

IX SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y OPERACIÓN PORTUARIA EVALUACIÓN DE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS (CFD) COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO PARA ESTIMAR SOBREPASO EN ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN COSTERA

Tomás Cuevas López¹

José Gallardo Canabes²

27-10-2022





Agenda

- Motivación
- Caso de estudio
- Configuración de la simulación
- Resultados
- Resumen y conclusiones





Sobrepaso

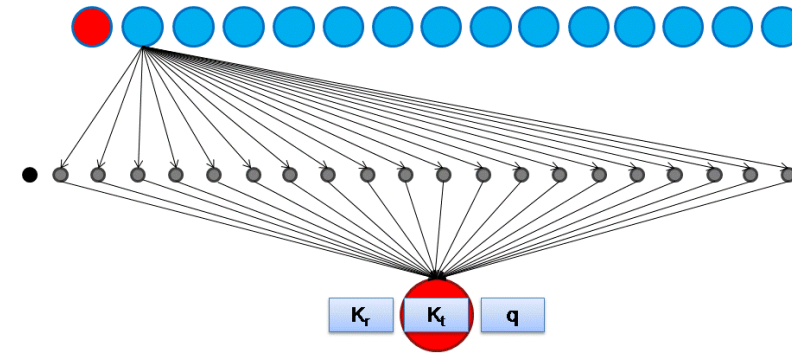
- Función de las estructuras de protección costera
- Distintas etapas de diseño
- Riesgo admisible
- Herramientas para la predicción de rebase
 - Formulas empíricas
 - Redes neuronales
 - Dinámica computacional de fluidos (CFD)
 - Modelos físicos





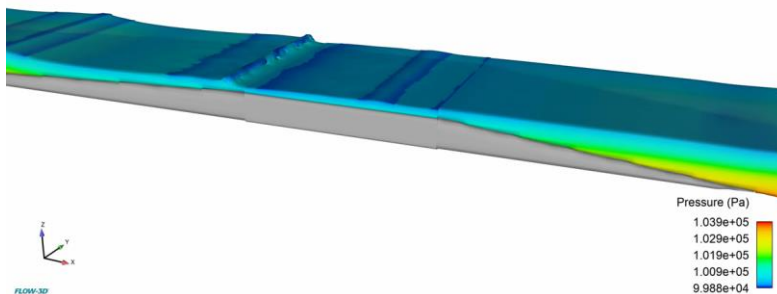
Herramientas

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = a \cdot \exp \left[- \left(b \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^c \right]$$



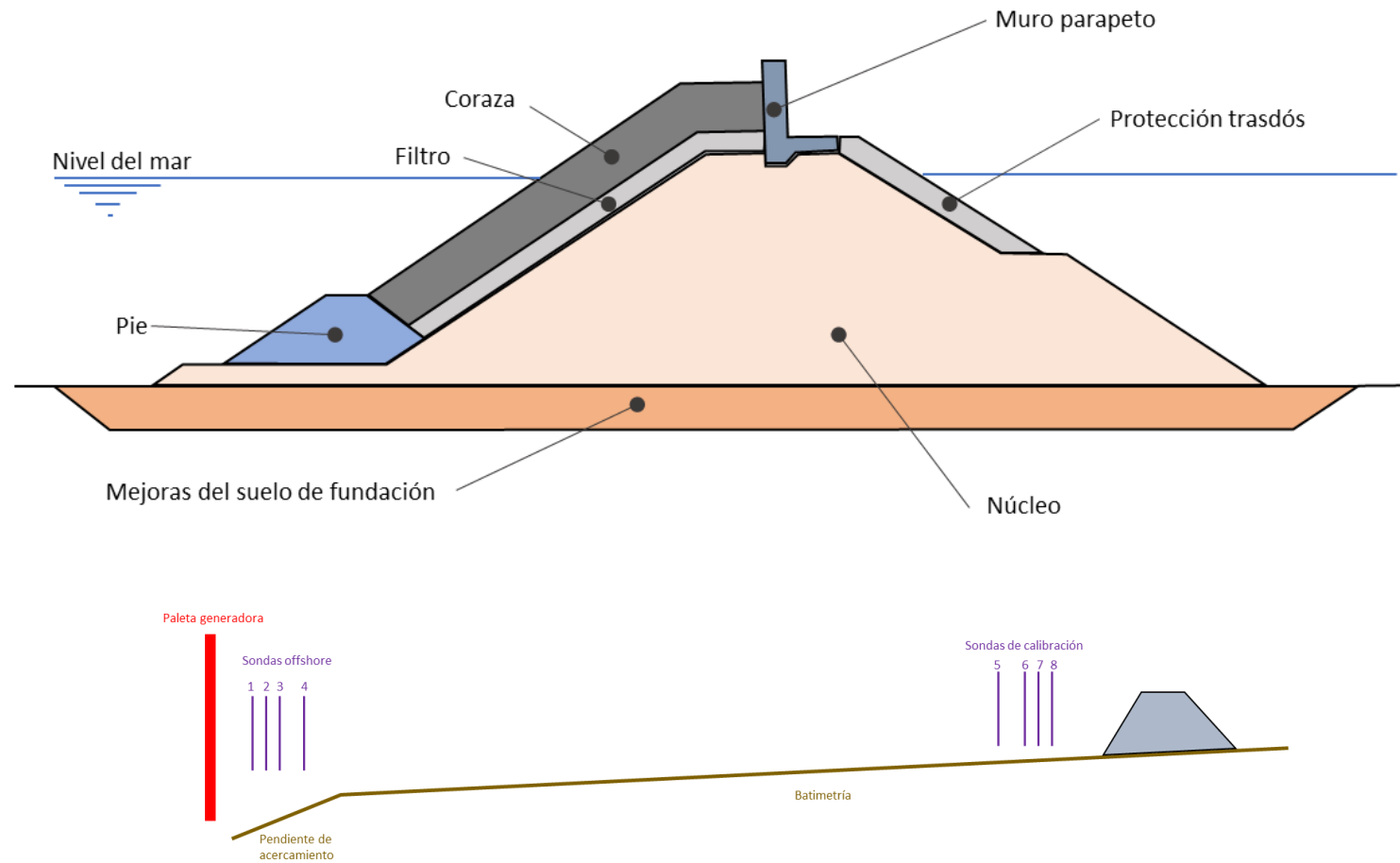
$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f} \end{cases}$$

Time = 60.01





Rompeolas en talud





Estados de mar

Caso	Periodo de retorno	Nivel del mar	Hm0	Tp	Duración tormenta
	Años	[m NRS]	[m]	[s]	[h]
1	1	1.89	4.7	14.0	10
2	1	1.89	4.7	17.0	10
3	5	1.89	5.7	18.0	10
4	5	2.69	5.7	18.0	10
5	50	2.69	7.0	15.0	10
6	50	2.69	7.0	19.0	10
7	50	0.14	7.0	19.0	10
8	475	0.14	8.1	20.0	10
9	475	2.69	8.1	16.0	10
10	1500	2.69	8.6	20.0	10

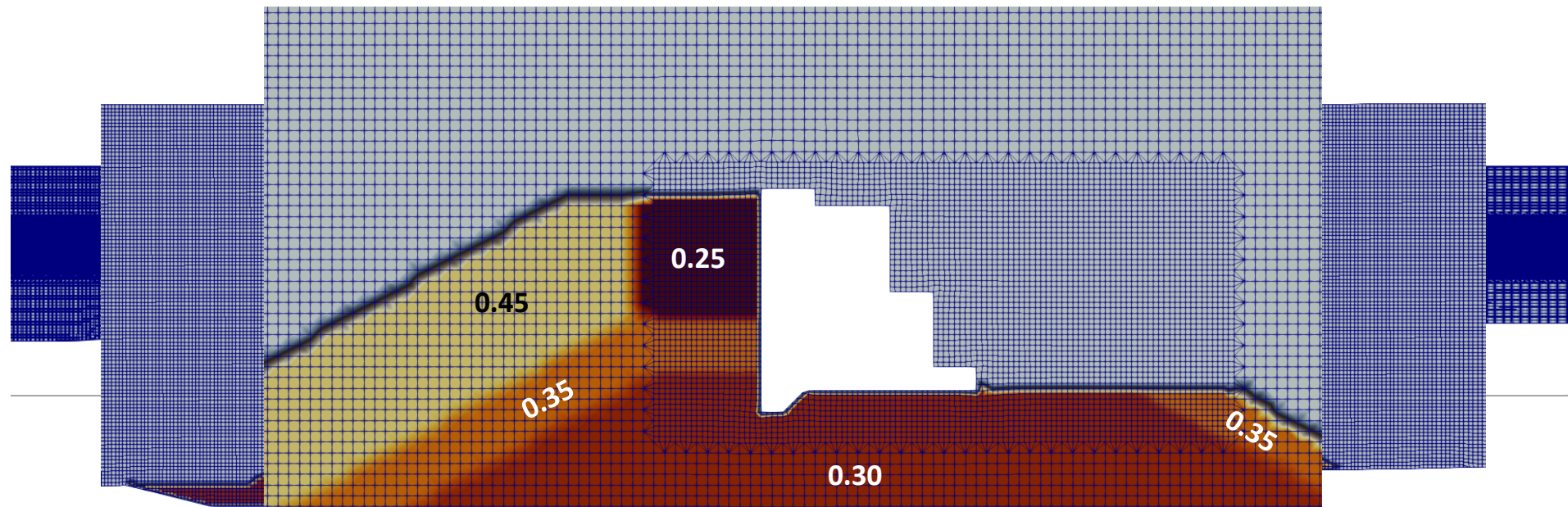


Código

- **OpenFOAM**: biblioteca multipropósito de código abierto, adecuada para resolver problemas multifísicos de CFD utilizando volúmenes finitos
- **olaFlow**: proyecto de código abierto que implementa generación de oleaje y absorción activa de oleaje en OpenFOAM

Modelo 2D

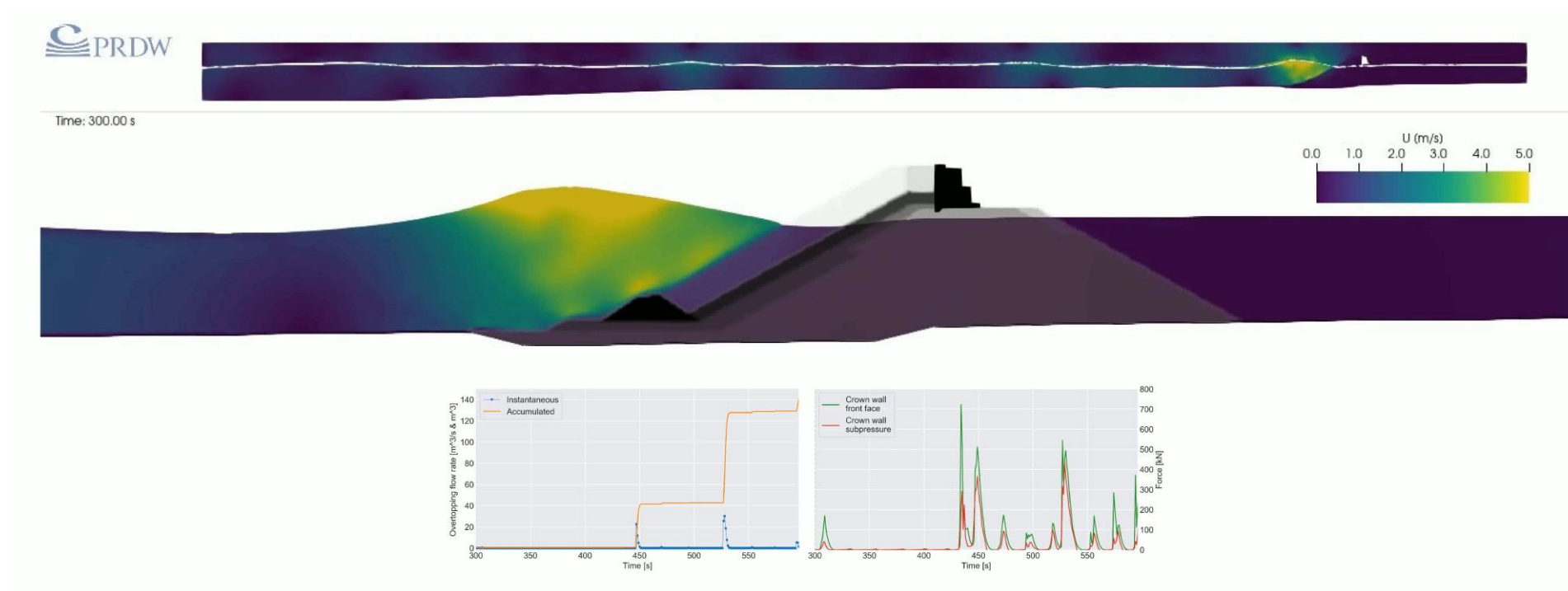
- Mallado ~ **240,000** elementos
- Dominio rectangular de 1,600 x 70 m
- Porosidad con **8 componentes** de la sección





Salidas del modelo

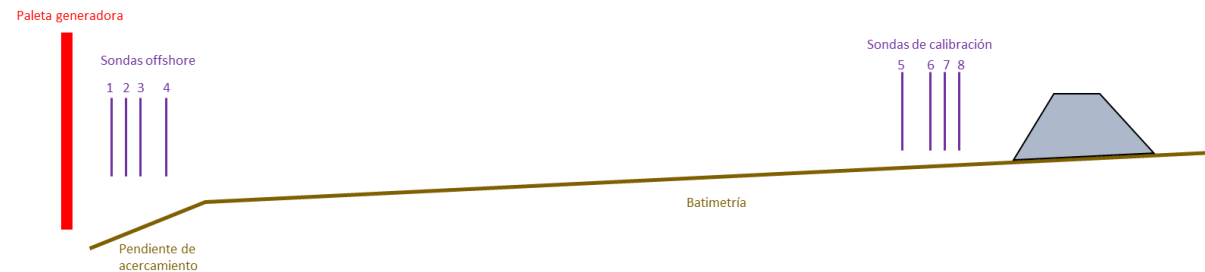
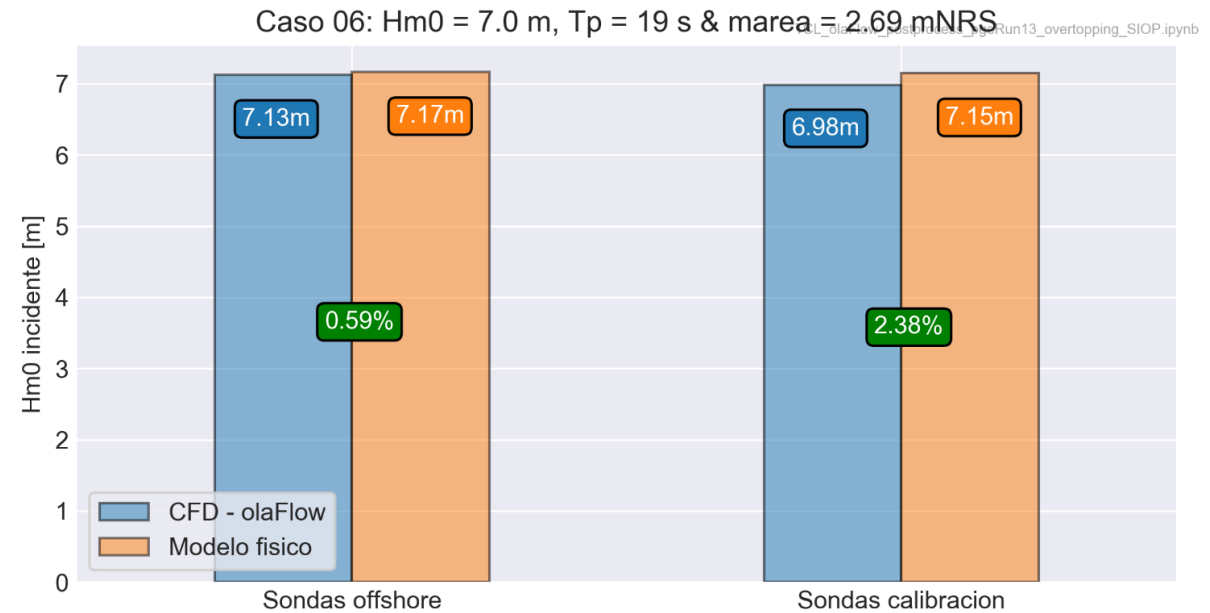
- Elevación superficie libre $\rightarrow H_{m0}$
- Velocidades
- Caudal de sobrepaso
- Run-up
- Fuerzas sobre superficies





Comparación H_{m0} incidente $T_r = 50$ años

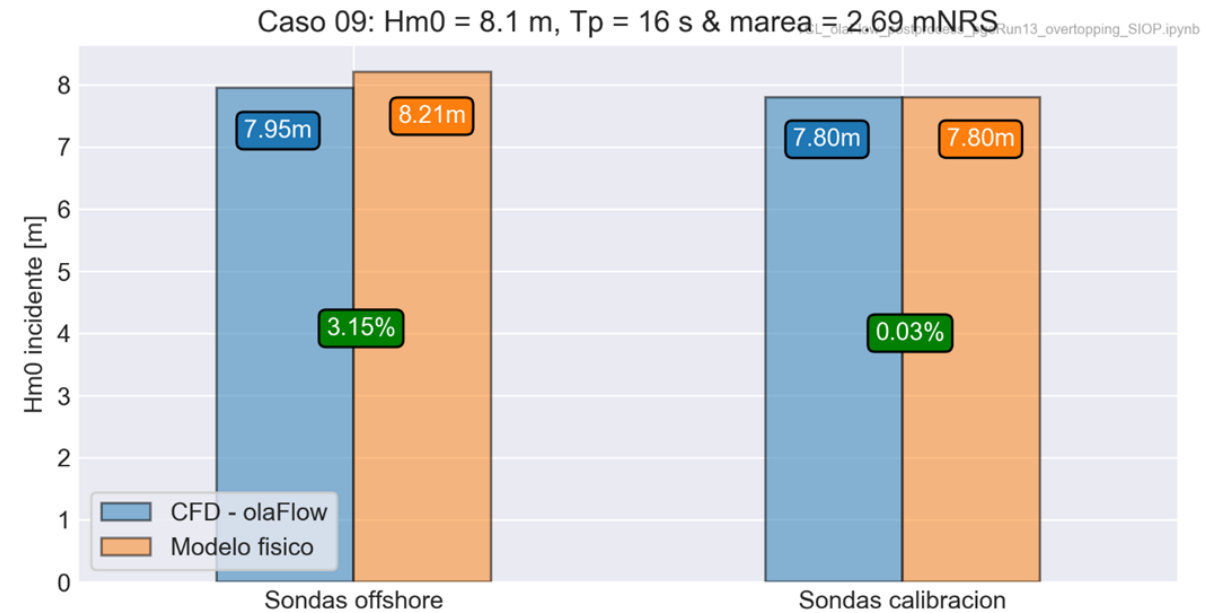
- Análisis de reflexión con MIKE by DHI
- Coef. reflexión ≈ 0.4
- CFD $\rightarrow H_{m0}$ promedio por grupo de sondas





Comparación H_{m0} incidente $T_r = 475$ años

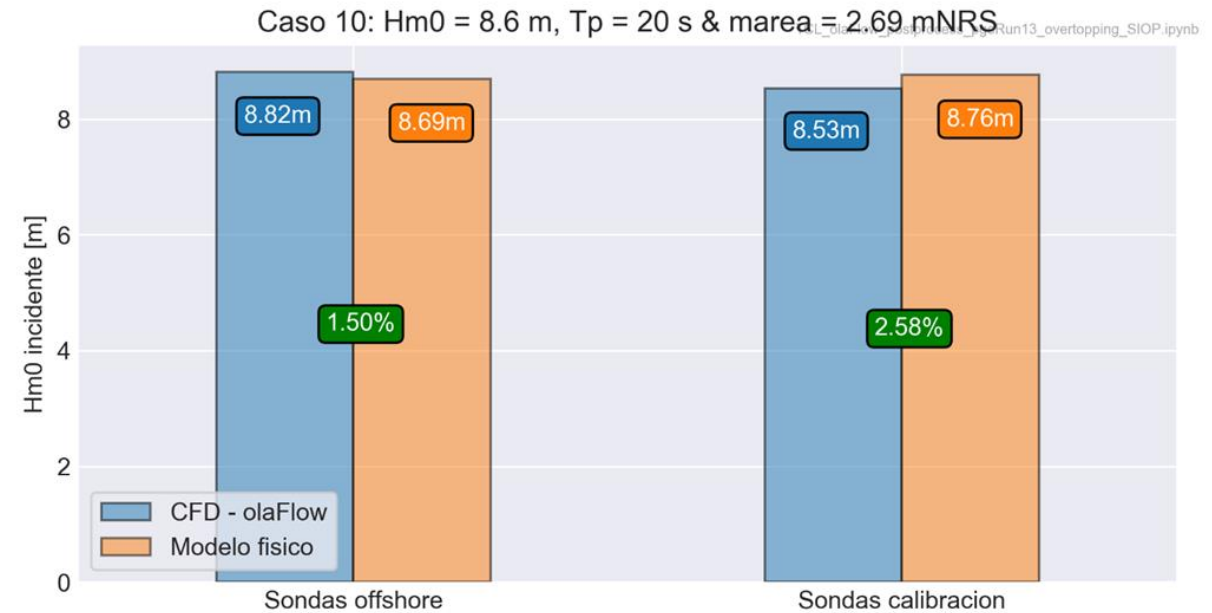
- Análisis de reflexión con MIKE by DHI
- Coef. reflexión ≈ 0.4
- CFD $\rightarrow H_{m0}$ promedio por grupo de sondas





Comparación H_{m0} incidente $T_r = 1,500$ años

- Análisis de reflexión con MIKE by DHI
- Coef. reflexión ≈ 0.4
- CFD $\rightarrow H_{m0}$ promedio por grupo de sondas





Resumen comparación H_{m0} incidente

Total:

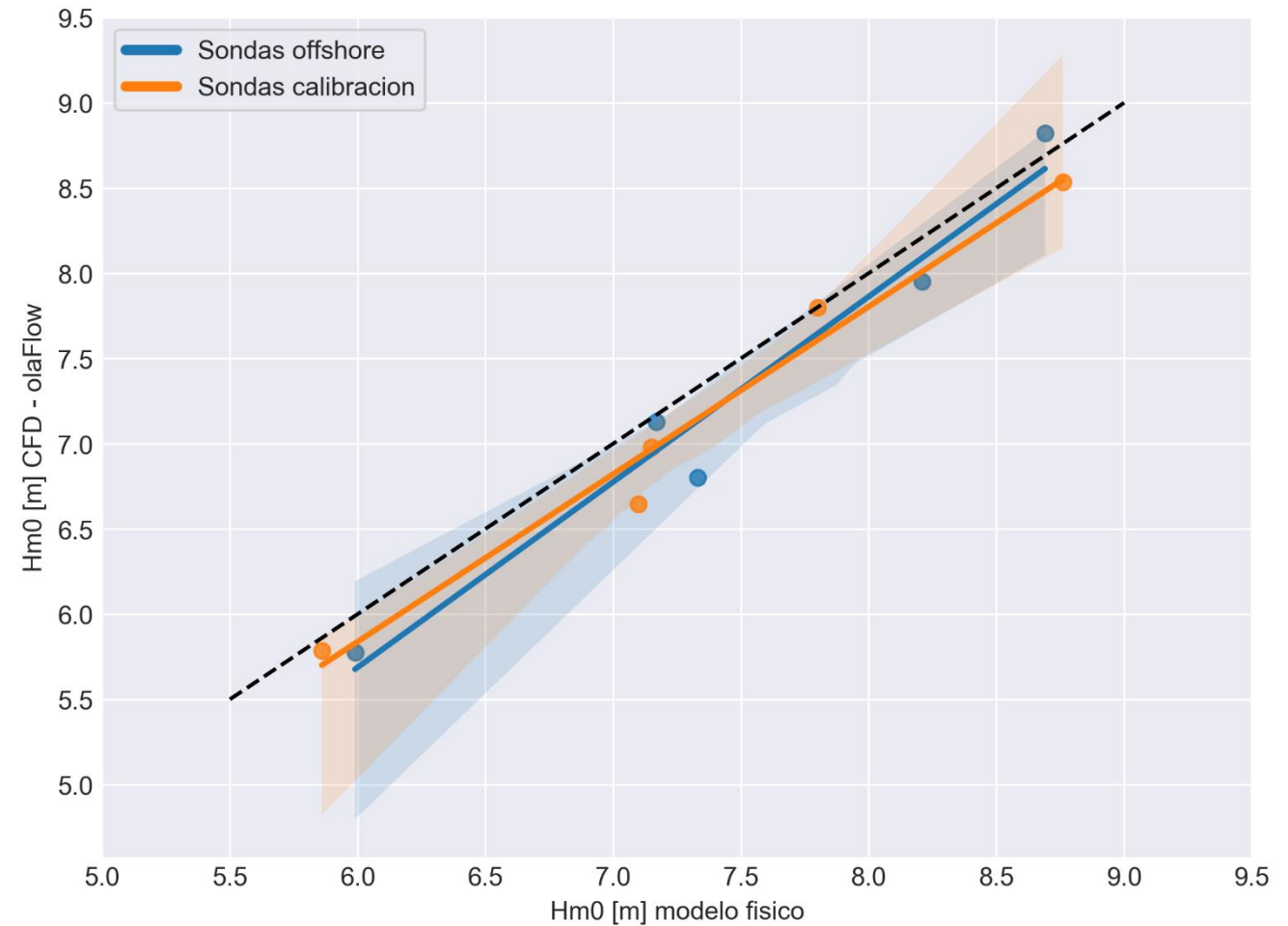
$R^2 = 0.96$ y $recm = 0.19$ m

Offshore:

$R^2 = 0.96$ y $recm = 0.20$ m

Calibración:

$R^2 = 0.97$ y $recm = 0.15$ m



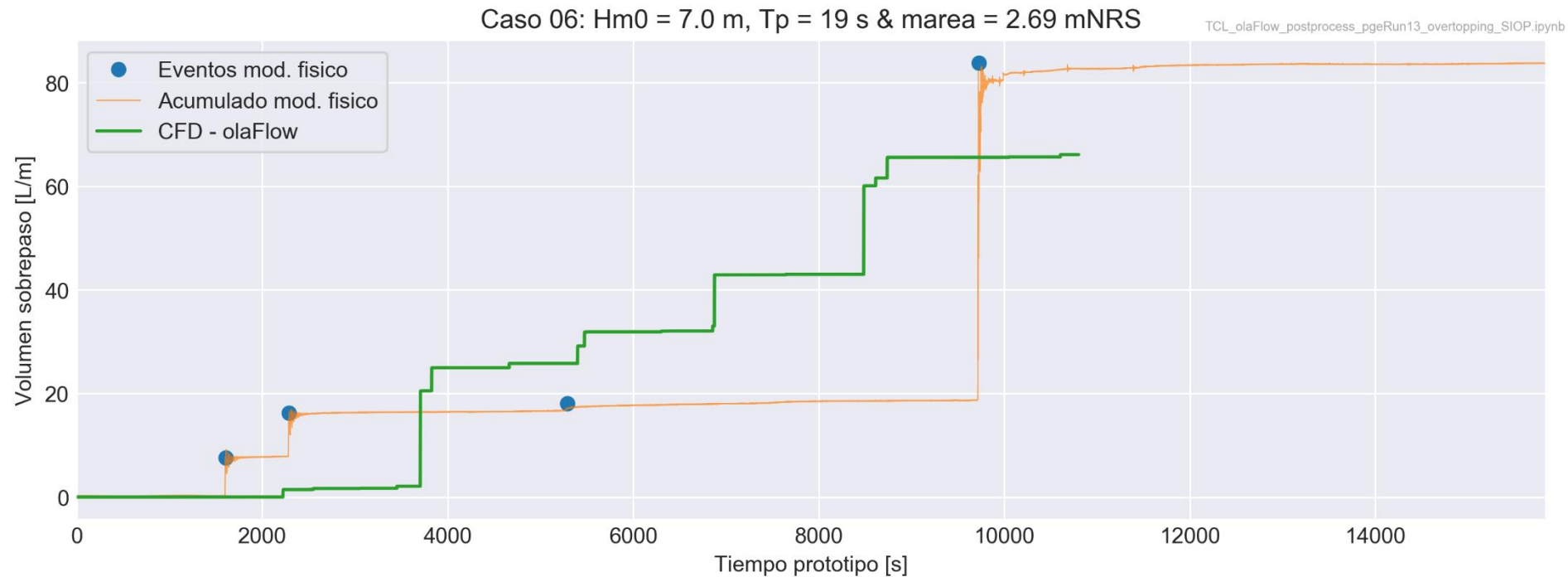


Comparación caudal de sobrepaso $T_r = 50$ años

- Diferente CB de desnivelación
- $H_{max}/H_{m0} = cte$
- Series de diferente duración



Comparación estadística



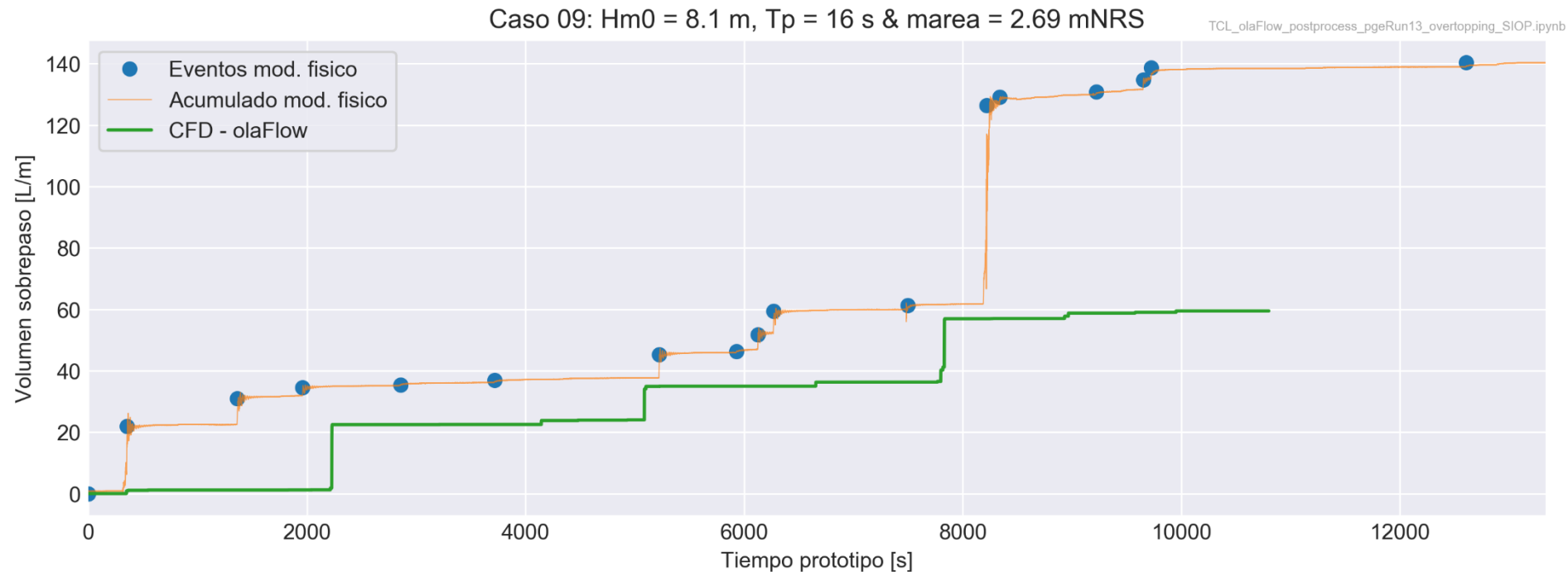


Comparación caudal de sobrepaso $T_r = 475$ años

- Diferente CB de desnivelación
- $H_{max}/H_{m0} = cte$
- Series de diferente duración



Comparación estadística



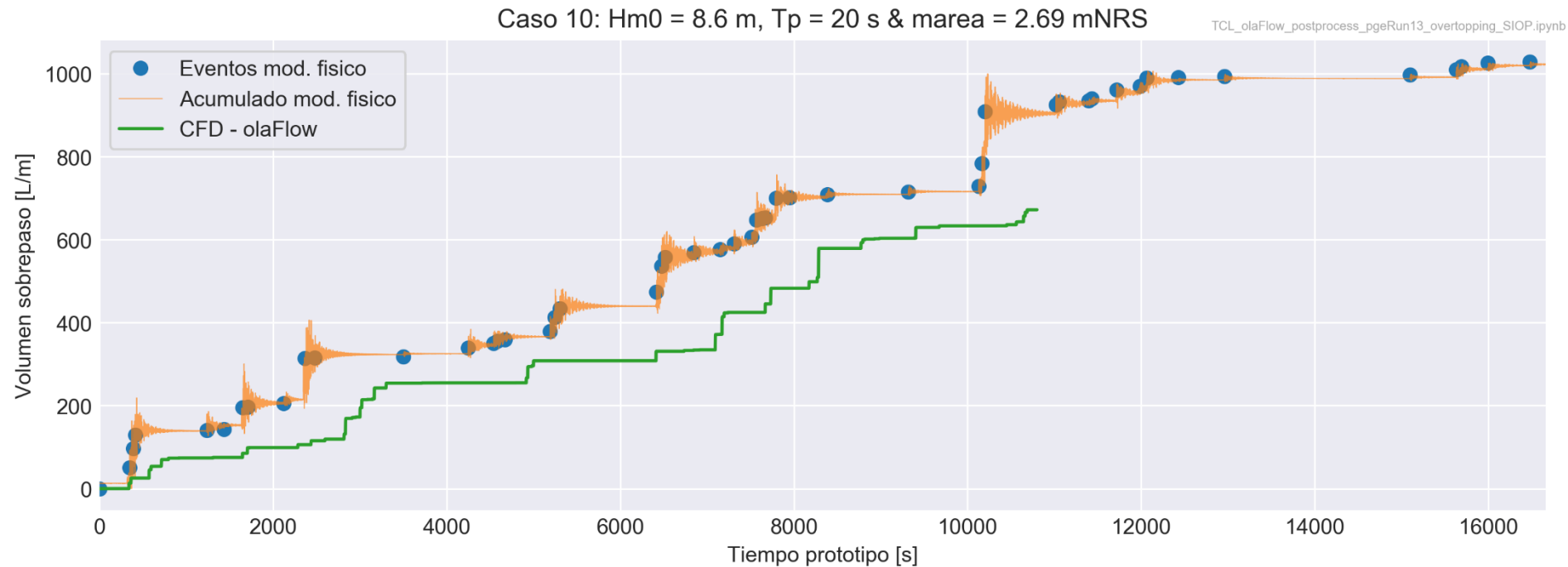


Comparación caudal de sobrepaso $T_r = 1,500$ años

- Diferente CB de desnivelación
- $H_{max}/H_{m0} = cte$
- Series de diferente duración



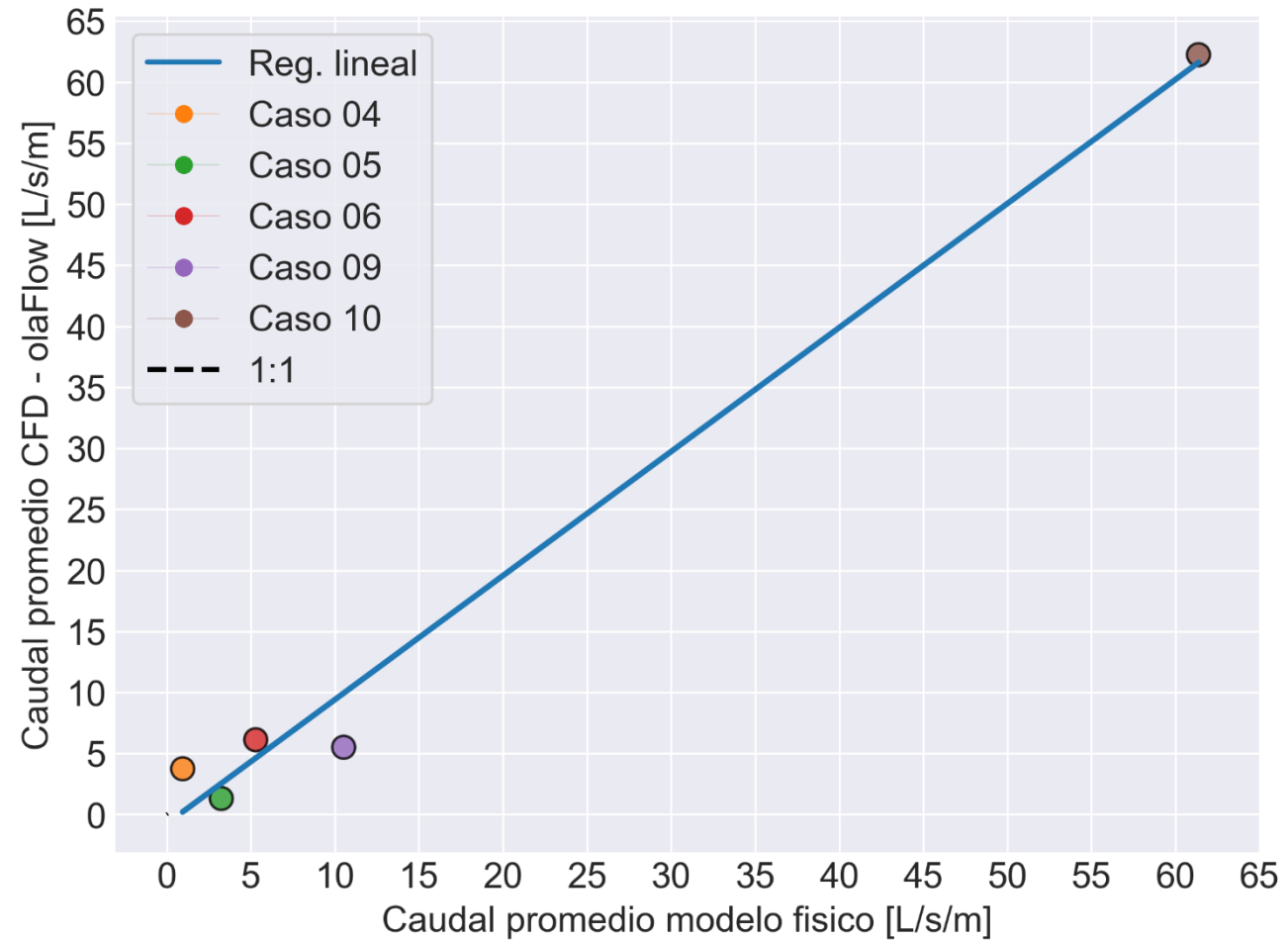
Comparación estadística





Comparación caudal promedio [L/m/s]

$R^2 = 0.99$ y $recm = 2.70$ L/s/m





Método	Caudal de sobrepaso promedio [L/s/m]							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B9	B10
Modelo físico	0.001	0.37	0.91	1.29	3.20	5.3	10.5	60
EurOtop	1.84	3.84	6.95	7.95	6.97	13.39	11.13	21.37
EurOtop calibrado	4.52	7.74	12.34	13.43	12.46	20.53	18.10	30.31
XGB	0.17	0.35	1.29	1.17	3.11	5.24	19.61	58.13
CFD - olaFlow	-	-	-	3.74	1.31	6.12	5.51	62.25



- Muy buena capacidad de CFD para estimar la altura de ola incidente
- El modelo de CFD se validó para la estimación de sobrepaso, permitiendo estimaciones de alta fidelidad.
Redes neuronales tienen muy buena capacidad de predicción
- Ventajas de aplicar el modelo CFD en geometrías complejas / no convencionales tales como paredes verticales, curvatura en la sección transversal (verteolas) y geometrías con efectos 3D importantes, tanto para rebase como estimación de cargas hidrodinámicas
- Si bien CFD no reemplaza la aplicación de modelos físicos, permite llegar con un diseño más acabado a los ensayos, con el consiguiente ahorro en tiempo y costos

IX SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y OPERACIÓN PORTUARIA EVALUACIÓN DE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS (CFD) COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO PARA ESTIMAR SOBREPASO EN ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN COSTERA

Tomás Cuevas López¹

José Gallardo Canabes²



27-10-2022