



64º Congreso Internacional de Ingeniería Naval e Industria Marítima

 **Gijón** 26-28 de marzo de 2025

 **La industria naval y marítima
como motor de la economía azul.
Por un futuro sostenible para todos.**



CEHIPAR CENTRO
DE EXPERIENCIAS
HIDRODINÁMICAS
DE EL PARDO

Ensayos no convencionales de maniobrabilidad con modelo libre

Enrique Molinelli Fernández
Jefe de Servicio Ensayos Externos

Eloy Carrillo Hontoria
Jefe del Departamento de Tecnología y Ensayos

ÍNDICE

- INTRODUCCIÓN
 - Ensayos de maniobrabilidad con modelo libre
 - Requerimientos y reglamentaciones aplicables
 - STANAG, Ensayos “No OMI”, WASP
- CAPACIDADES DE MONITORIZACIÓN DE MODELOS
 - Propulsión a motor
 - Propulsión a vela
- CAPACIDADES DE ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN
 - Programa de análisis
 - Optimización características de maniobrabilidad
 - Diseño de timones
 - Otros elementos
 - Quillotes, orzas, sistemas de propulsión
- ENSAYOS “NO CONVENCIONALES”
 - WASP y veleros
 - Extinción de balance
 - ZZ modificado
 - STANAG (ANEP 70)
 - Ciaboga
 - Hombre al agua
 - Averías
 - Tanque anti-balance pasivo (ART)
- OTROS ENSAYOS PAA EL FUTURO
 - Viento externo
 - Averías (daños estructurales, inundación)

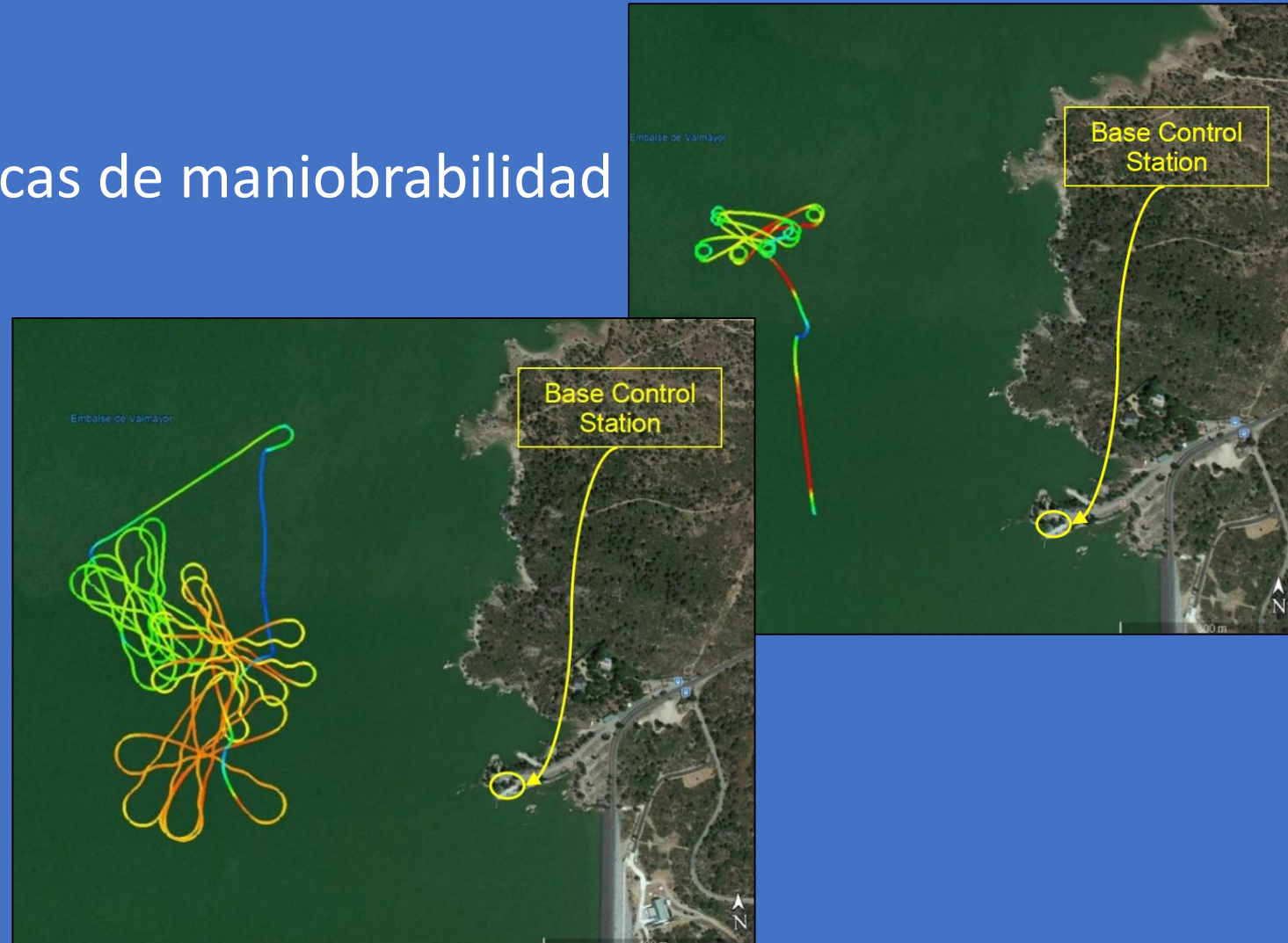
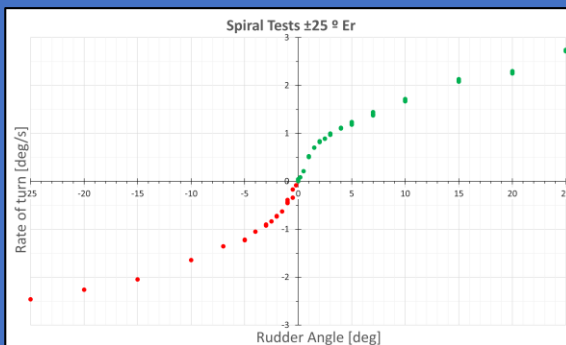
INTRODUCCIÓN

- 3 Grandes Instalaciones
 - *Canal de Aguas Tranquilas (CAT)
 - Túnel de Cavitación (CAV)
 - *Laboratorio de Dinámica del Buque (LDB)
- Ensayos externos
 - Pantano (MAN)
- Talleres
 - Madera, metal, instrumentación
 - Fabricación aditiva
- *ICTS
 - Infraestructura Científica y Técnica Singular



Servicio Ensayos Externos INTA – CEHIPAR (MAN)

- Modelo libre en pantano
- Determinación de características de maniobrabilidad
- Ensayos estándar
 - Círculo de evolución + pull-out
 - Zig-Zag 10/10 & 20/20
 - Parada
 - Aceleración
 - Espiral



Servicio Ensayos Externos INTA – CEHIPAR (MAN)

- Modelo libre en pantano



Ensayos de Maniobrabilidad con Modelo Libre

- En fase preliminar
 - Cumplimiento de las normas establecidas
 - Conocimiento del comportamiento del buque frente a la acción de las superficies y/o sistemas de control
 - nuevas configuraciones, diseños...
 - maniobras adaptadas a las necesidades
- Ensayos a escala modelo
 - OMI (MSC.137(76)) & STANAG (ANEP-70 Volume I)

LCIV - 21 kn - 2.5°/s		TEST RESULTS		IMO CRITERIA	
Turning circle:					
	PORT	STBD			
Advance	2.6	2.6	Ship lengths		4.5
Tactical diameter	2.4	2.4	Ship lengths		5
Zig-Zag:					
10 deg/10 deg	PORT	STBD			
1 st overshoot angle	4.6	4.9	deg		14.5
2 nd overshoot angle	5.8	5.3	deg		31.8
20 deg/20 deg	PORT	STBD			
1 st overshoot angle	11.6	11.5	deg		25
Initial turning:					
	PORT	STBD			
Distance to turn 10 deg with 10 deg rudder	1.4	1.3	Ship lengths		2.5
Stopping distance:					
Track reach	5.0	5.0	Ship lengths		15 to 20

Table 27: Manoeuvring Performance Assessment by Design Phase				
Performance test	Concept design	Feasibility studies	Detailed design	Acceptance trials
Zig-zag	C	S	S, M	T
Turning	C	S	S, M	T, T2
Accelerating turning from rest			M	T
Turning at rest				T
Course keeping		S	S, M	T _i
Astern course keeping			M	T _i
Track keeping			S, M	T _i
Station keeping			S, M	T _i
Stopping test			S	T, T2
Acceleration/deceleration			S	T
Standard deviation of navigational error (SDNE)			S, M	T _i , T2
Pull-out or Spiral test		S	S, M	T

C = Calculation

S = Simulation

M = Model experiment

T = Trial (first of class)

T2 = Trial (follow-on-ships)

T_i = Trial for information, but not appropriate for strict verification due to uncontrollability of environmental conditions

2 GENERAL

2.1 The Standards contained in this document are based on the understanding that the manoeuvrability of ships can be evaluated from the characteristics of conventional trial manoeuvres. The following two methods can be used to demonstrate compliance with these Standards:

.1 scale model tests and/or computer predictions using mathematical models can be performed to predict compliance at the design stage. In this case full-scale trials should be conducted to validate these results. The ship should then be considered to meet these Standards regardless of full-scale trial results, except where the Administration determines that the prediction efforts were substandard and/or the ship performance is in substantial disagreement with these Standards; and

5.4 DIRECT PHYSICAL MODELLING OF MANOEUVRING

1. Manoeuvring performance results can be determined by direct measurement of free running model experiments. Manoeuvring performance parameters given earlier in Table 26 are measured directly with this approach, and can offer a level of fidelity greater than calculations or simulations. Manoeuvring performance should be defined using free running models prior to the end of the Contract Design phase of the ship building cycle. Past work from analytical predictions should be used to develop test matrices to address manoeuvring performance issues and maximize efficiencies associated with the conduct of the physical model experiments.

Requerimientos y reglamentaciones

- OMI

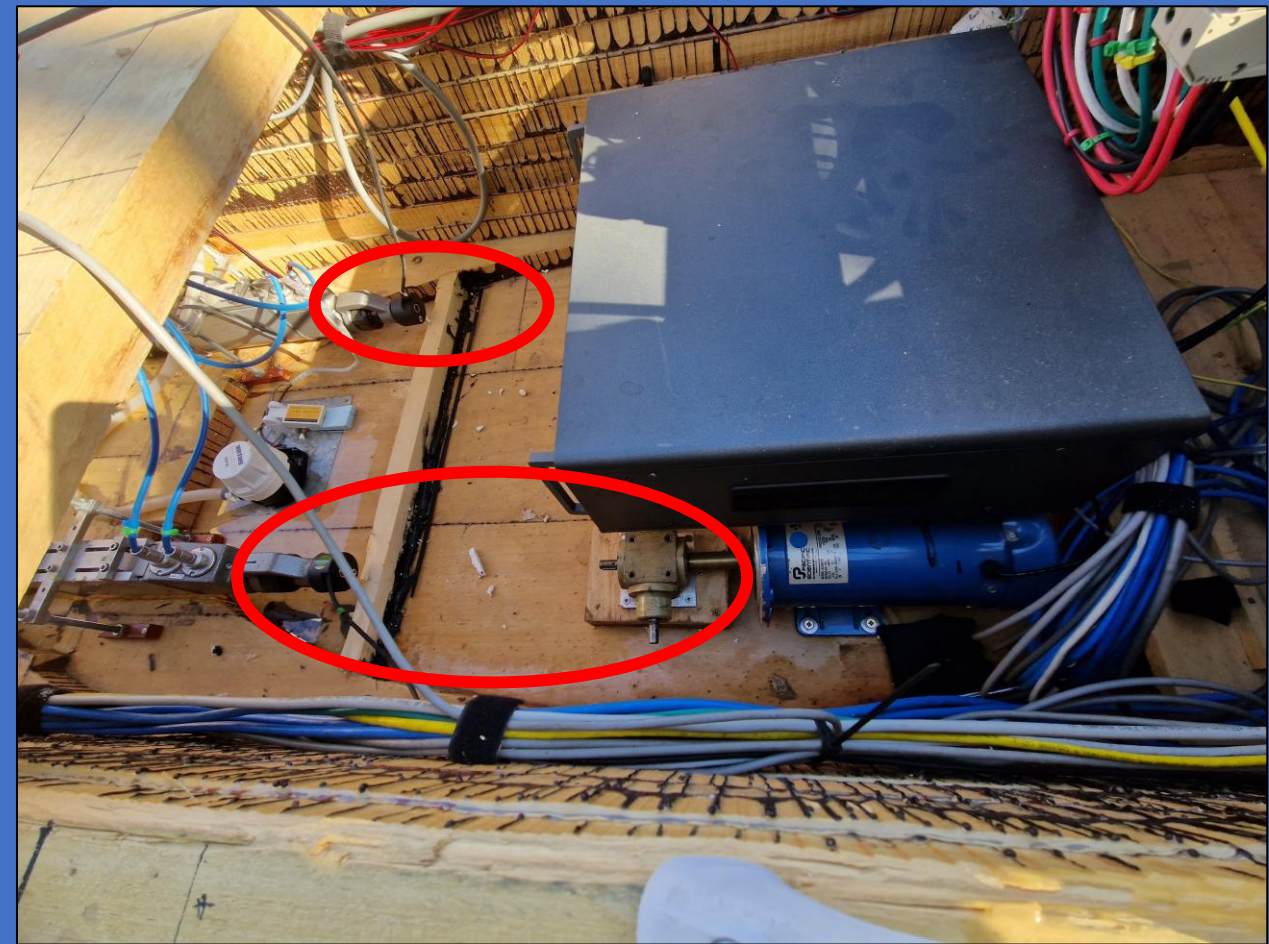
- Resolution MSC.137(76): Standards for ship manoeuvrability, 2002
- MSC/Circ.1053 on Explanatory notes to the Standards for ship manoeuvrability, 2002
- Resolution A.601(15): Provision and Display of Manoeuvring Information on Board Ships, 1987
- Actualizaciones
 - Otros sistemas de propulsión (pod, azimutal, cicloidal)
 - EMSA (European Maritime Safety Agency), «EMSA - Steersafe Study,»
<https://www.emsa.europa.eu/steersafe.html>
 - WASP

Requerimientos y reglamentaciones

- STANAG 4721
 - ANEP 70
 - *Goal Based Approach* (seguridad y efectividad de la misión)
 - Definiciones Generales
 - Velocidades
 - misión, baja, crucero, MCR, diseño, verificación requerida
 - Habilidades
 - Course / Track keeping forward & astern (espiral y oull-out)
 - Tactical diameter (círculo de evolución)
 - Initial turning, yaw checking (zig-zag)
 - Acceleration turning from rest
 - Stopping (parada)
 - Acceleration time
 - Station keeping
 - Lateral transfer
 - Standard deviation of navigational error
 - Turning at rest
 - Misiones
 - TaP, Harbour, ASW, AAW, ASuW, MIW, Vehicle interaction (RAS, air/water vehicle interaction)
 - Condiciones
 - Calma < SS3
 - Según la operatividad de cada misión

Requerimientos y reglamentaciones

- “No OMI”
 - Averías
 - Servo timón / pod
 - Eje
 - Bloqueo hélice
 - Simulación en ensayo
 - Mecánica
 - *Software*
 - Recuperación de personas u objetos
 - Hombre al agua
 - Uso de instrumentación (operación)



Requerimientos y reglamentaciones

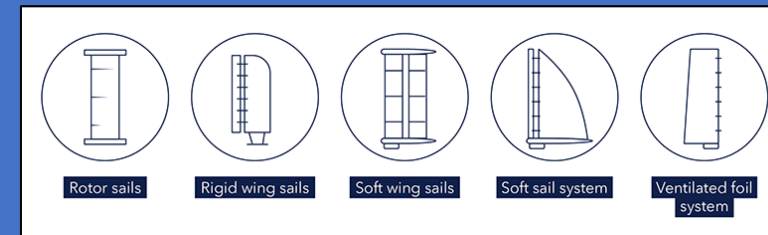
- Wind Assisted Ship Propulsion (WASP)

- Propulsión motor + vela

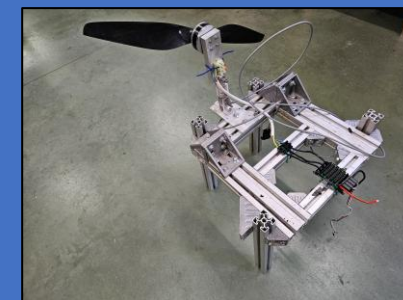
- 100 % motor (convencional)
 - % motor + % vela
 - 100 % vela

- Simulación de fuerzas (polares)

- Intensidad
 - Turbinas
 - Hélices drone
 - Dirección
 - Descomposición (x, y)
 - Motor paso a paso

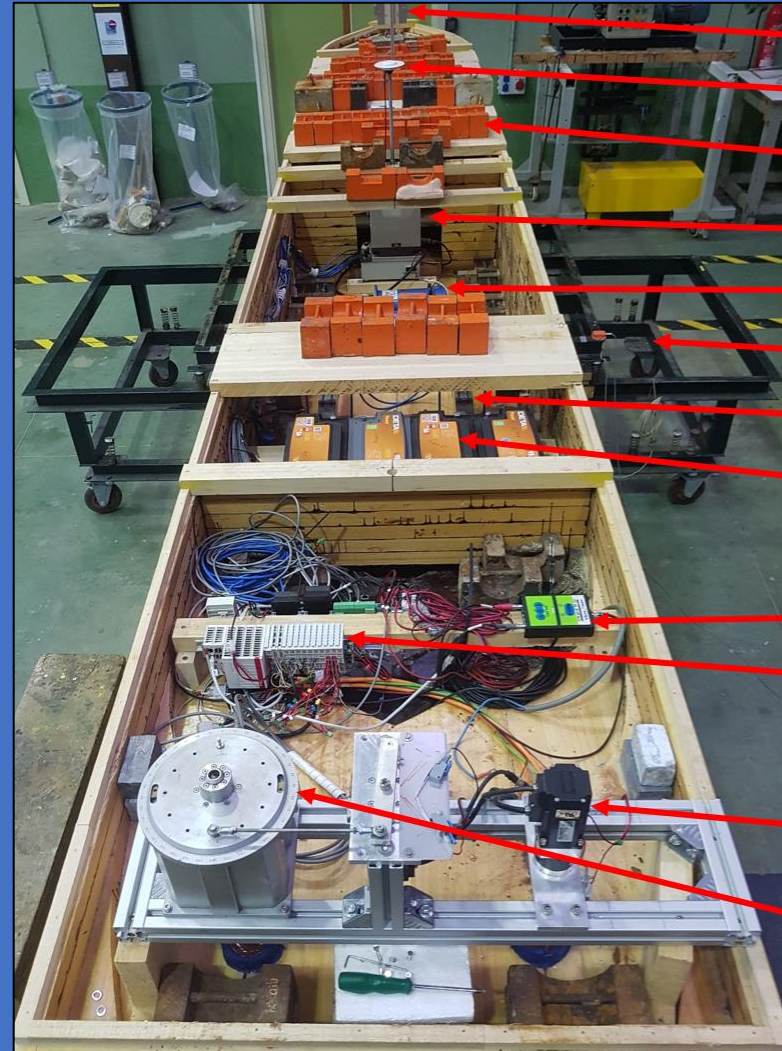


<https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/waps-wind-assisted-propulsion-systems/>



Capacidades de Monitorización

- Mismo modelo de CAT
 - Autopulsado
 - Inercias
 - Transversal y longitudinal
 - KG
 - Prueba de estabilidad
 - Control
 - Programación de maniobras
 - Modo manual



Antena WiFi

Antena GPS

Lastre

Giroscópica

Motor eléctrico propulsión

Mesa de medida de inercias

Dinamómetro par y empuje

Baterías

DGPS

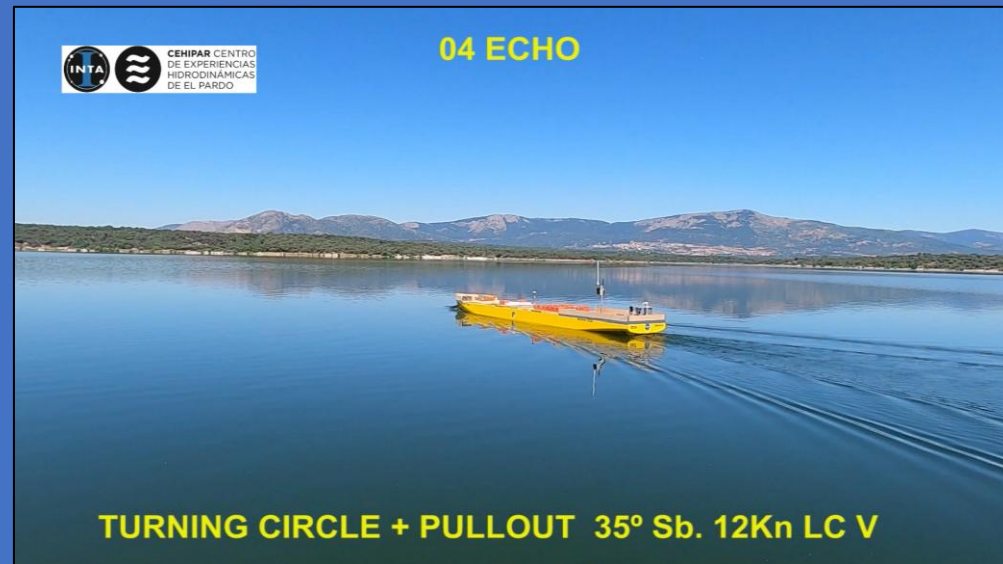
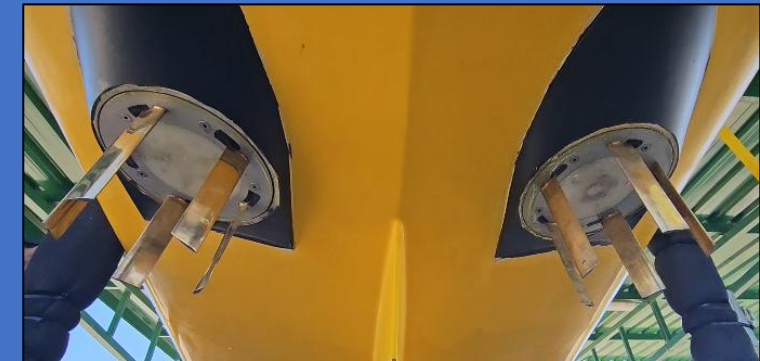
Módulos EtherCAT

Servomotor accionamiento timón Er

Dinamómetro timón y servomotor
accionamiento Br

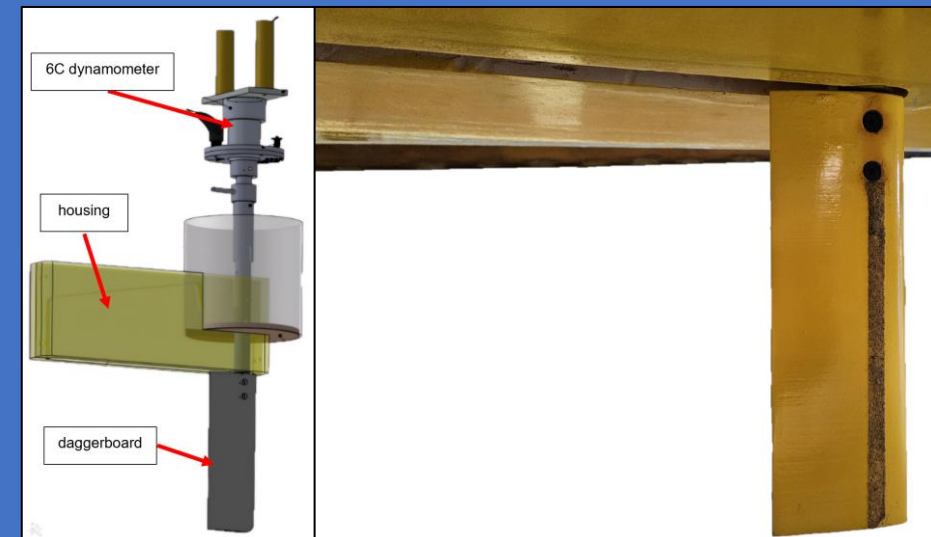
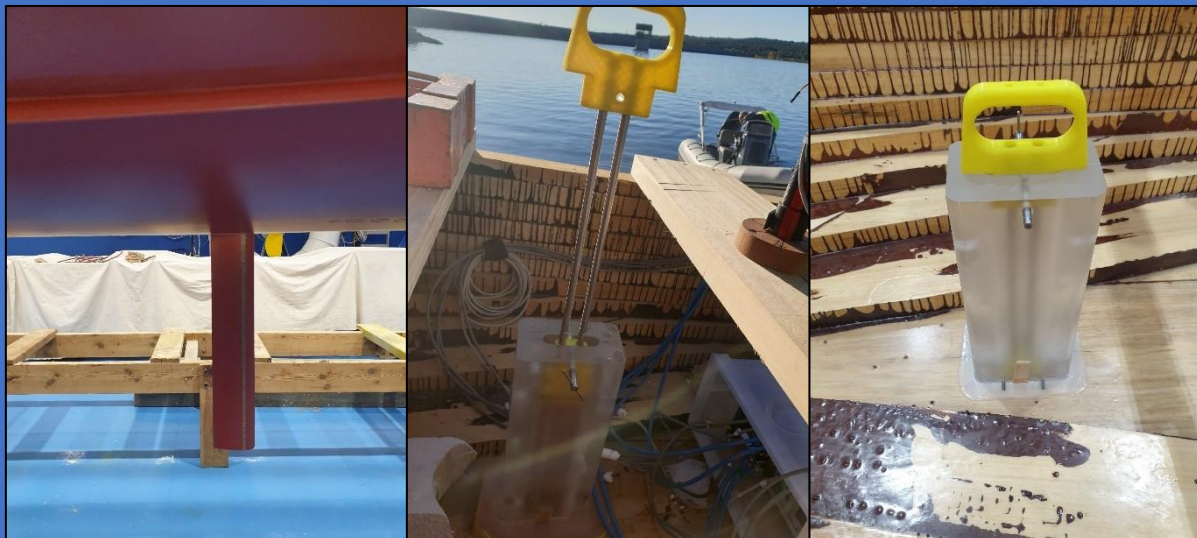
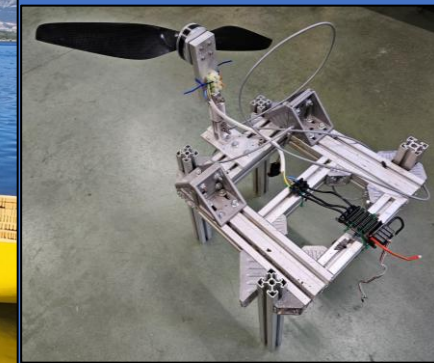
Capacidades de Monitorización

- Propulsión a motor
 - Hélice + Timón
 - Empujadores vectoriales
 - Pod / Azimutal
 - Cicloidal
 - Propulsión a chorro



Capacidades de Monitorización

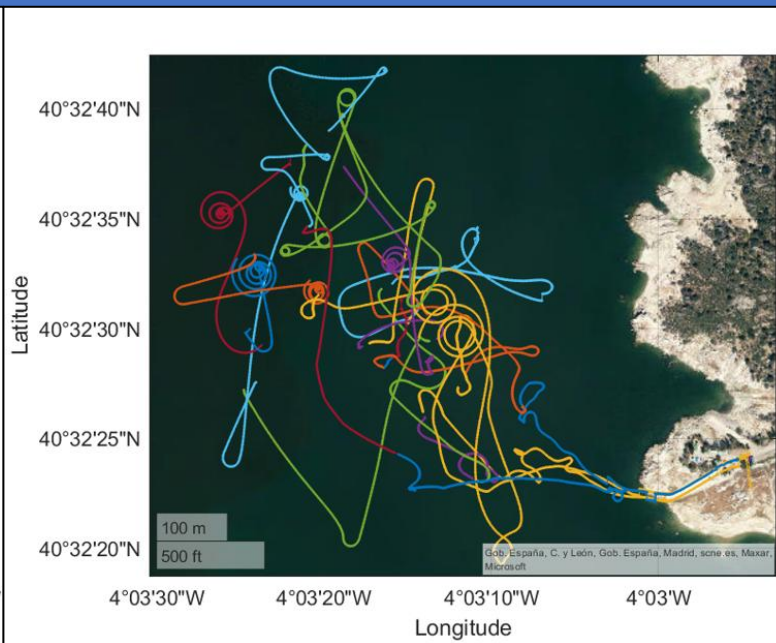
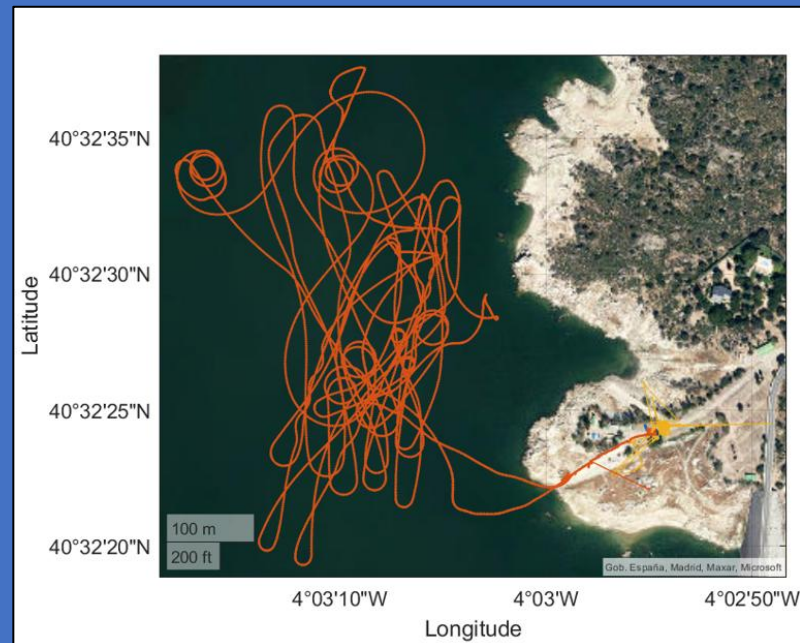
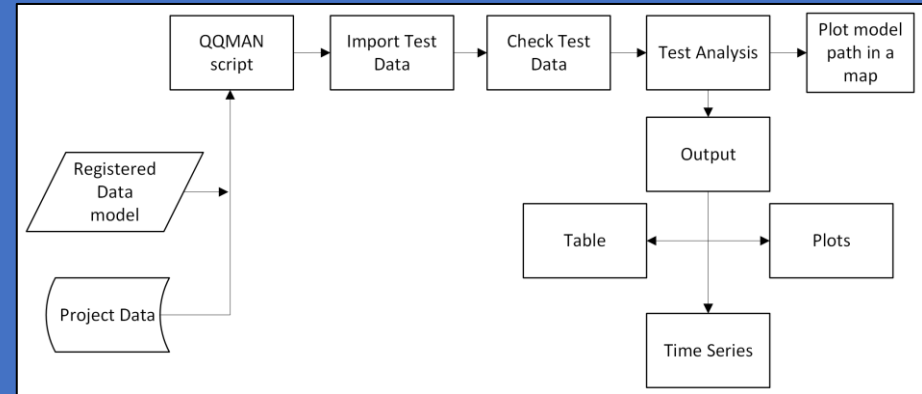
- Propulsión a vela
 - Propulsión convencional
 - Sistemas Propulsión Asistida a Vela (WAPS)
 - Turbinas / Motor y Hélices de drone
 - Polares
 - Sistemas antideriva (orza)



Capacidades de Análisis y Optimización

• Análisis

- Código propio en Matlab
- Análisis de ensayos al final de la jornada
- Descarga de archivos desde PC modelo
- Resultados
 - Gráficas representativas
 - Tabla de resultados (Excel)
 - Serie temporal buque (Excel)
- Intacloud (nube corporativa)
 - Segura
 - Datos (brutos y analizados)
 - El cliente puede acceder a todos los datos



Optimización Maniobrabilidad

- Diseño (hidrodinámico) y optimización de timones
 - Programa Timón
 - Tesis Doctoral Antonio Baquero
 - Validado recientemente (sobre buque entregado en 2023)

	V = 18 kn Non tactitcal transit (Required)					V = 12 kn RAS (Required)					V = 12 kn RAS (Target)				
	Turning 35° Y _{0 180} < 4.04	Initial turning 10/10 t _a < 2.00	Yaw checking 10/10 t _{c1} < 1.4	Initial turning 20/20 t _a < 2.00	Yaw checking 20/20 t _{c1} < 1.4	Turning 35° Y _{0 180} < 3.5	Initial turning 10/10 t _a < 1.75	Yaw checking 10/10 t _{c1} < 1.4	Initial turning 20/20 t _a < 1.75	Yaw checking 20/20 t _{c1} < 1.4	Turning 35° Y _{0 180} < 3.5	Initial turning 10/10 t _a < 1.55	Yaw checking 10/10 t _{c1} < 1.4	Initial turning 20/20 t _a < 1.55	Yaw checking 20/20 t _{c1} < 1.4
R-####-S	3.93	1.71	0.83	1.82	0.97	3.68	1.59	0.60	1.59	0.73	3.68	1.59	0.60	1.59	0.73
R-####-L	3.67	1.70	0.74	1.81	0.89	3.54	1.53	0.53	1.56	0.67	3.54	1.53	0.53	1.56	0.67
R-####-F	2.63	1.25	0.84	1.56	0.97	2.49	0.97	0.63	1.28	0.73	2.49	0.97	0.63	1.28	0.73
R-####-C	3.34	1.48	0.79	1.71	0.95	3.19	1.39	0.60	1.38	0.84	3.19	1.39	0.60	1.38	0.84

- Próximamente MPP & ManWav (CRS)



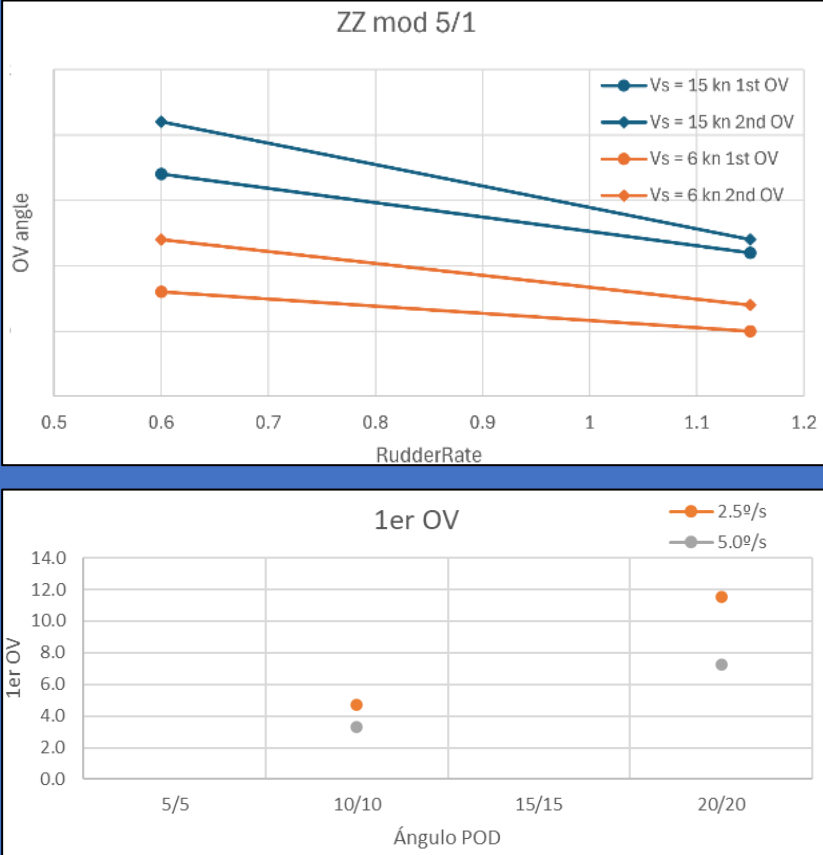
Optimización Maniobrabilidad

- Otros elementos

Quillotes



Velocidad de giro



Optimización Maniobrabilidad

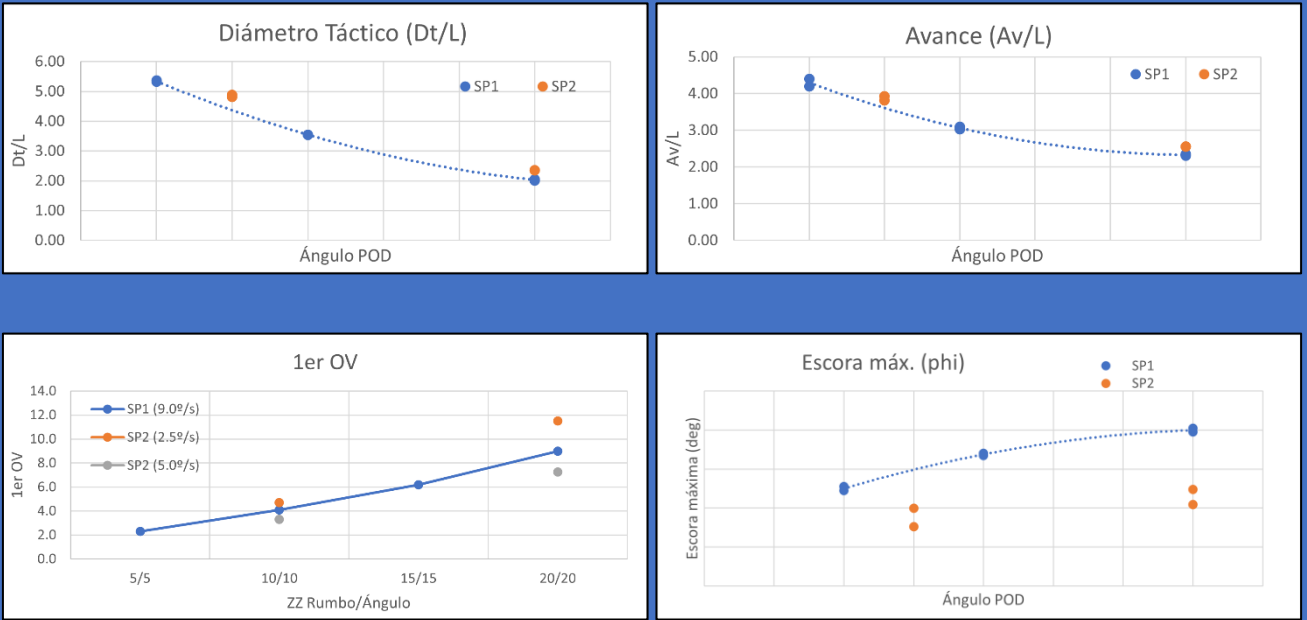
- Otros elementos

Orzas



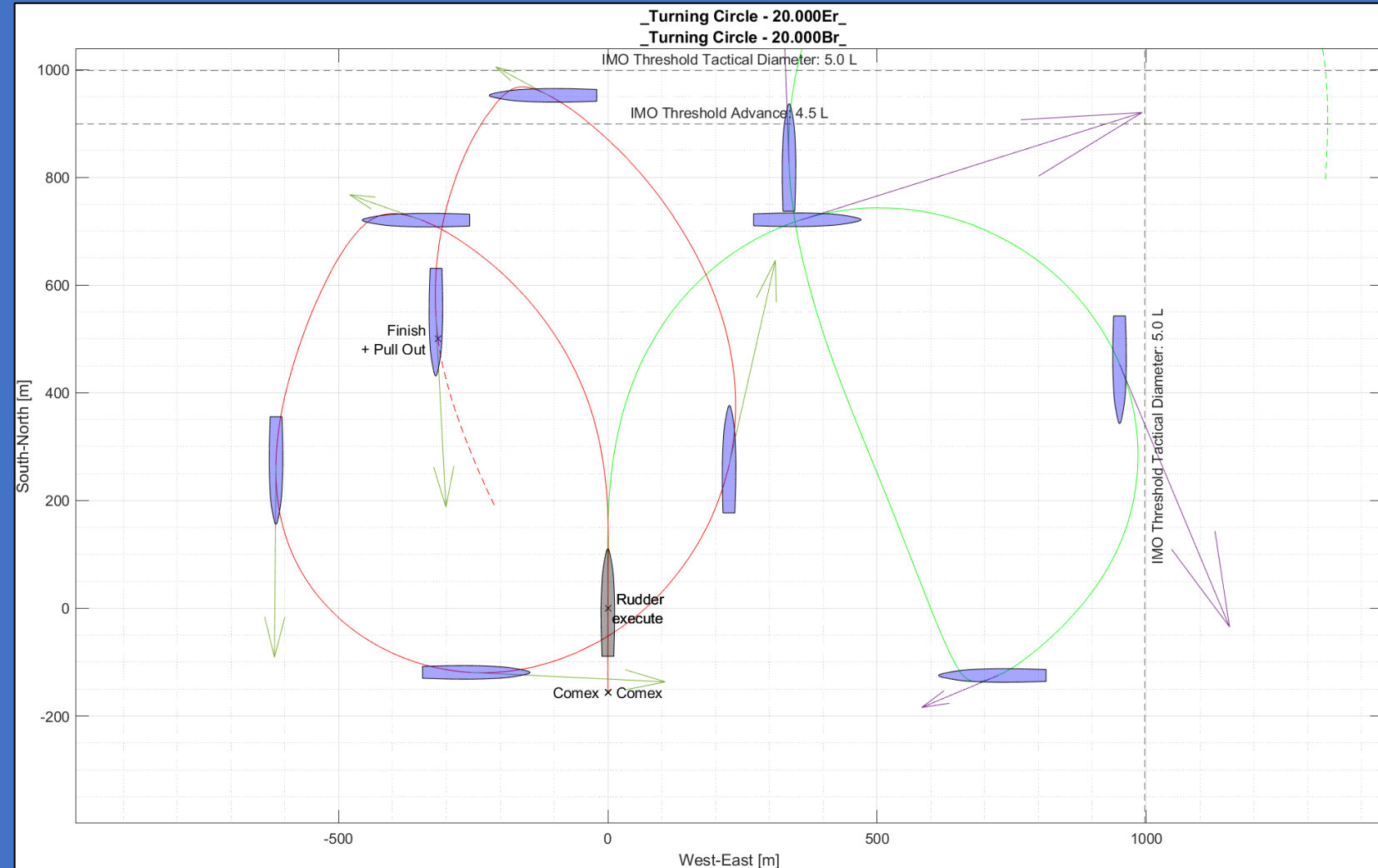
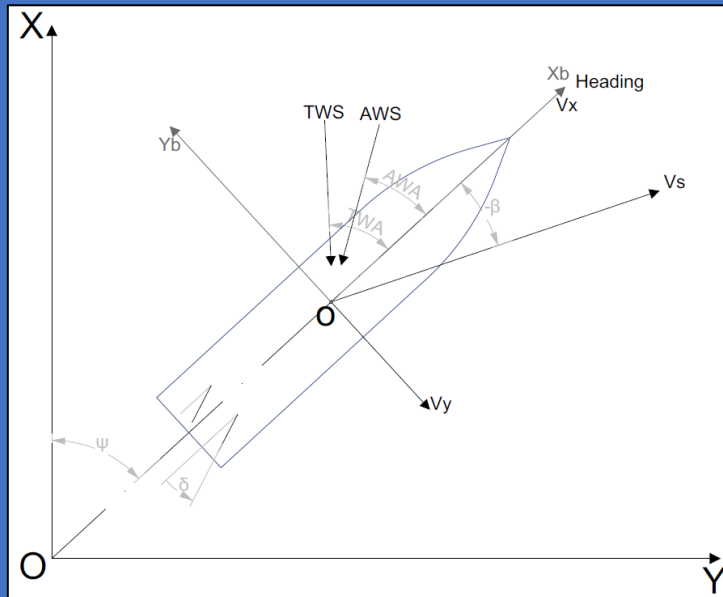
(Ensayos en CAT)

Sistemas de propulsión



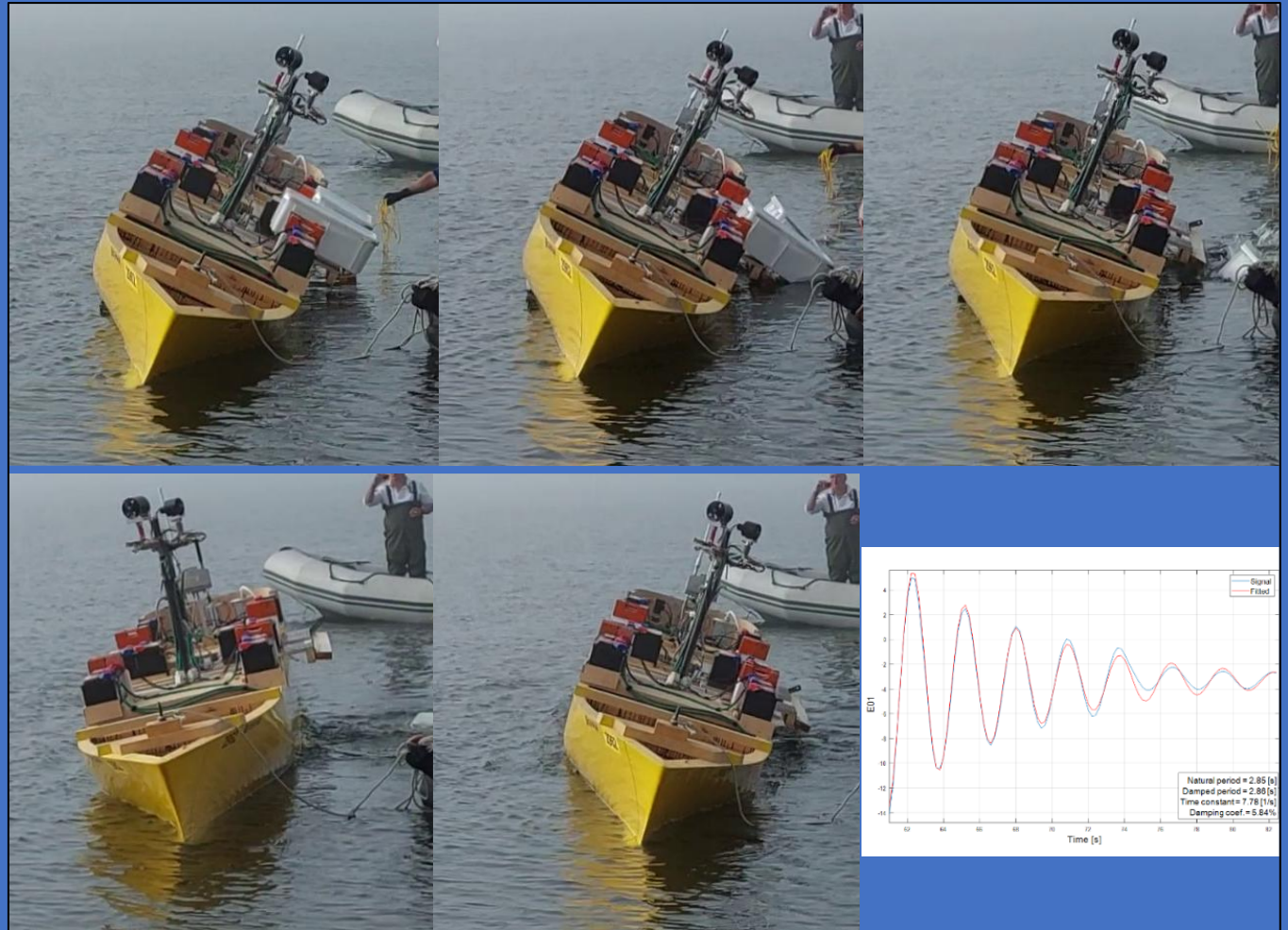
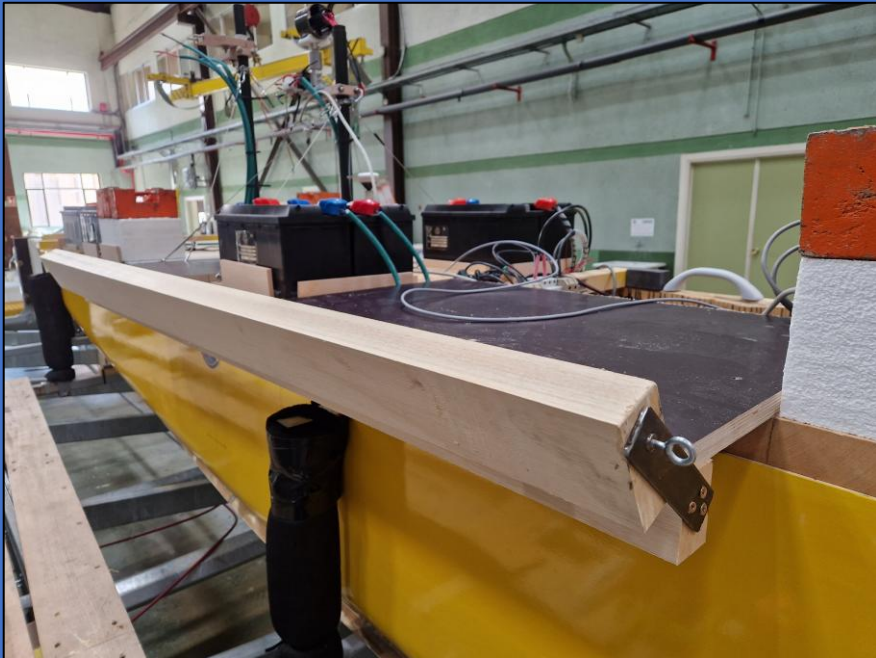
Ensayos No Convencionales

- WASP y Veleros
 - Polares
 - $F \propto (V_s, \beta, \Psi)$
 - PID



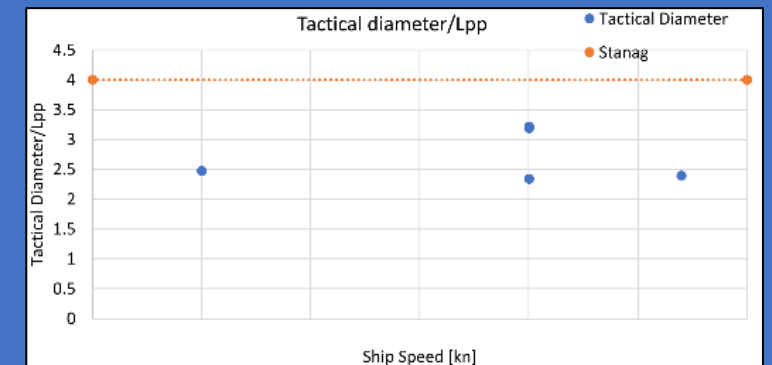
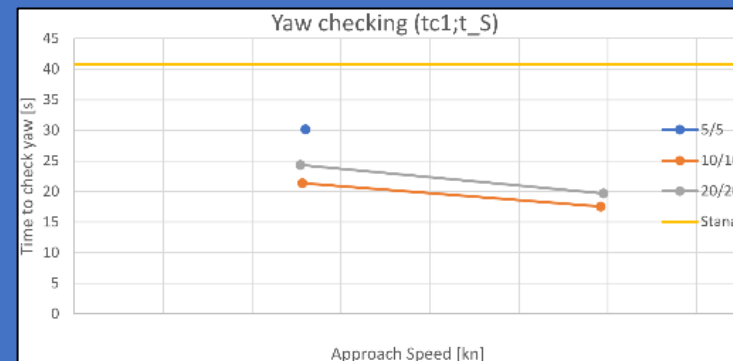
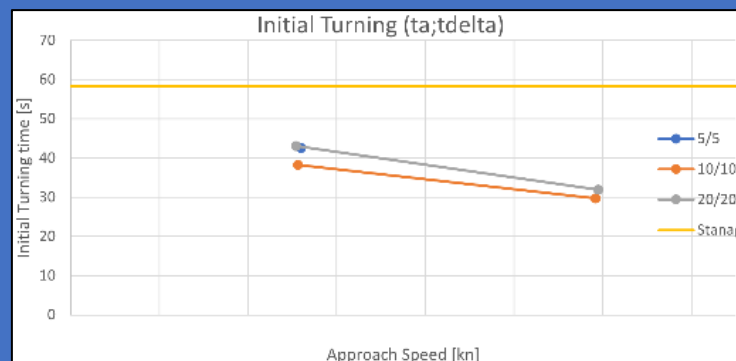
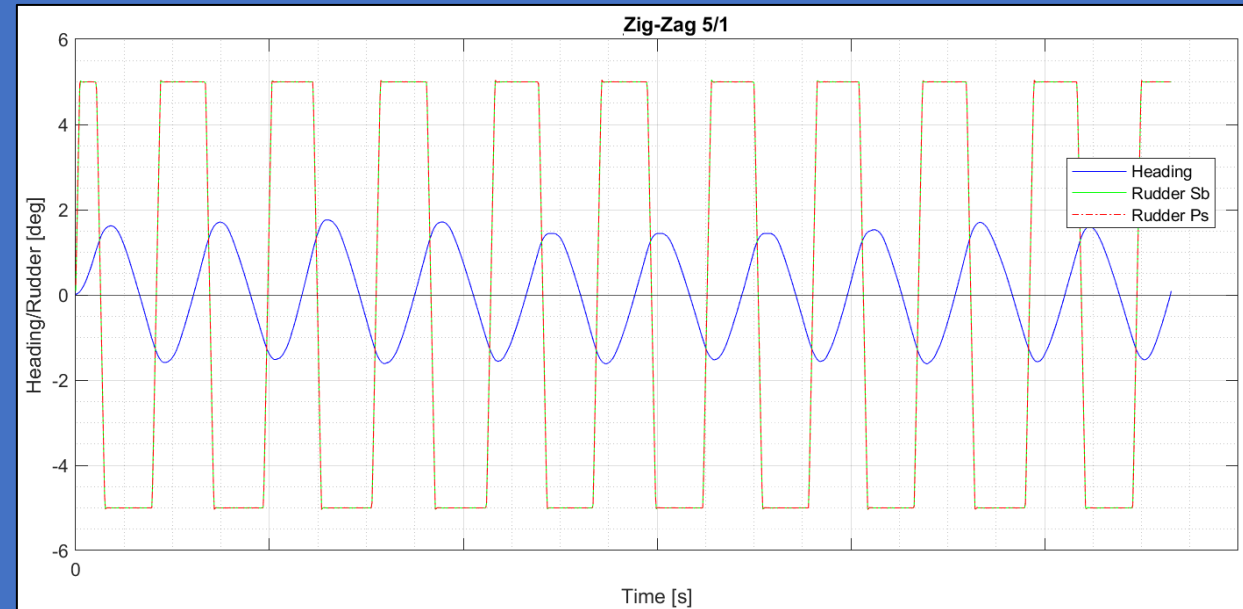
Ensayos No Convencionales

- Extinción de balance



Ensayos No Convencionales

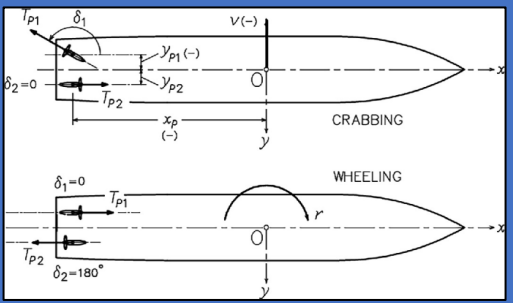
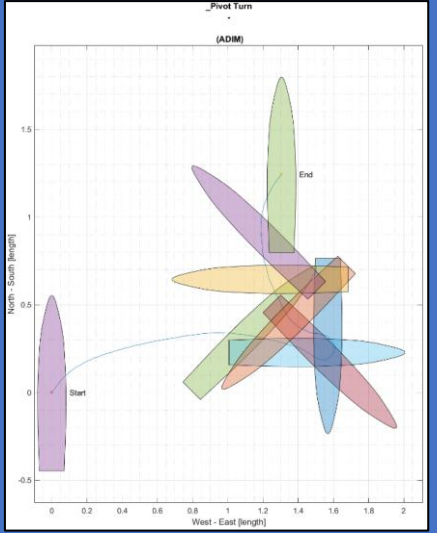
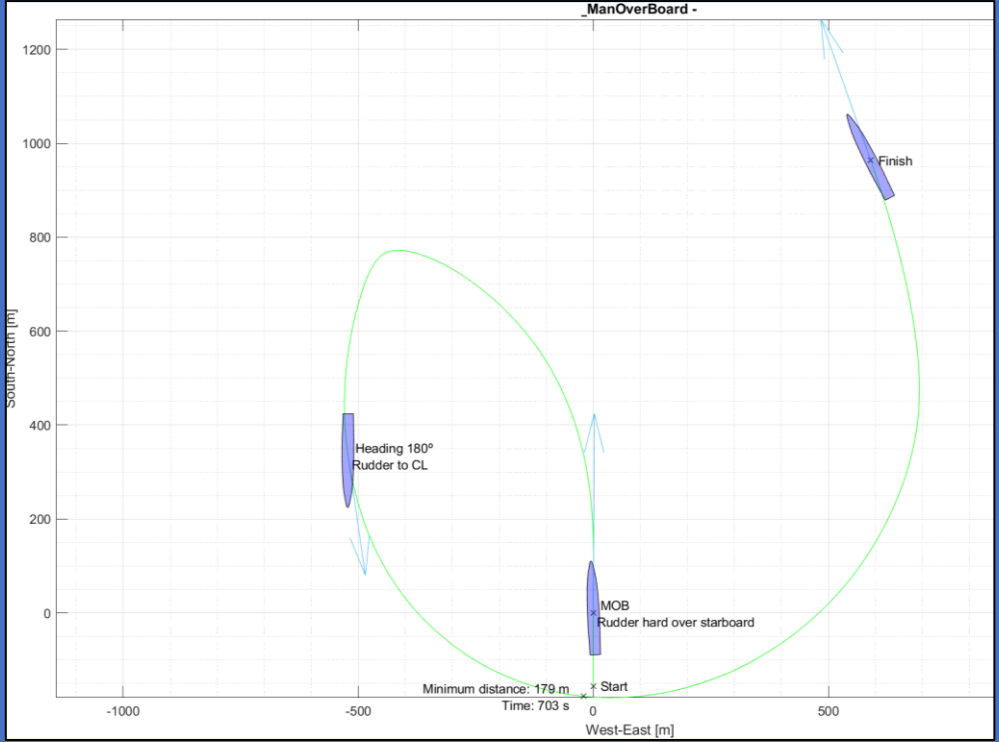
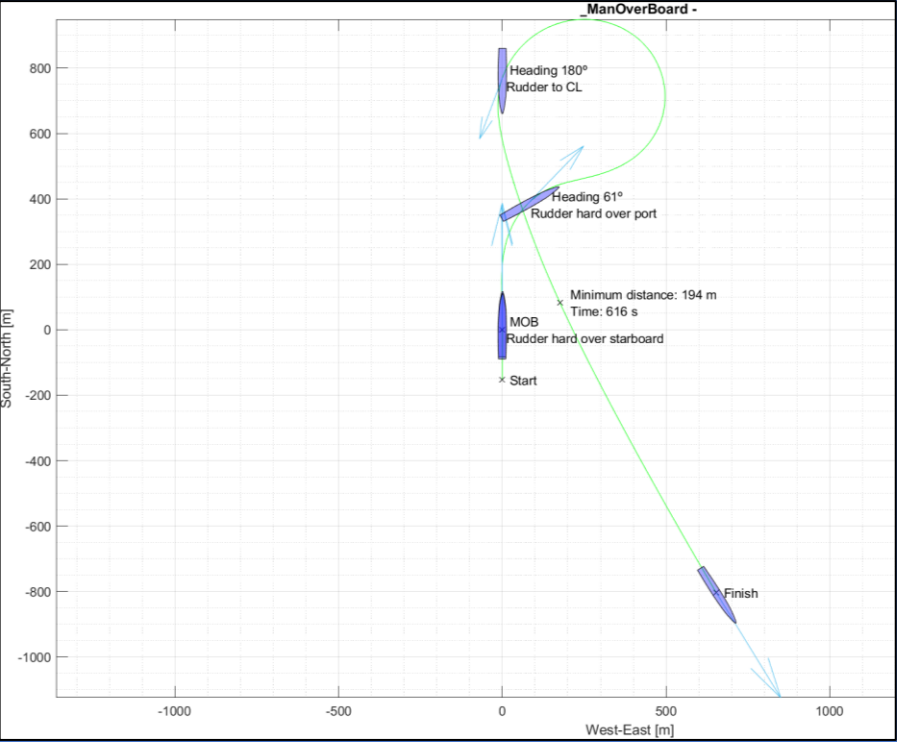
- ZZ modificado
 - δ/ψ (5/1)
 - Autopiloto
 - PID
- STANAG



Ensayos No Convencionales

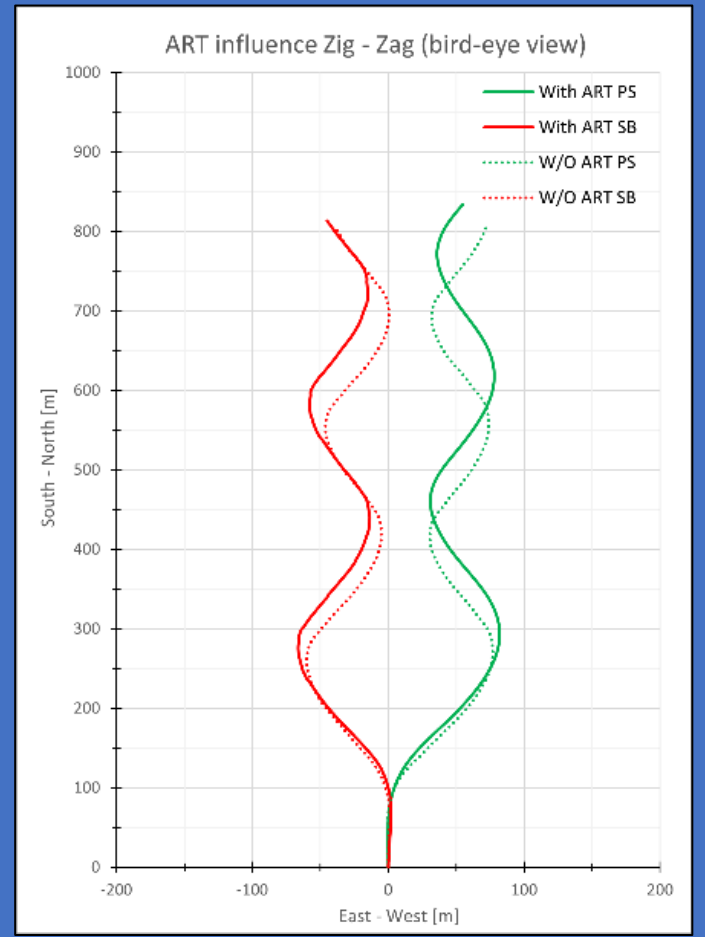
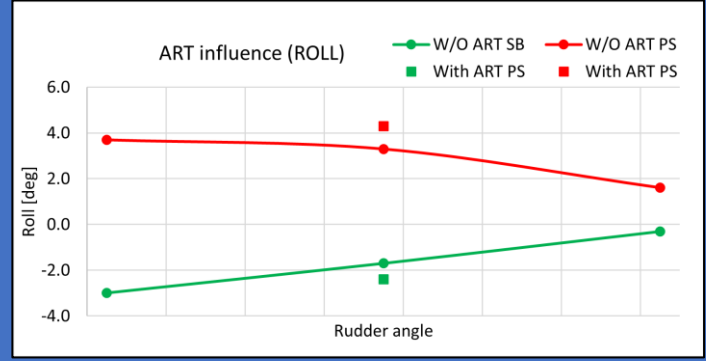
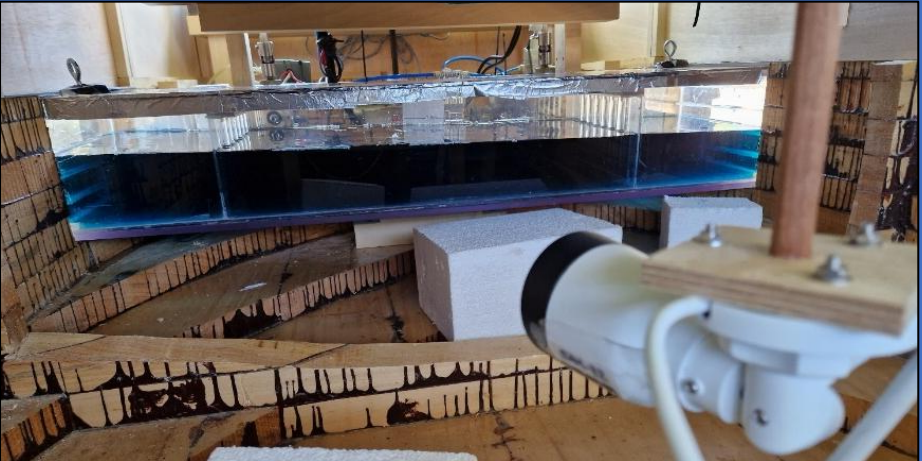
Hombre al agua

Ciaboga (Wheeling)



Ensayos No Convencionales

Tanque Anti-balance Pasivo (ART)



Otros ensayos ¿próximamente?

- Viento externo
- Averías
 - Daños estructurales
 - Inundación



¡¡GRACIAS!!

¿PREGUNTAS?



**MINISTERIO
DE DEFENSA**

SECRETARIA DE ESTADO DE DEFENSA



**INSTITUTO NACIONAL DE
TECNICA AEROESPACIAL**

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE SISTEMAS NAVALES



CEHIPAR CENTRO
DE EXPERIENCIAS
HIDRODINÁMICAS
DE EL PARDO

CAMPUS DE EL PARDO