



CONGRESO INTERNACIONAL DE
V DISEÑO E
INGENIERÍA
NAVAL

Marzo 15 - 17 de 2017

Resistencia al avance de un buque



- ✓ ¿Qué es la resistencia?
- ✓ ¿Para qué me sirve el cálculo de la resistencia?
- ✓ ¿Cómo estimo la resistencia:
Experimentación, Métodos
Analíticos o Simulaciones
numéricas?
- ✓ ¿DNS, LES o RANS?
- ✓ ¿Estático o Dinámico?

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA RESISTENCIA AL AVANE DE UN CATAMARÁN USANDO OpenFOAM

Proyecto de Graduación

Por
Diana S. Hurtado B.

Dirigido por
Rubén Paredes, PhD.



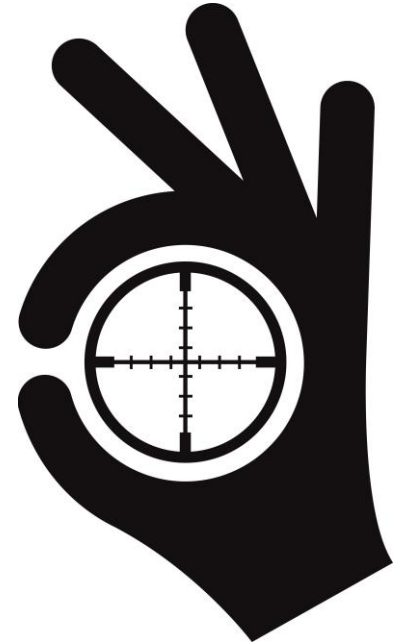
ASTINAVE *EP*
ASTILLEROS NAVALES ECUATORIANOS

Agenda

- ✓ Objetivos
- ✓ Metodología
- ✓ Paquete Computacional
- ✓ Simulación Numérica caso DTC Hull
- ✓ Simulación Numérica caso Catamarán
- ✓ Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuro

Objetivo

Calcular la resistencia del
Catamarán Cormorant Evolution
navegando en aguas profundas,
usando un código libre, conocido
como: OpenFOAM (CFD)



Metodología

REVISAR

Resultados
experimentales del
Catamarán
Cormorant
Evolution

COMPRENDER

Fundamentos
básicos del CFD

Simulación
numérica usando
el caso DTC Hull en
OpenFOAM

REALIZAR

Simulaciones
Numéricas del
Catamarán
Cormorant
Evolution con
casco desnudo a
varias velocidades

VALIDAR

Resultados
Numéricos con
Experimentales y
Métodos
Estadísticos

Paquetes Computacionales

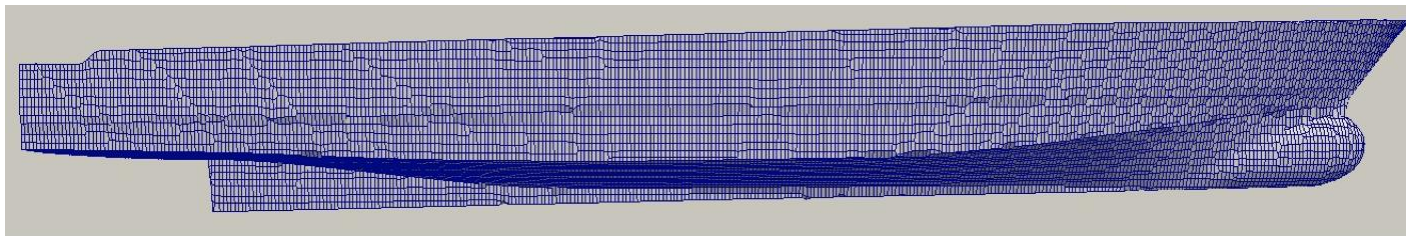


Open Source Field Operation and Manipulation

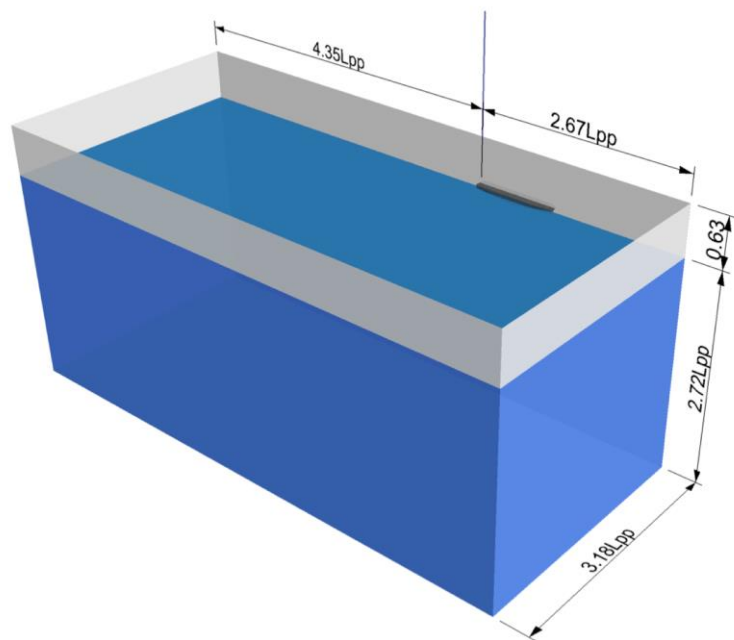
- ✓ Código libre
- ✓ Lenguaje C++
- ✓ Códigos ejecutables:
SOLVERS y UTILITIES



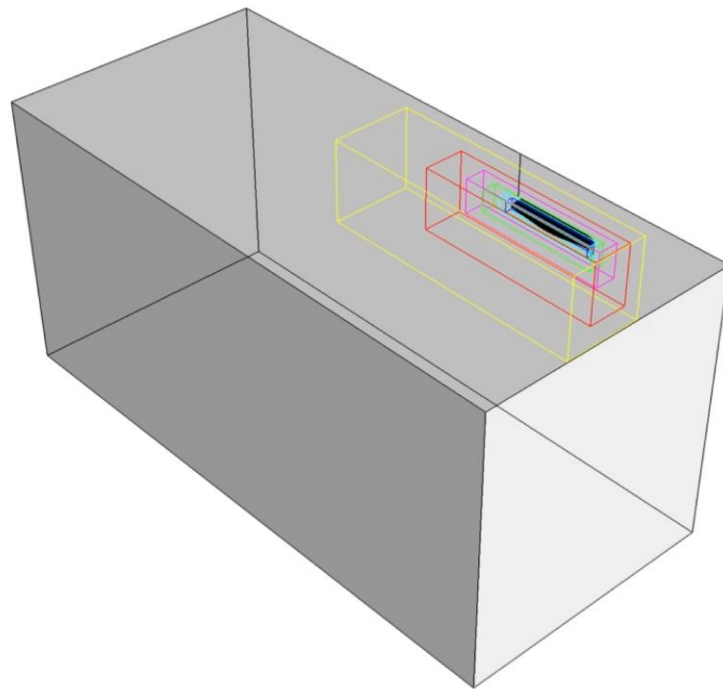
Mallado del casco



Dominio computacional Aire/Agua



Refinamiento mediante bloques



InterFOAM

InterDyMFOAM



Ecuaciones Gobernantes
Reynolds Average Navier-Stokes (RANS)

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho U_i \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\mu s_{ji} - \rho \overline{u_j' u_i'})$$

Modelamiento de Turbulencia
K-omega SST

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = P_k - \beta^* k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \sigma_k \nu_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$
$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha S^2 - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \sigma_\omega \nu_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}$$



ParaView

Duisburg Test Case

DTC Hull

	Model o	Real
L_{pp} [m]	5.976	355.00
B_{wl} [m]	0.859	51.00
D [m]	0.575	34.16
T_m [m]	0.244	14.50
V [m ³]	0.827	173467.0 0
S_w [m ²]	6.243	22032.00
V [m/s]	1.660	12.86
C_b	0.661	0.661
F	0.281	0.218



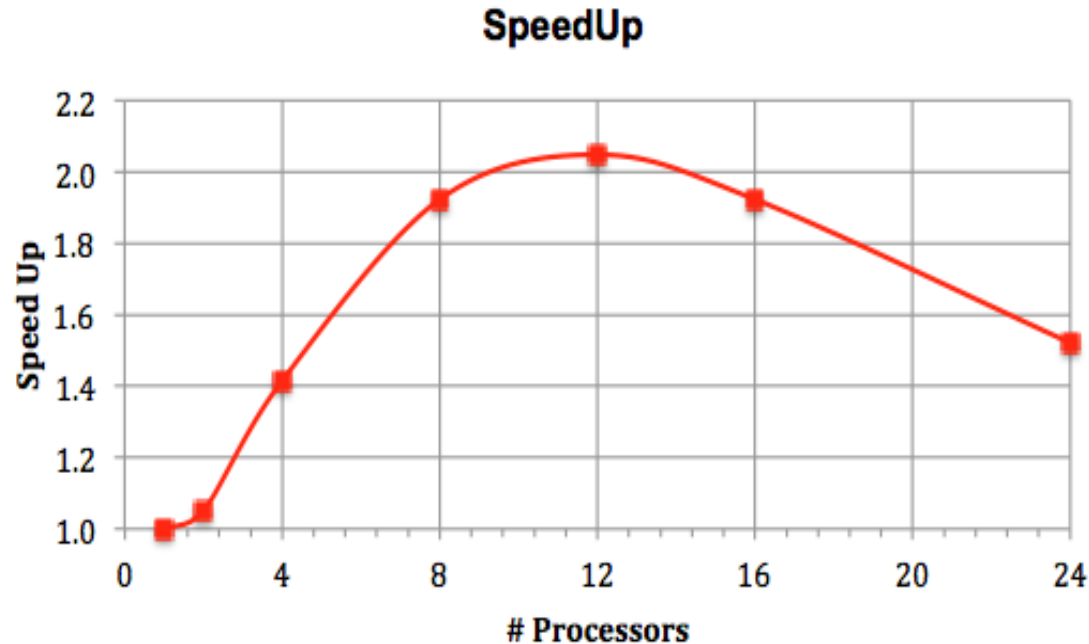
Portacontenedor
post-panamax

Esquema de trabajo

- ✓ Estudio de velocidad de solución del problema
- ✓ Estudio de convergencia de la malla
- ✓ Resultados numéricos estáticos y dinámicos

Estudio de velocidad de solución del problema

$$\text{SpeedUp} = \frac{\text{Tiempo 1 procesador}}{\text{Tiempo n procesadores}}$$

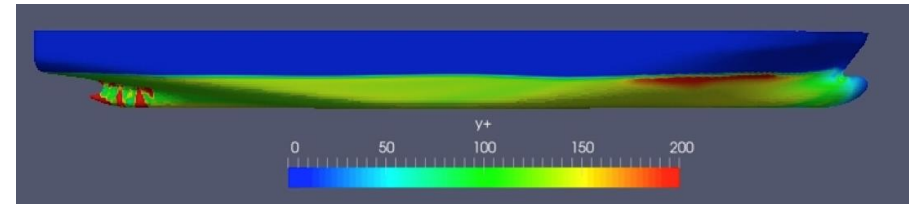
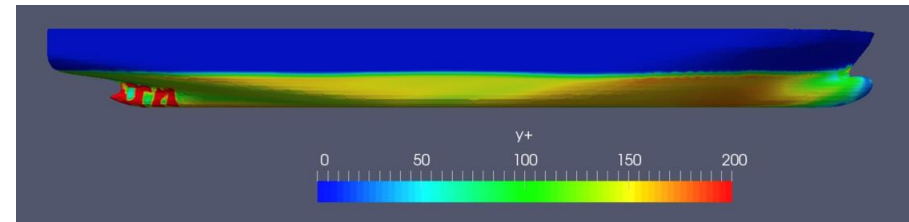
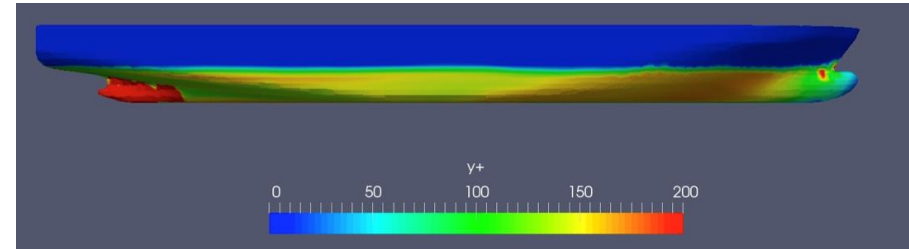
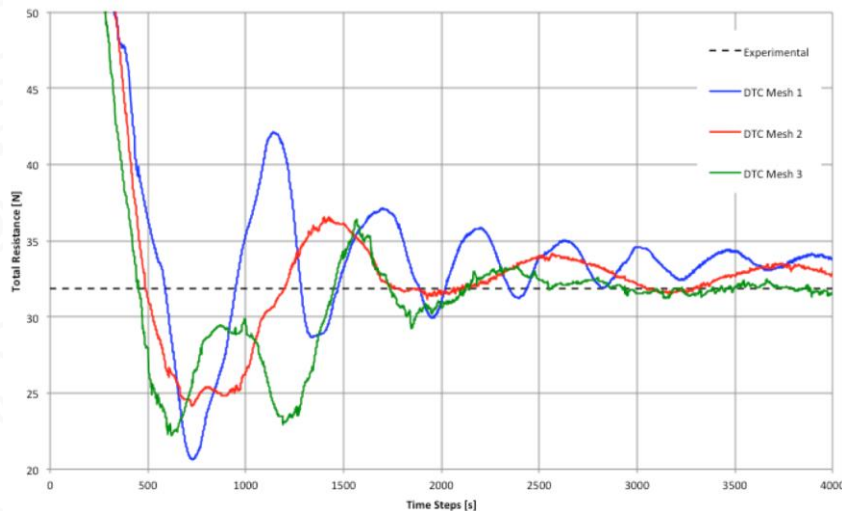


8 procesadores
Solución interFOAM \approx 3 horas
Solución interDyMFOAM \approx 21 horas

Estudio de convergencia de la malla

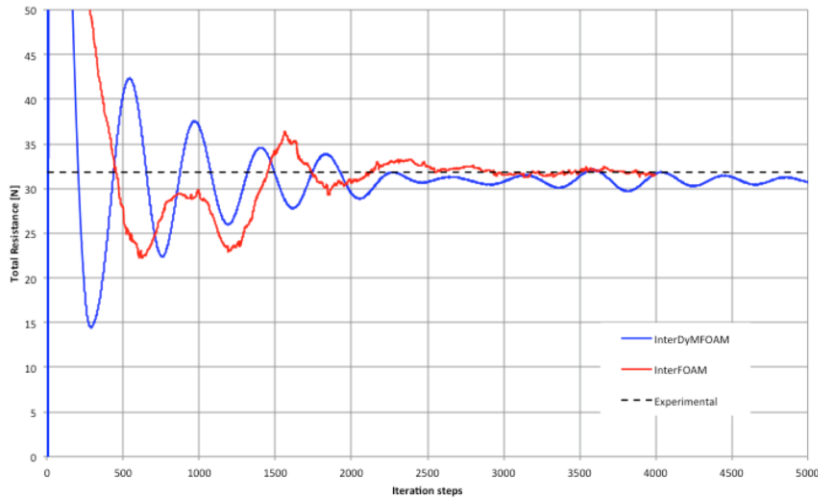
	Número de celdas	Tiempo de solución [h]	Error
Malla 1	220,563	0.53	5.88 %
Malla 2	450,140	1.34	4.11 %

Resistencia total a través del tiempo $Fn=0.218$

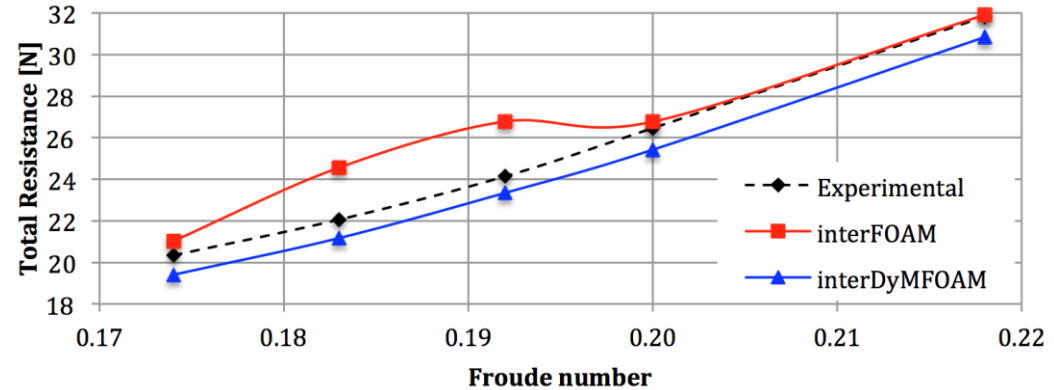


yPlus para diferentes tipos de malla

Resultados numéricos estáticos y dinámicos



Resistencia total a través del tiempo
Fn=0.218



Fn	Exp.	interFOAM R_t [N]	interDyMFOAM R_t [N]	interFOAM Error	interDyMFOAM Error
0.174	20.34	21.03	19.41	3.40%	4.59%
0.183	22.06	24.56	21.17	11.35%	4.02%
0.192	24.14	26.78	23.35	10.94%	3.29%
0.200	26.46	26.77	25.42	1.17%	3.92%
0.218	31.83	31.91	30.84	0.25%	3.12%
Average				5.42%	3.79%



InterFOAM

InterDyMFOAM

Catamarán Cormorant Evolution



	Modelo (1:16)		Catamarán	
	Liger o	Cargado	Liger o	Cargado
L_{wl} [m]	1.87	1.89	30.21	30.42
B_{cat} [m]	0.75	0.75	12.20	12.20
B [m]	0.19	0.19	3.09	3.09
T [m]	0.086	0.103	1.40	1.66
Δ [ton]	0.018	0.024	58.52	79.64
C_b	0.567	0.604	0.567	0.604
F_n	0.298	0.296	0.298	0.296

Características principales

Esquema de trabajo

- ✓ Descripción del trabajo experimental
 - ✓ Generación del modelo y del dominio computacional
- ✓ Estudio de convergencia de la malla
 - ✓ Resistencia del Catamarán

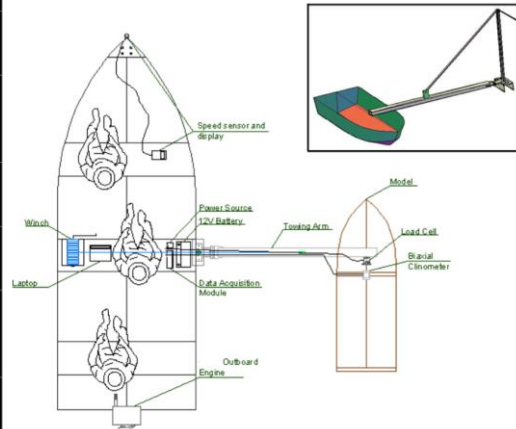
Experimentación

“Estudio experimental de la influencia de la separación de los cascos sobre la resistencia de un catamarán de 32.5 metros”

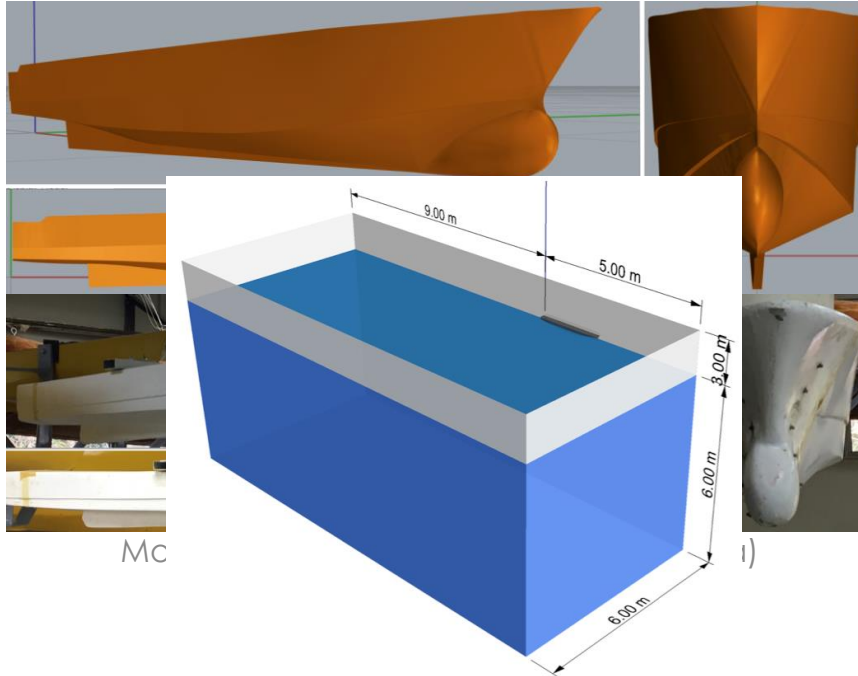
Por
A. Lucín & J. Chávez

Esquema de experimentación

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
Batería	Marca: MOTOREX VOLTAJE: 12 volt, 700 Amp
Inversor de corriente	Marca: BLACK & DECKER Modelo: PI500BB
Fuente transformadora de voltaje.	Marca: COSEL CO. LTD. Modelo: K15A-12
Tarjeta de adquisición de datos	Marca: OMEGA Modelo: OMB – DAQ - 3000
Celda de carga	Marca: AMCELLS Modelo: STL S-Type 50 lb
Medidores de velocidad	Marca: SWOFFER INSTRUMENTS, INC Modelo: 2100-STDx, 2100-LX
Anemómetro	Marca: INTELL INSTRUMENTS PLUS Modelo: AR816A
Computador portátil	Marca: HP Modelo: Mini331



Generación del modelo, condiciones de frontera y valores iniciales

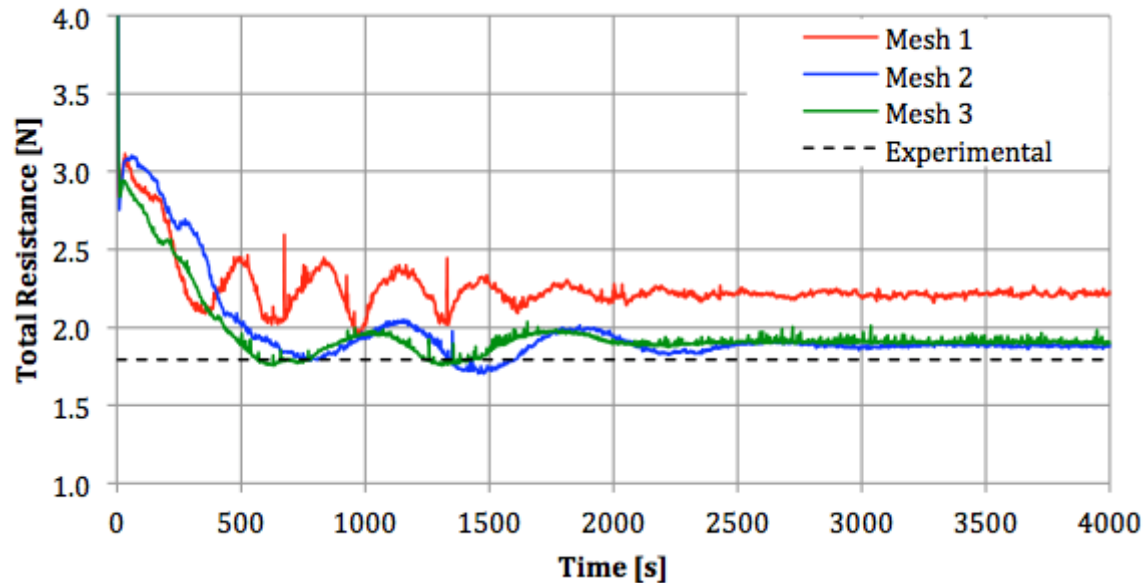


Dominio computacional (Aire/Agua)

Velocidades para Cond. ligera		Velocidades para Cond. cargada	
Demi-Hull	Twin-Hull	Demi-Hull	Twin-Hull
1.05	1.05	1.03	1.05
1.14	1.14	1.10	1.12
1.20	1.26	1.23	1.25
1.30	1.32	1.35	1.33
1.45	1.47	1.45	1.46
-	1.53	-	1.55
-	1.76	-	1.75
-	1.94	-	-

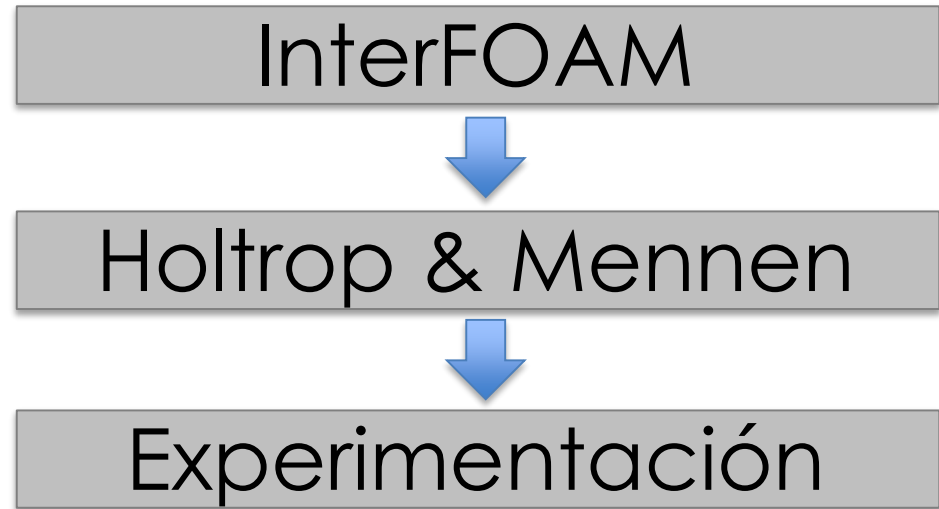
Estudio de convergencia de la malla

	N° celdas	Resistencia [N]	Error	Dev. Stad.
Malla 1	250,599	2.22	24%	0.71
Malla 2	1'000,278	1.88	5%	0.34
Malla 3	1'566,579	1.91	6%	0.50



Resistencia del catamarán

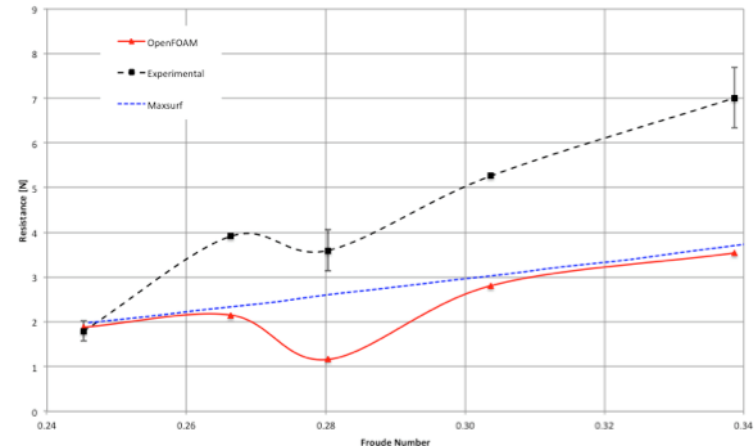
- ✓ Demi-Hull
- ✓ Twin-Hull
- ✓ Interferencia



Demi-Hull

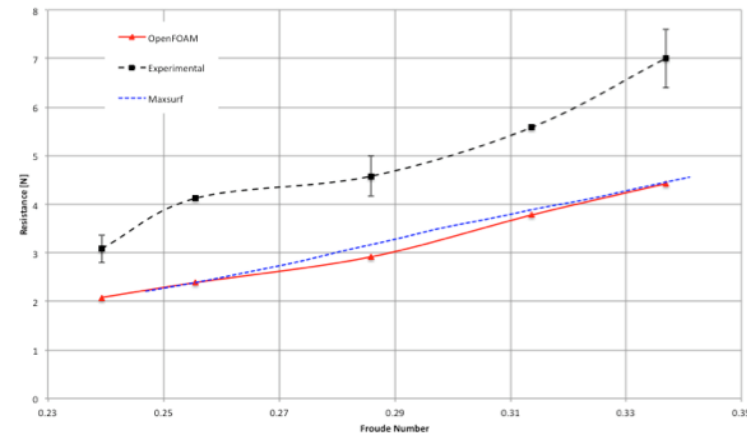
Condición Ligera

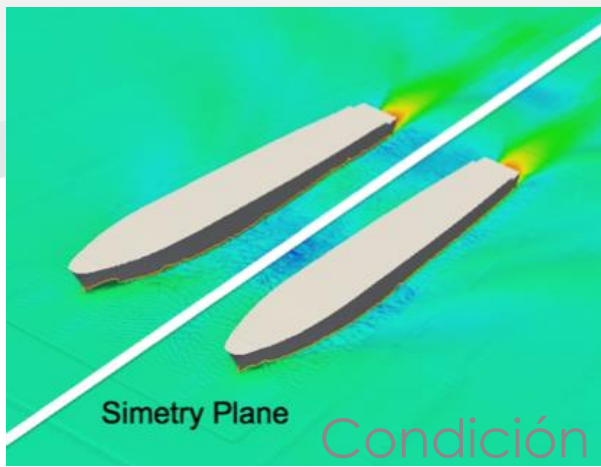
V[m/s]	Fn	OpenFOAM R _t [N]	Experimental R _t [N]	% Error	% Sta. Dev.
1.05	0.2453	1.88	1.79	5	0.61
1.14	0.2663	2.15	3.91	45	1.03
1.20	0.2803	1.16	3.60	68	1.71
1.30	0.3037	2.81	5.26	47	1.14
1.45	0.3387	3.54	7.01	49	1.23
Average				42.8	1.14



Condición Cargada

V[m/s]	Fn	OpenFOAM R _t [N]	Experimental R _t [N]	% Error	% Sta. Dev.
1.03	0.2393	2.08	3.08	33	0.43
1.10	0.2556	2.39	4.12	42	0.45
1.23	0.2858	2.92	4.57	36	0.64
1.35	0.3137	3.78	5.58	32	0.54
1.45	0.3369	4.43	7.00	37	0.41
Average				36	0.50



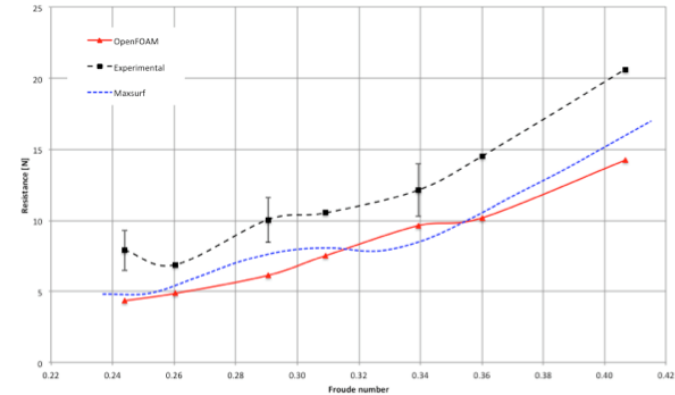
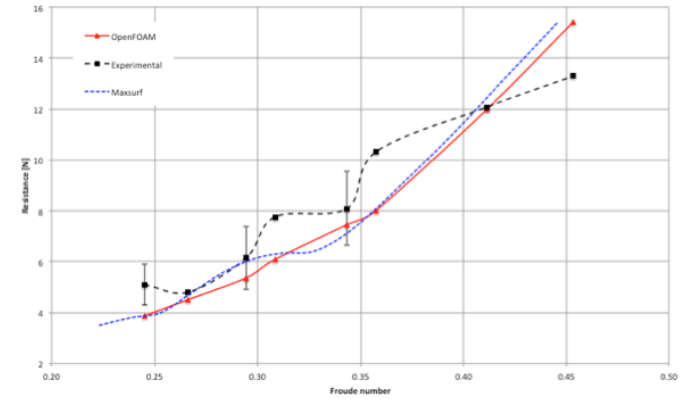


Twin-Hull

V [m/s]	Fn	OpenFOAM	Experimental	% Error	% Sta. Dev.
1.05	0.2453	3.87	5.11	24	0.60
1.14	0.2663	4.51	4.80	6	0.51
1.26	0.2943	5.36	6.14	13	0.50
1.32	0.3083	6.08	7.76	22	0.75
1.47	0.3434	7.45	8.09	8	0.51
1.53	0.3574	8.01	10.32	22	0.51
1.76	0.4111	11.97	12.07	1	0.38
1.94	0.4532	15.40	13.29	16	0.48
Average				14	0.53

Condición Cargada

V [m/s]	Fn	OpenFOAM	Experimental	% Error	% Sta. Dev.
1.05	0.2440	4.36	7.91	45	0.51
1.12	0.2602	4.87	6.88	29	0.61
1.25	0.2904	6.13	10.06	39	0.64
1.33	0.3090	7.52	10.54	29	0.45
1.46	0.3392	9.64	12.14	21	0.35
1.55	0.3602	10.20	14.54	30	0.46
1.75	0.4066	14.24	20.62	31	0.33
Average				32	0.48



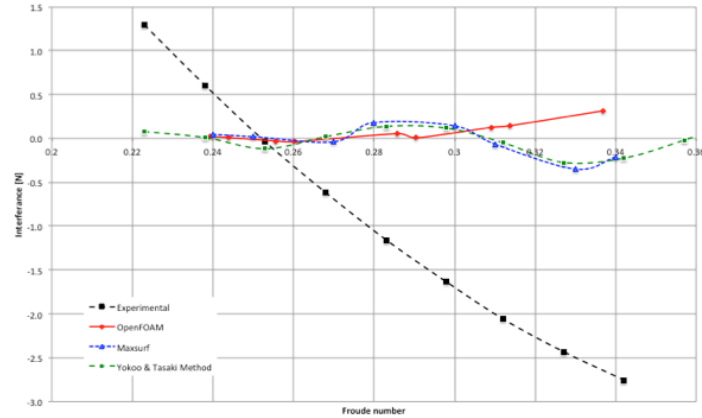
Interferencia

$$R_W = \frac{R_{T\text{ CAT}} - 2 R_T}{2}$$

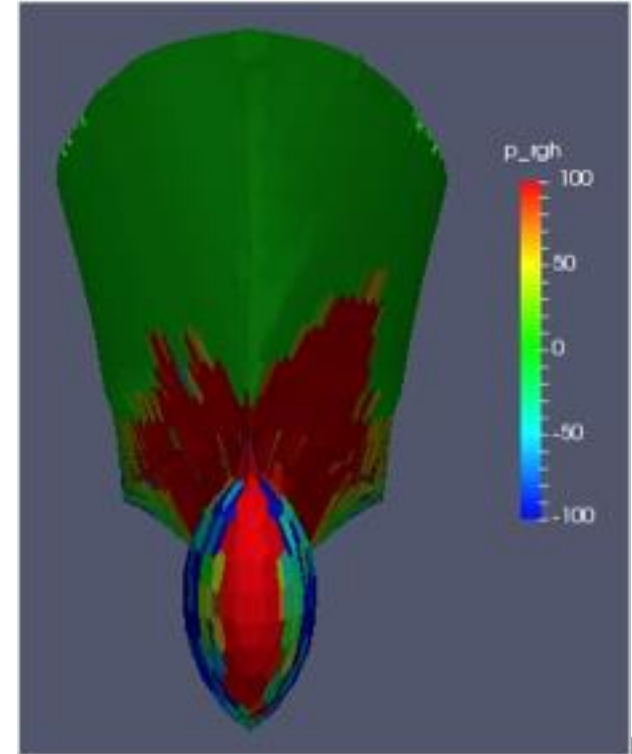
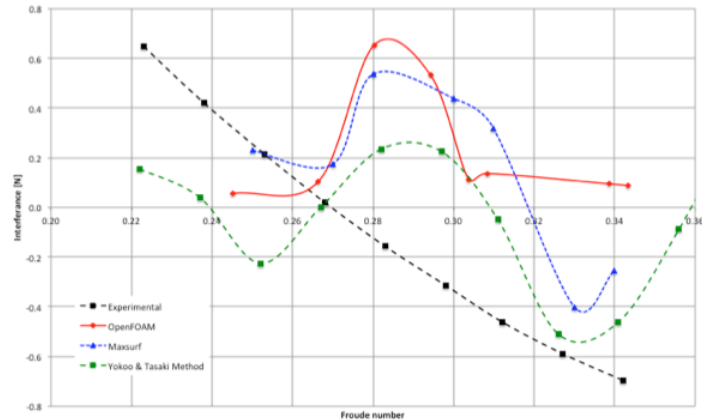


CONGRESO INTERNACIONAL DE
**DISEÑO E
INGENIERÍA
NAVAL**

Condición Ligera



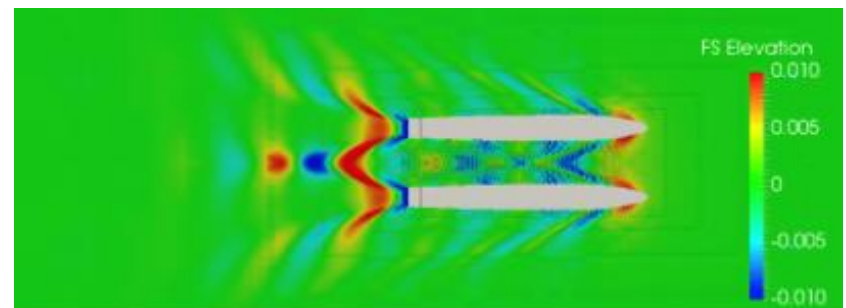
Condición Cargada



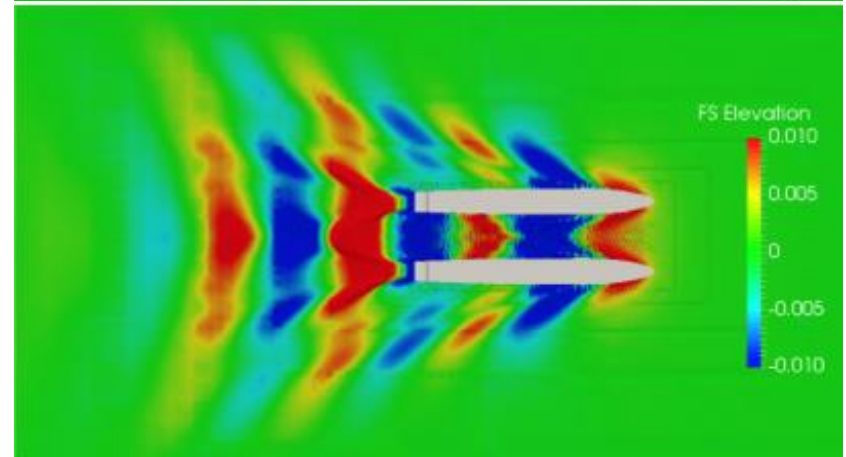
Presiones en un casco
del catamarán

Patrón de olas

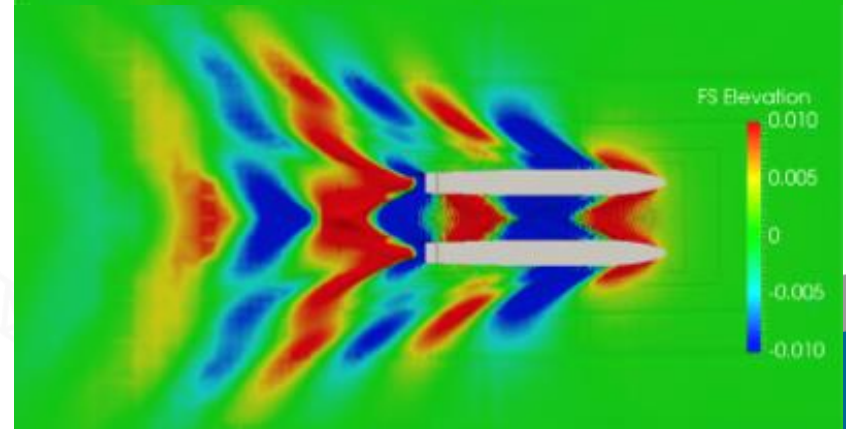
$F_n=0.24$



$F_n=0.31$



$F_n=0.34$



Conclusiones

- ✓ Variación entre resultados numéricos y experimentales debido a factores externos.

Recomendaciones

- ✓ Tutoriales de OpenFoam.
- ✓ Usar otros modelos de turbulencia.
- ✓ Diferenciar la densidad de la malla de acuerdo al área específica del barco.
- ✓ Rediseño del sistema experimental: tarjeta de adquisición de datos de menor rango.

Trabajo Futuro

- ✓ Implementar el método de solución dinámico InterDyMFOAM.
- ✓ Resistencia en aguas poco profundas.



CONGRESO INTERNACIONAL DE
V DISEÑO E
INGENIERÍA
NAVAL

Marzo 15 - 17 de 2017