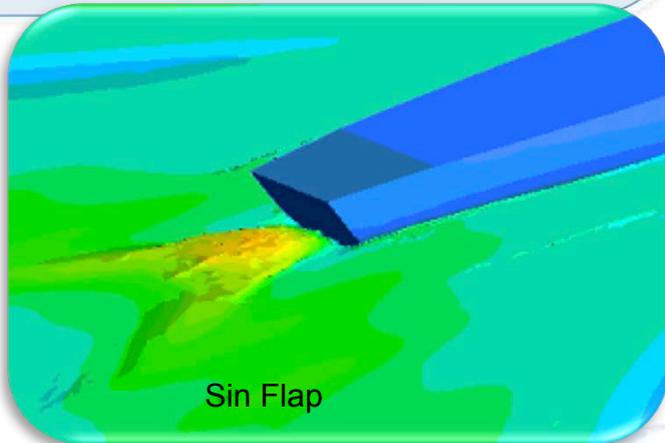
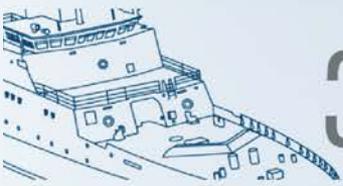
## Resistencia Flap 1% $L_{pp}$ 10.0° vs Casco sin Flap



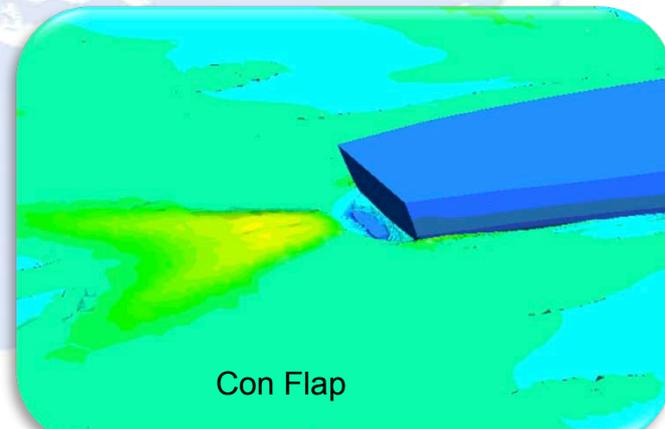
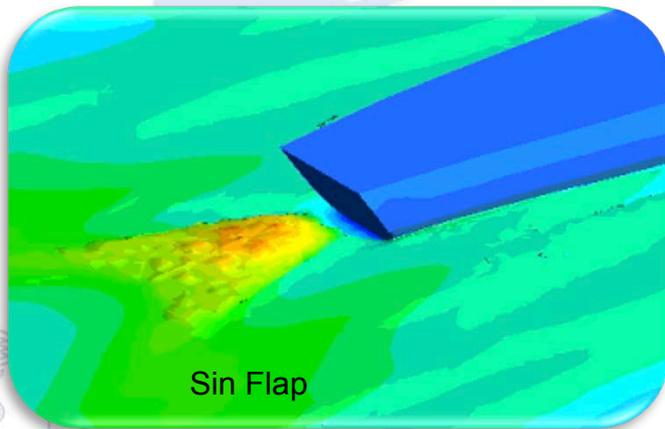
- Gráfica correspondiente al **Flap 10° 1%Lpp Vs Sin flap**, donde se presentan mayores beneficios.

- Existe una disminución de resistencia al avance **desde los 22 Kn.**

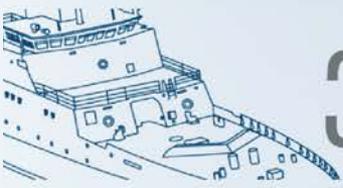
- En el rango velocidades entre **14Kn – 20 Kn**, se generan aumentos en la Rt, entre el **2,2 – 0.81 %.**



Flujo de popa,  $V = 22 \text{ kn}$  ; Flap =  $0^\circ$  2%Lpp



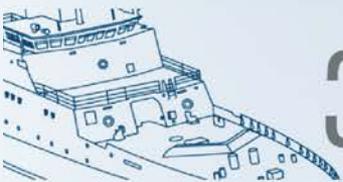
Flujo de popa,  $V = 24 \text{ kn}$  ; Flap =  $0^\circ$  2%Lpp



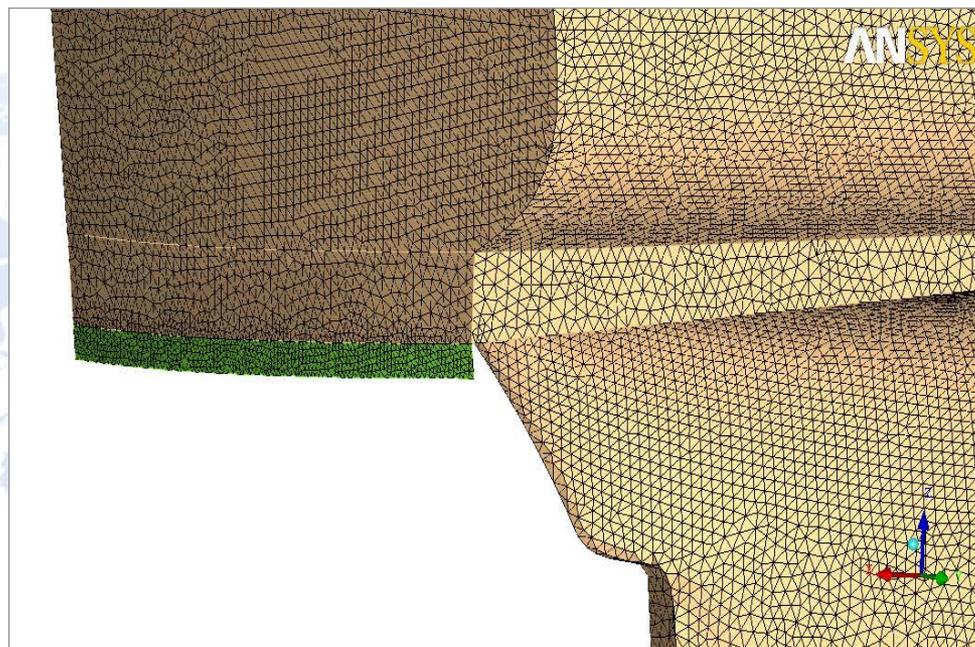
## Selección del Flap óptimo

### Resumen de optimización Flap 0° ; Cuerda 2%Lpp

<b>Cuerda</b>	<b>2,64</b>	<b>m</b>
<b>Envergadura</b>	<b>7</b>	<b>m</b>
<b>Promedio de reducción de resistencia</b>	<b>3,21</b>	<b>%</b>
<b>Máxima reducción de resistencia</b>	<b>5,45</b>	<b>% @ 24 kn</b>
<b>Efectivo en rango de velocidad:</b>	<b>En la totalidad del rango</b>	



## Casco + Interceptor



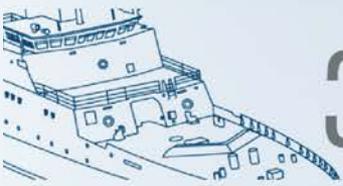
# Definición de la embarcación en estudio

## Características principales

<b>Eslora de flotación</b>	<b><math>L_{WL}</math></b>	<b>23,350</b>	<b>m</b>
<b>Manga en flotación</b>	<b>BWL</b>	<b>5,840</b>	<b>m</b>
<b>Calado medio</b>	<b><math>T_m</math></b>	<b>2,272</b>	<b>m</b>
<b>Coeficiente de bloque</b>	<b><math>C_B</math></b>	<b>0,405</b>	
<b>Superficie mojada</b>	<b>S</b>	<b>154,990</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Desplazamiento</b>	<b><math>\Delta</math></b>	<b>80,600</b>	<b>ton</b>

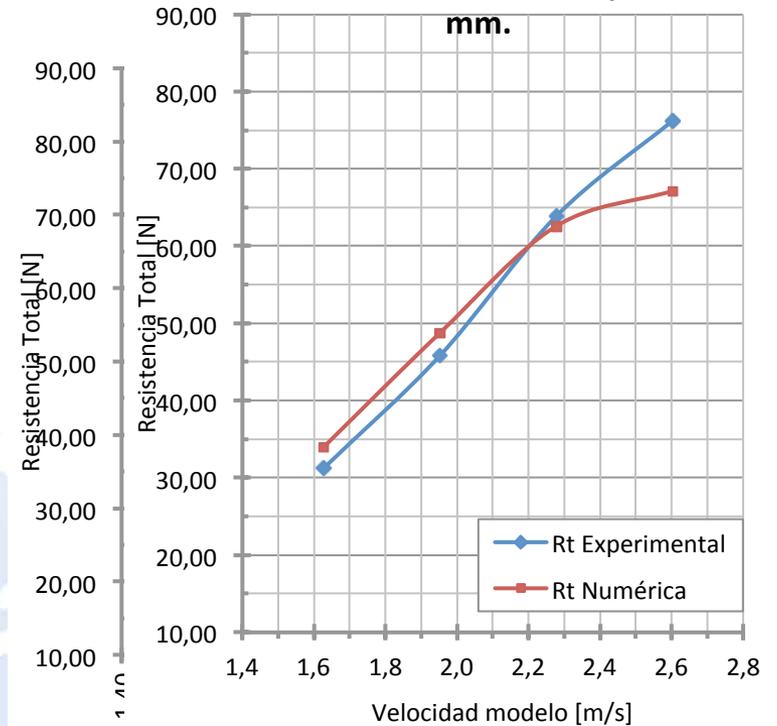
# Modelo a escala (experimentos ETSIN UPM)

Velocidades de ensayo					
Vel. Prototipo	10	12	14	16	kn
Vel. Prototipo	5,144	6,173	7,202	8,230	m/s
Vel. modelo	1,627	1,952	2,277	2,603	m/s
Fn	0,340	0,408	0,476	0,544	
Rn	3,16E+06	3,79E+06	4,42E+06	5,05E+06	

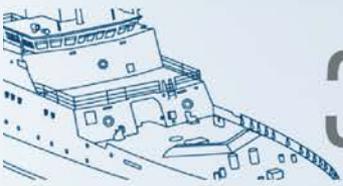


## Comparación de resultados numéricos y experimentales

Resistencia Total, Interceptor 10 mm.

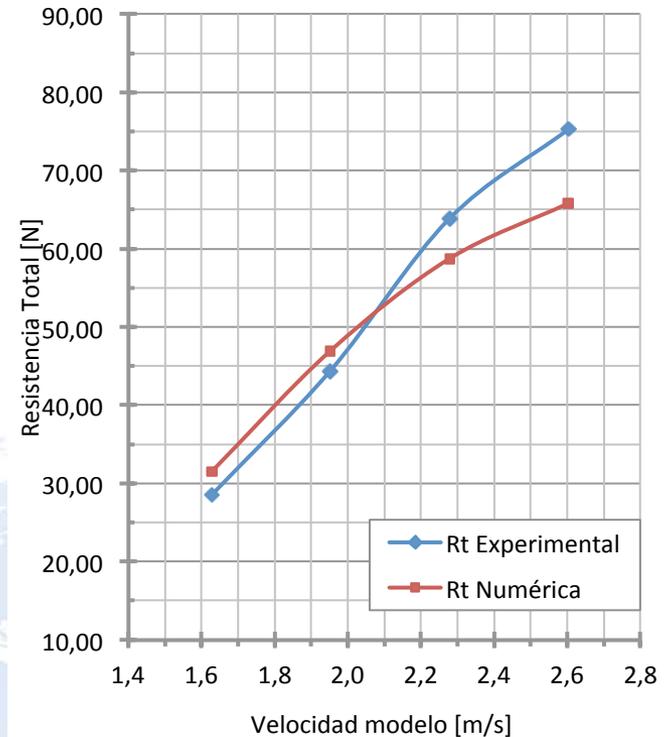


Velocidad Modelo	1,627	1,952	2,277	2,603	m/s
Fn	0,340	0,408	0,476	0,544	
C <sub>T</sub> EFD	1,22e-03	1,49e-03	1,78e-03	1,58e-03	
C <sub>T</sub> CFD	1,47e-03	1,57e-03	1,55e-03	1,48e-03	
Diferencia R <sub>T</sub> EFD - CFD	20,51%	5,24%	-12,95%	-5,99%	

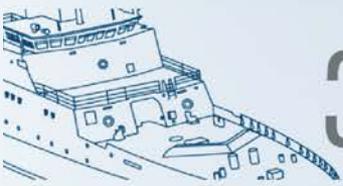


Comparación de resultados  
numéricos y experimentales  
interceptor: 5 mm

**Resistencia Total , Interceptor 5 mm.**

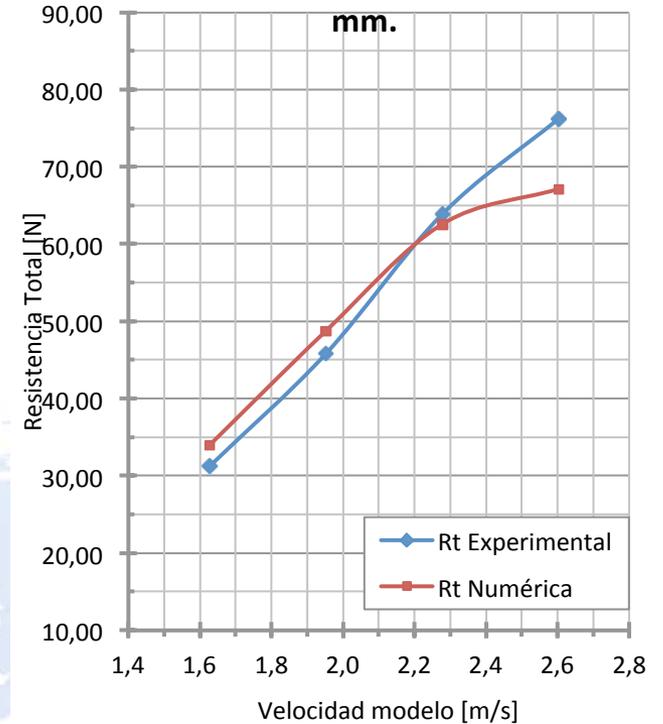


Velocidad Modelo	1,627	1,952	2,277	2,603	m/s
Fn	0,340	0,408	0,476	0,544	
C <sub>T EFD</sub>	1,39e-03	1,50e-03	1,59e-03	1,43e-03	
C <sub>T CFD</sub>	1,53e-03	1,59e-03	1,46e-03	1,25e-03	
Diferencia R <sub>T</sub> EFD - CFD	10,32%	5,75%	-8,00%	-12,57	

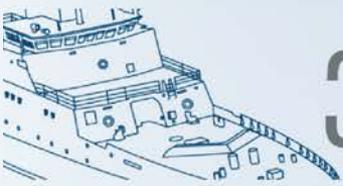


Comparación de resultados numéricos y experimentales interceptor: 10mm

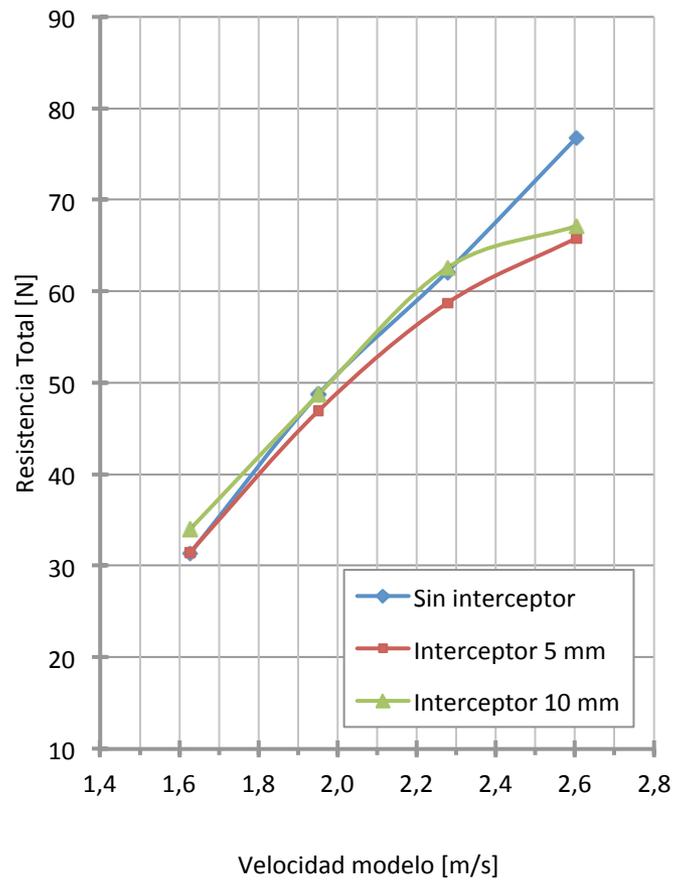
Resistencia Total, Interceptor 10 mm.



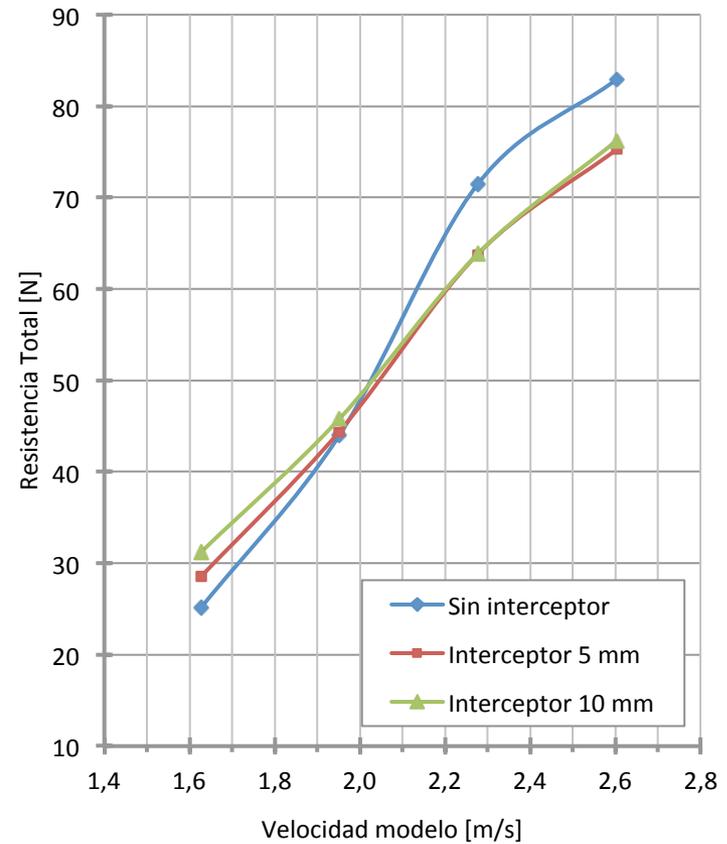
Velocidad Modelo	1,627	1,952	2,277	2,603	m/s
Fn	0,340	0,408	0,476	0,544	
C <sub>T</sub> EFD	1,52e-03	1,55e-03	1,59e-03	1,45e-03	
C <sub>T</sub> CFD	1,66e-03	1,65e-03	1,55e-03	1,28e-03	
Diferencia R <sub>T</sub> EFD - CFD	8,86%	6,64%	-2,00%	-11,93	

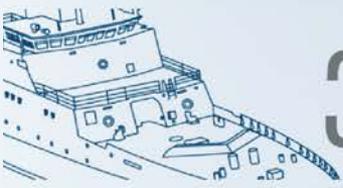


**Resultados numéricos ANSYS CFX**  
Asfibe 2B esc. 1:10



**Resultados experimentales ETSIN**  
Asfibe 2B esc. 1:10

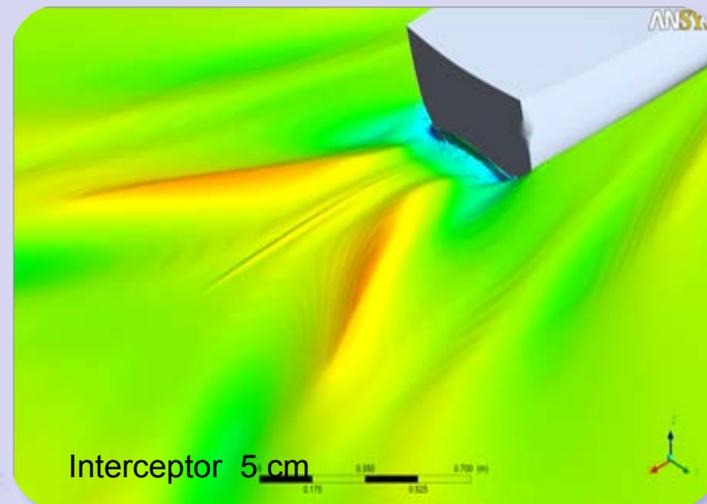
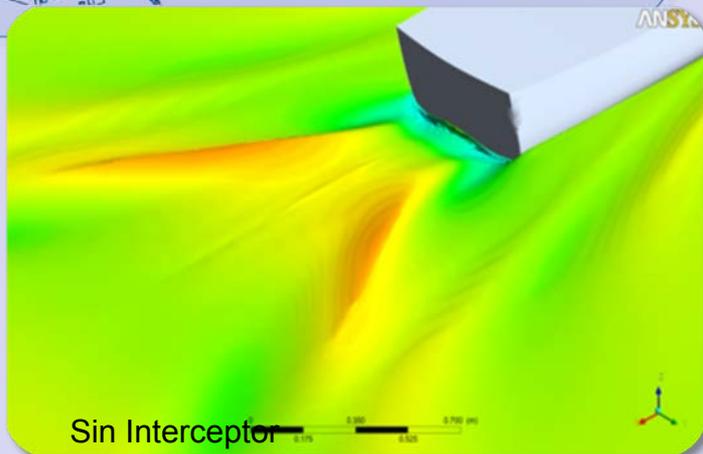




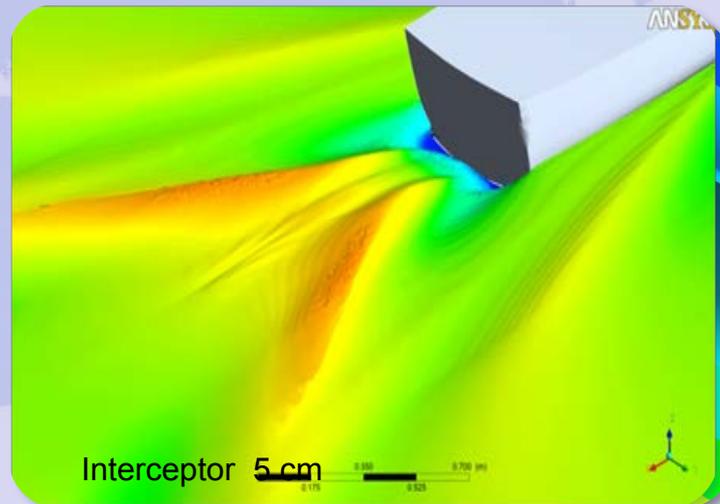
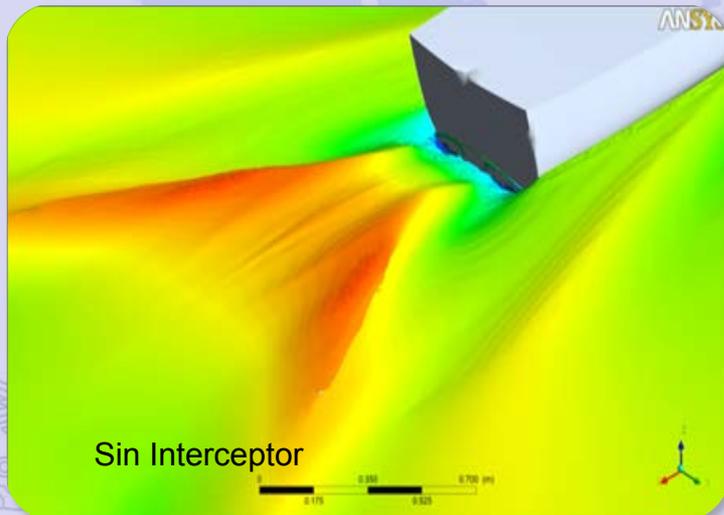
### Resumen de optimización Interceptor 5 cm

Cuerda	0,05	m
Envergadura	4,208	m
Promedio de reducción de resistencia	7,54	%
Máxima reducción de resistencia	10,71	% @ 15 kn
Incremento de la velocidad de diseño (16 kn)	1.15	kn
Efectivo a partir de los:	13	kn

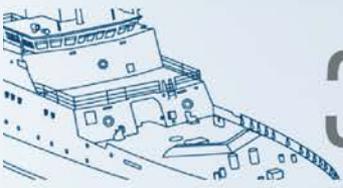
Selección del interceptor óptimo



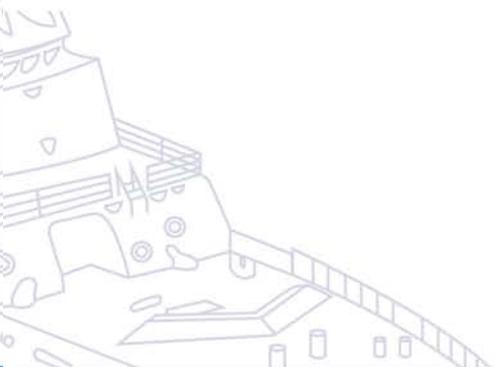
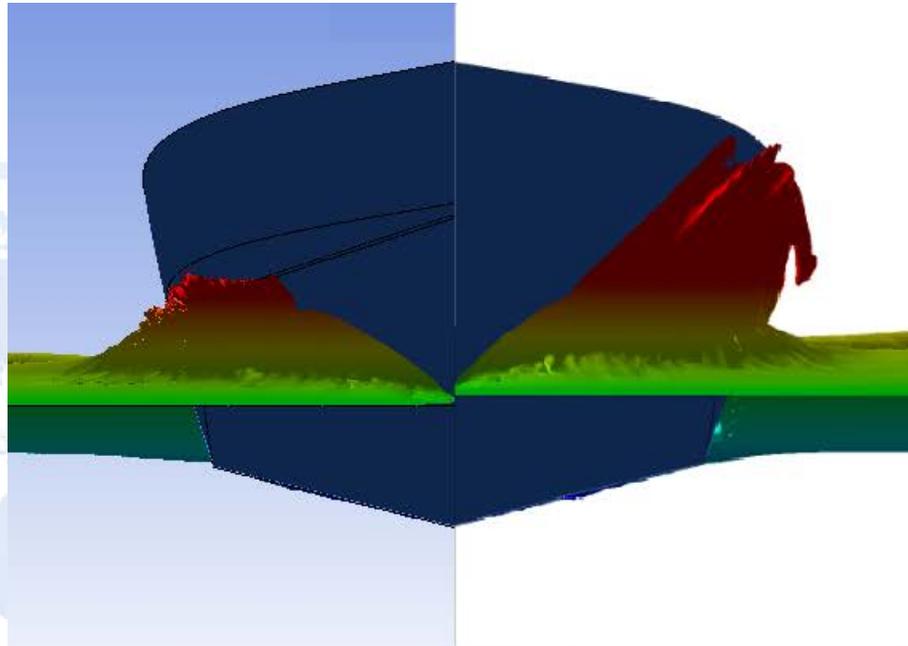
**Observaciones en el flujo de popa,  $V_p = 10$  kn  $Fn = 0,340$**

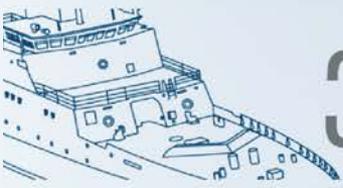


**Observaciones en el flujo de popa,  $V_p = 12$  kn  $Fn = 0,408$**



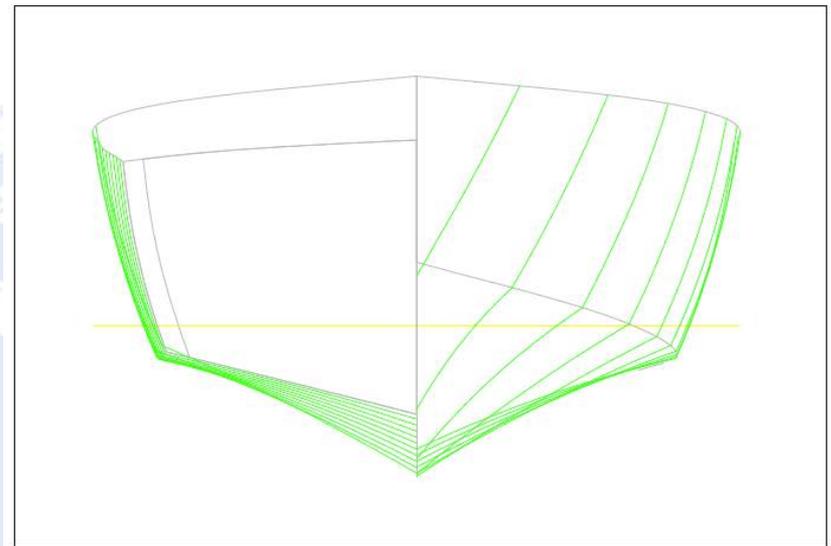
## Casco + Sprayrails

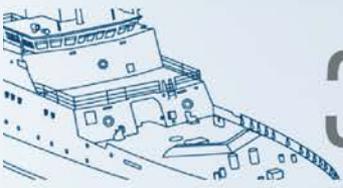




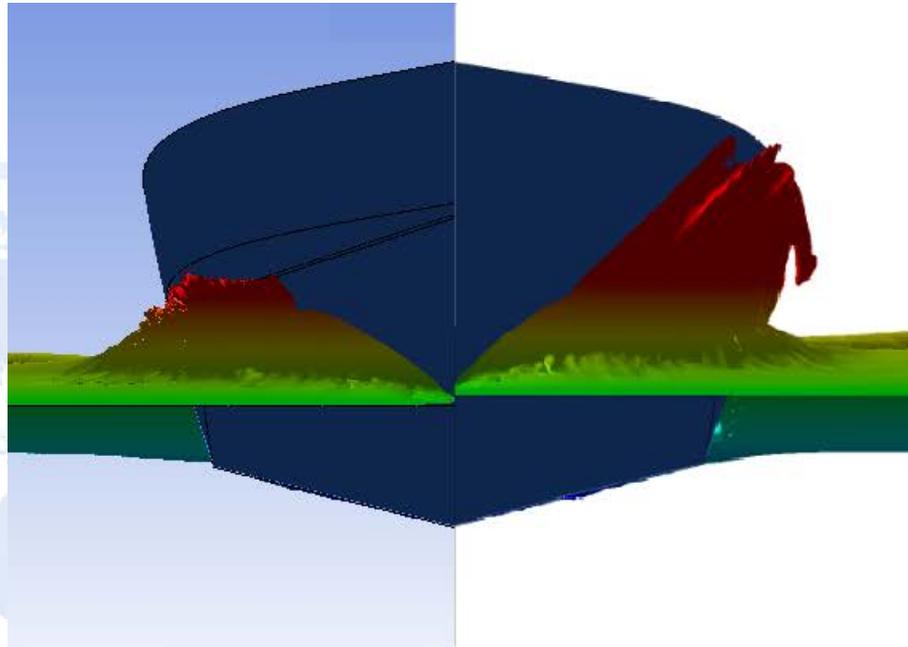
# Sprayrails para lancha de prácticos

Main particulars of planing hull		
Length overall	19.5	m
Waterline Length	17.7	m
Maximum Beam	5.1	m
Static Draft	1.2	m
Displacement	36.0	ton
Maximum speed	28	knots



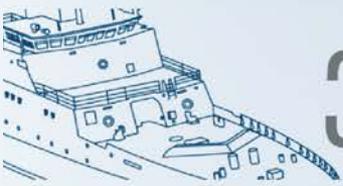


## Efecto de sprayrails

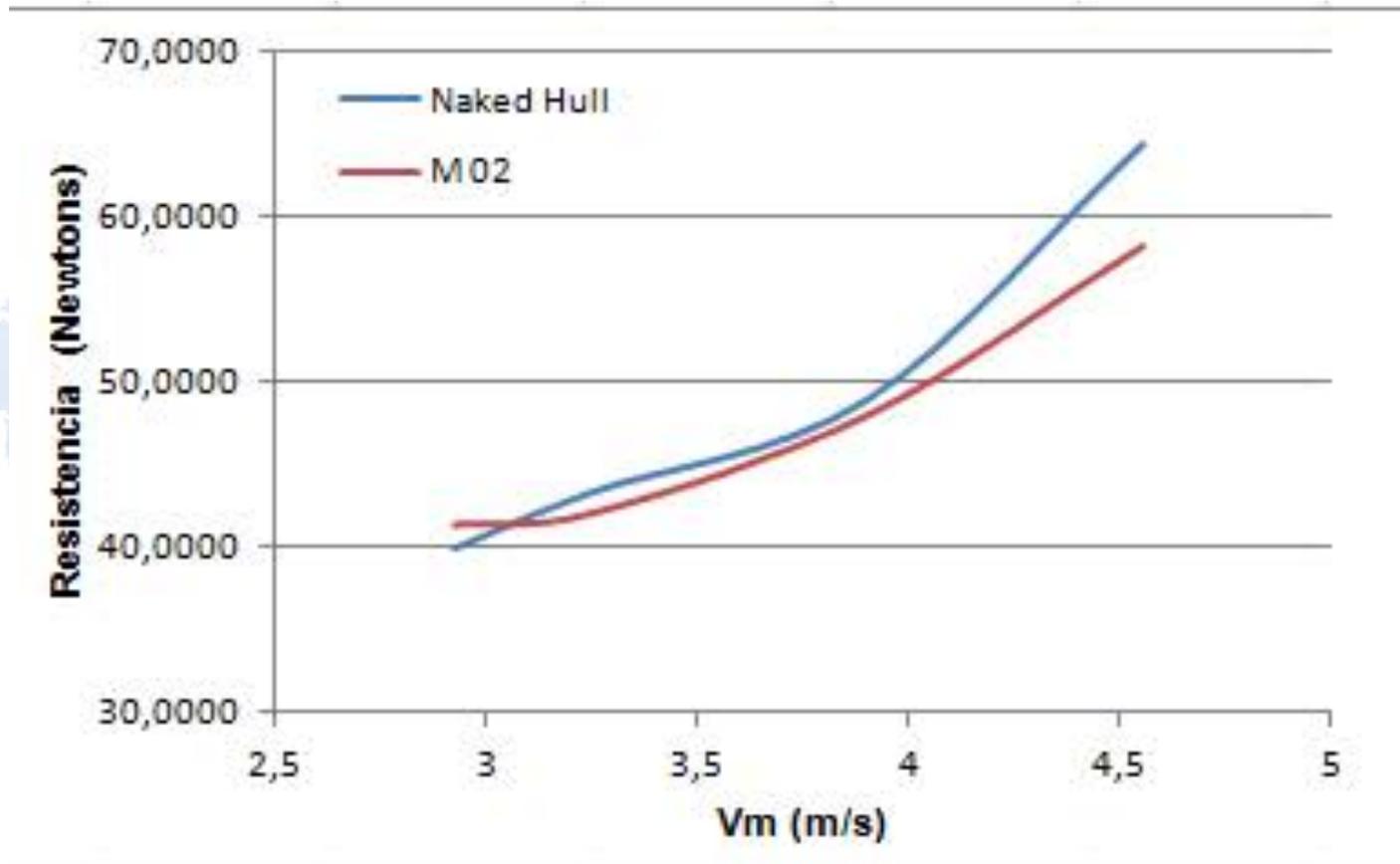


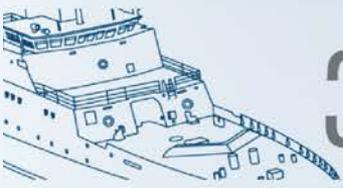
Con Sprayrail

Sin Sprayrail



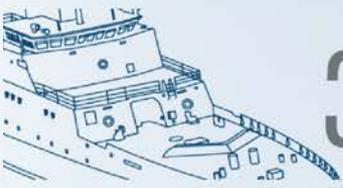
# Resistencia al avance





## RECONOCIMIENTOS

- El estudio de los flaps de popa fue patrocinado por la Armada de Chile y se agradece el apoyo técnico y financiero provisto.
- Varios estudiantes colaboraron en diversas etapas de las investigaciones presentadas, ya sea realizando ensayos de remolque en canal de pruebas o simulaciones CFD, para sus proyectos de titulación de los siguientes Ingenieros Navales de la Universidad Austral de Chile: Patricio Jimenez, Miguel Ahumada, César del Rio, Jorge Díaz y Rodrigo Baos.



- La metodología de análisis es sensible a los efectos de apéndices y provee una herramienta válida para evaluar su efecto en la resistencia al avance.
- En las simulaciones CFD la elección de un mallado adecuado es fundamental para obtener una solución lo más exacta posible y económica en términos de ahorro de tiempo.
- Los ensayos experimentales y de CFD suministran información paralelamente y pueden complementarse uno al otro, para la predicción de la resistencia hidrodinámica del buque en conjunto con los apéndices
- La optimización de estos apéndices, es fundamental para una correcta decisión de su implementación (o abstención), ya que una mala elección puede incluso generar un aumento en la resistencia al avance.