

VII Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OPERATIVIDAD EN LA NUEVA TERMINAL N°2 DEL PUERTO DE VALPARAÍSO (CHILE).

ENSAYOS DE BUQUE ATRACADO

DIEGO MORENO

GERENTE TÉCNICO DE TCVAL

Índice

Contexto y necesidad

Ensayos en Modelo Físico

Sistema de medida de movimientos y fuerzas

Resultados

Interacción con el modelo de operación

Conclusiones

Contexto y Necesidad

Limitación de la influencia del molo de abrigo, especialmente en el Sitio 10



Ensayos en Modelo Físico

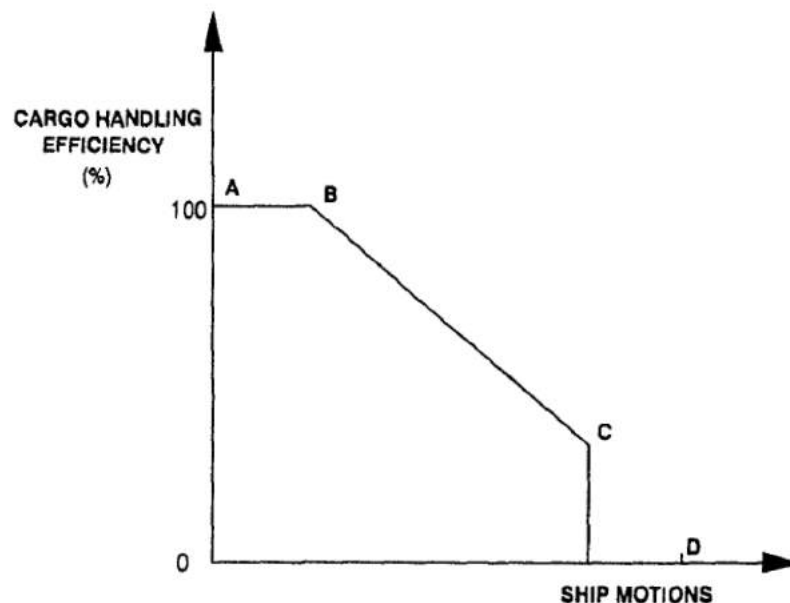


Ensayos en Modelo Físico

Comportamiento buque amarrado → Sistema dinámico complejo.
Condicionado fundamentalmente por:

- ☐ Condiciones de clima. Oleaje y viento
- ☐ Sistema de amarras
- ☐ Sistema de defensas
- ☐ Por el propio buque

Amplitud de Movimientos Máxima Admisible		
Movimientos	PIANC (2012)	
	100% eficacia	50% eficacia
Vaivén	1.0 m	2.0 m
Deriva	0.4 m	0.8 m
Alteada	0.8 m	1.2 m
Alabeo	3.0 °	6.0 °
Cabezeo	1.0 °	2.0 °
Guiñada	1.0 °	1.5 °



	Valor límite (escala prototipo)
Defensas modelo SCN-1600 E.2.8: Reacción nominal	2855 kN
Amarras: Carga Mínima de Rotura (MBL)	1138 kN

Ensayos en Modelo Físico

□ Condiciones de clima

- Dos direcciones de oleaje – [315° y 330°]
- Dos periodos de pico – T_P [12 y 16 s]
- Alturas de ola en el rango H_s [0,5 – 2,5 m]
- Influencia del viento en las operaciones



□ Condiciones de la terminal

- Dos atraques disponibles
 - Sitio 9 más resguardado
 - Sitio 10 más expuesto
- 4 buques portacontenedores
- 1 dique flotante



Ensayos en Modelo Físico

❑ Buques portacontenedores



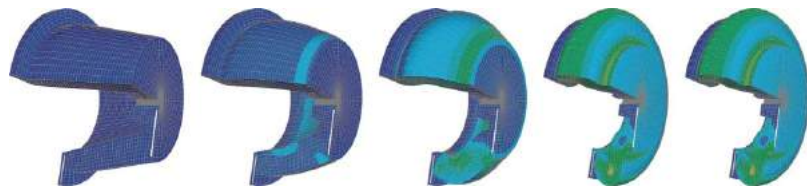
Ensayos en Modelo Físico

❑ Sistema de amarras

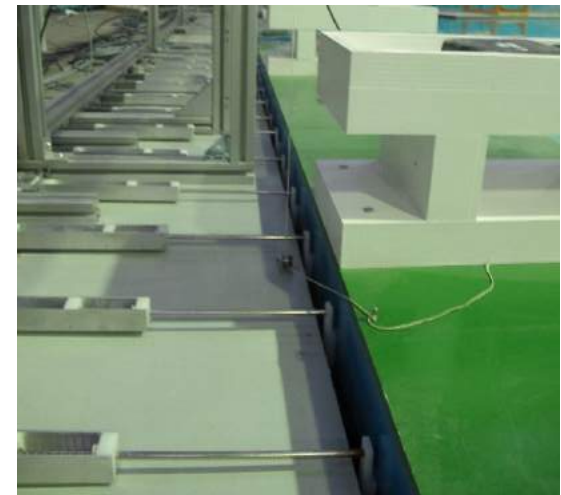
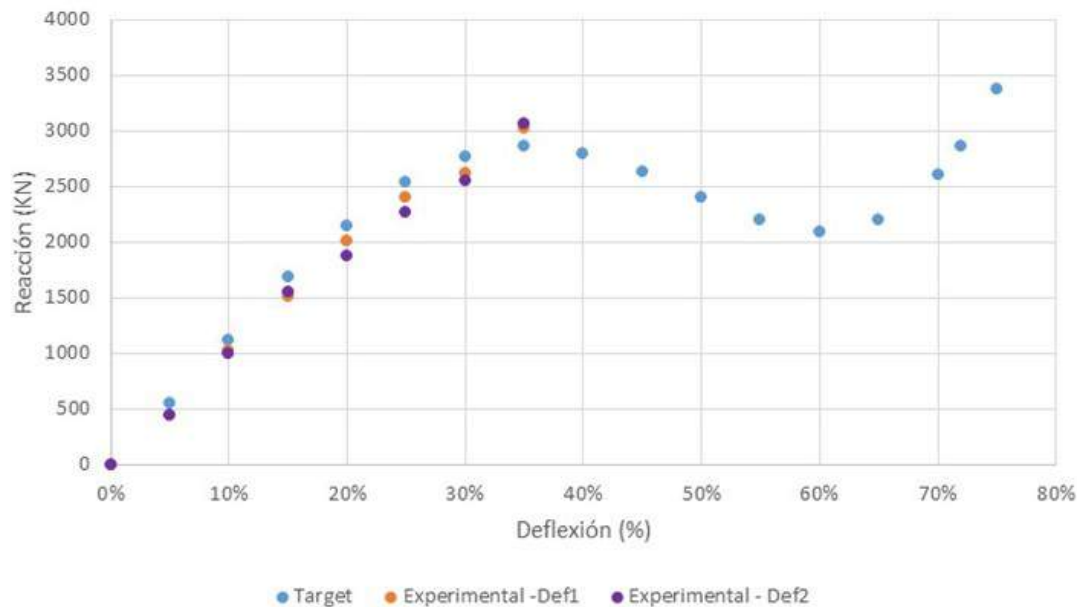


Ensayos en Modelo Físico

❑ Sistema de defensas

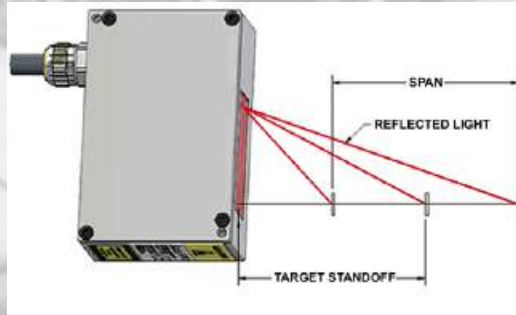


Curva Defensa tipo SCN 1600

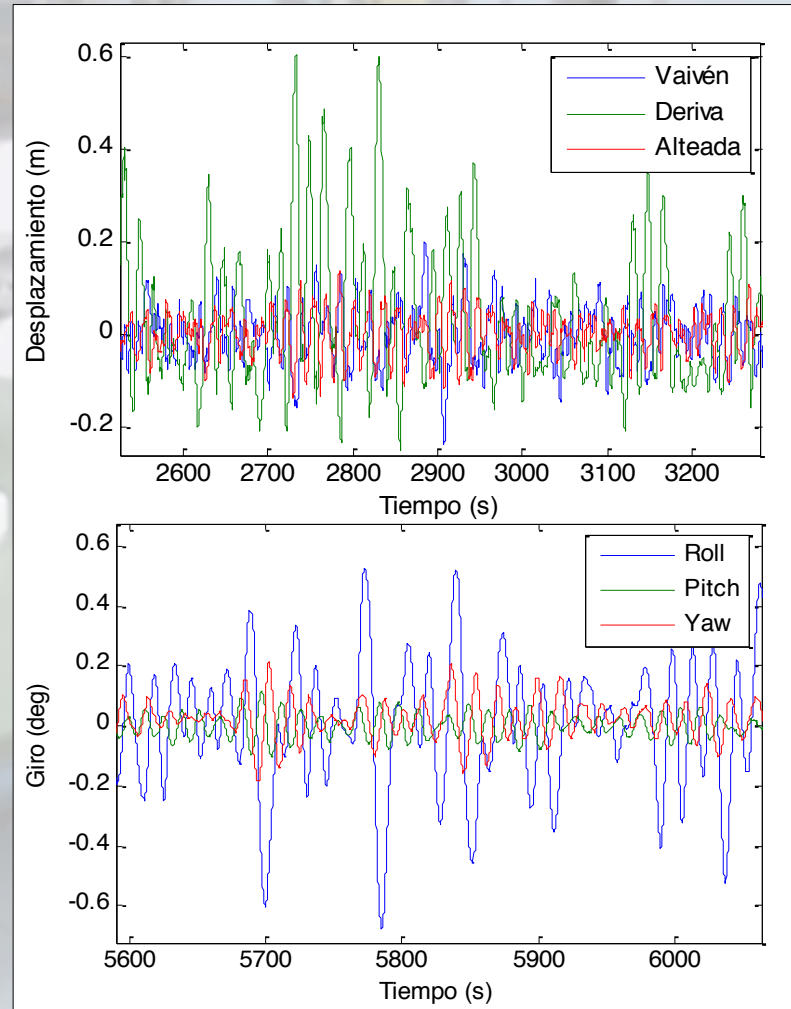
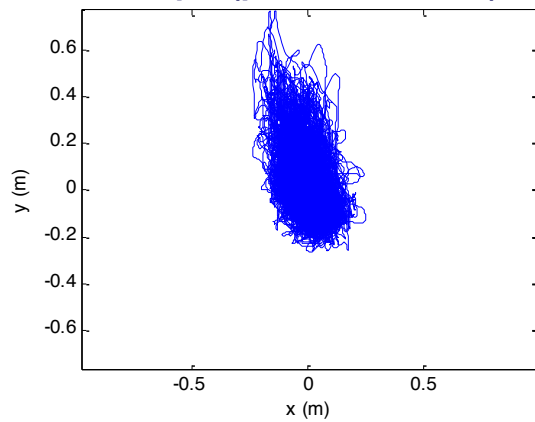


Sistema de medida de Movimientos

Se ha empleado un sistema formado por 4 láser y una IMU (*Inertial Measurement Unit*)



Posición del centro de gravedad del buque (plano horizontal)



Sistema de medida de Movimientos

Ecuaciones en el caso 2D y precisión

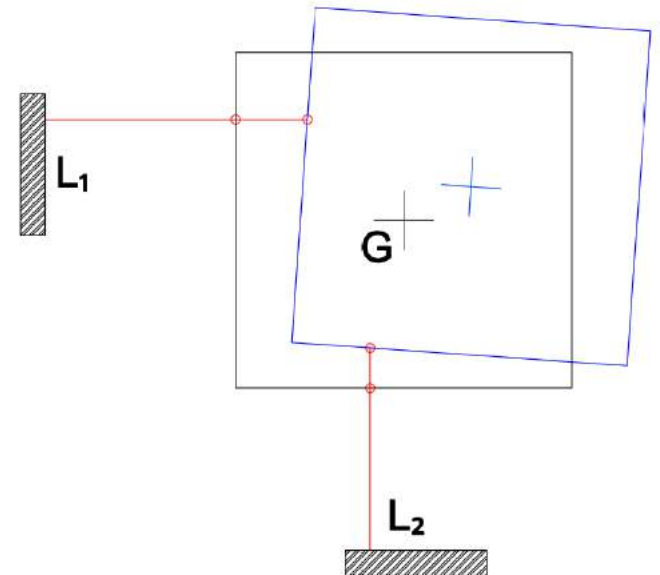
Los láseres miden la distancia al *target* a lo largo del eje del láser.

La IMU mide los tres ángulos del buque (*roll*, *pitch* y *yaw*) combinando las lecturas del giroscopio y del acelerómetro mediante un filtro tipo Kalman.

Conociendo el ángulo θ y las lecturas de los láser (ΔL_1 y ΔL_2) se pueden obtener los desplazamientos del centro de gravedad (Δx_G y Δy_G) resolviendo un sistema lineal de ecuaciones:

$$\Delta L_1 = \Delta x_G + \left[y_{l1} - \Delta y_G - x_{l1} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \tan(\theta)$$

$$\Delta L_2 = \Delta y_G + \left[x_{l2} + \Delta x_G - y_{l2} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \tan(\theta)$$

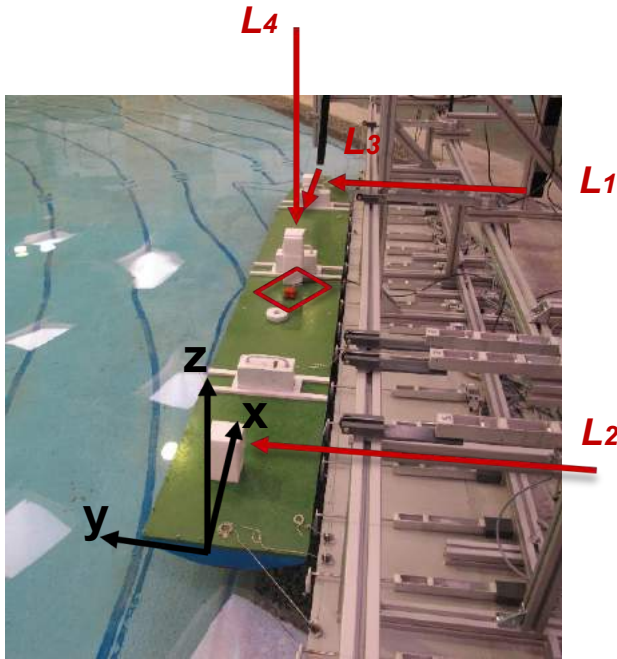


Sistema de medida de Movimientos

Ecuaciones 3D

Al distribuir los targets de manera estratégica sobre los ejes del buque se simplifican las ecuaciones y es posible determinar los tres desplazamientos del buque (Δx_G , Δy_G y Δz_G).

Sistema lineal de ecuaciones $\rightarrow$ Sistema compatible indeterminado. La información adicional mejora la precisión en el ángulo yaw mediante un proceso iterativo.



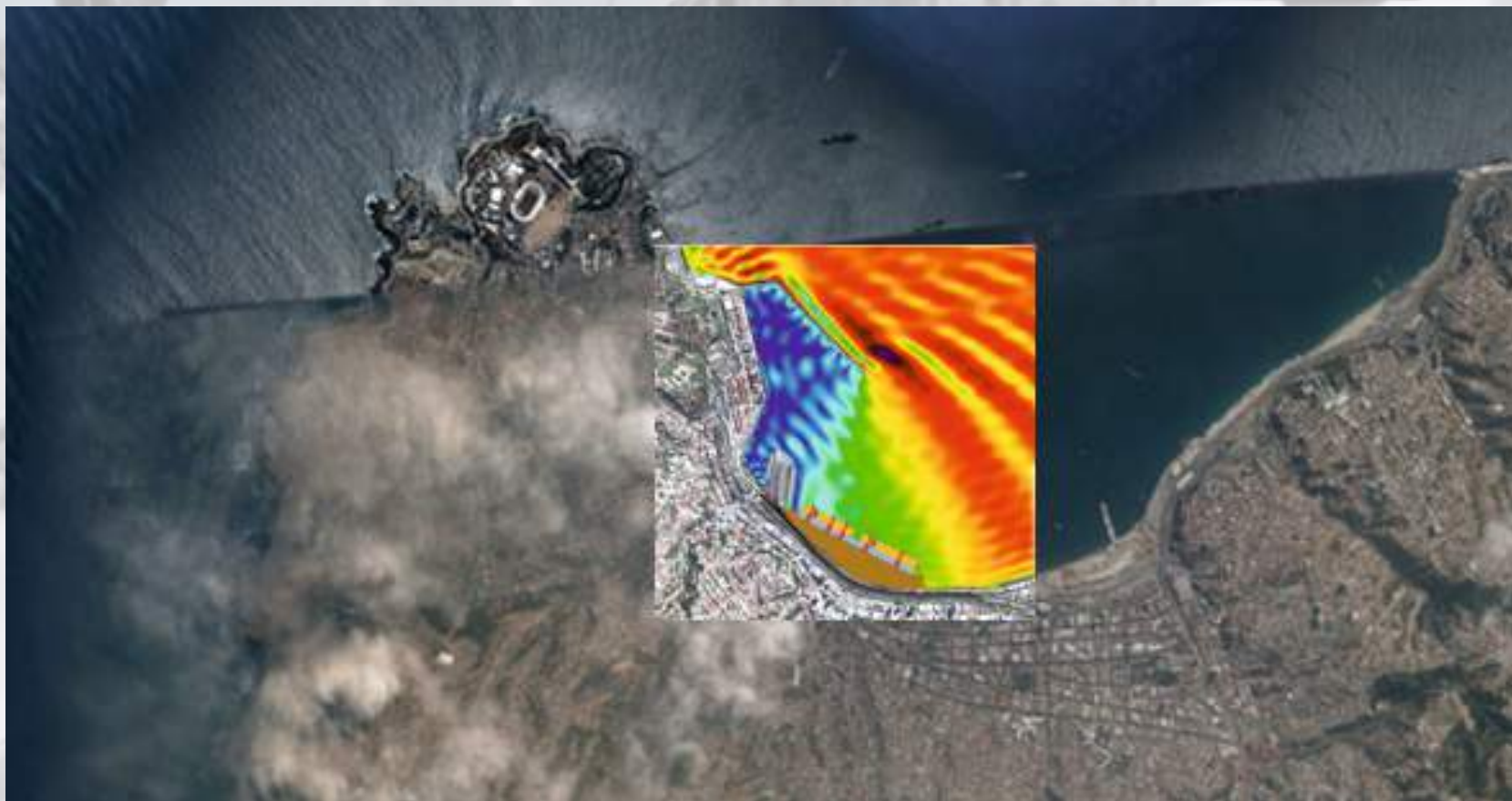
$$\Delta L_1 = \Delta y_G + (x_{l1} - \Delta x_G) \tan(\theta_z) - (z_{l1} - \Delta z_G) \tan(\theta_x)$$

$$\Delta L_2 = \Delta y_G - (x_{l2} + \Delta x_G) \tan(\theta_z) - (z_{l2} - \Delta z_G) \tan(\theta_x)$$

$$-\Delta L_3 = \Delta x_G + (z_{l3} - \Delta z_G) \tan(\theta_y) + \Delta y_G \tan(\theta_z)$$

$$-\Delta L_4 = \Delta z_G + \left[(z_{l3} - \Delta z_G) \tan\left(\frac{\theta_x}{2}\right) + \Delta y_G \right] \tan(\theta_x) + \left[(z_{l3} - \Delta z_G) \tan\left(\frac{\theta_x}{2}\right) + \Delta x_G \right] \tan(\theta_y)$$

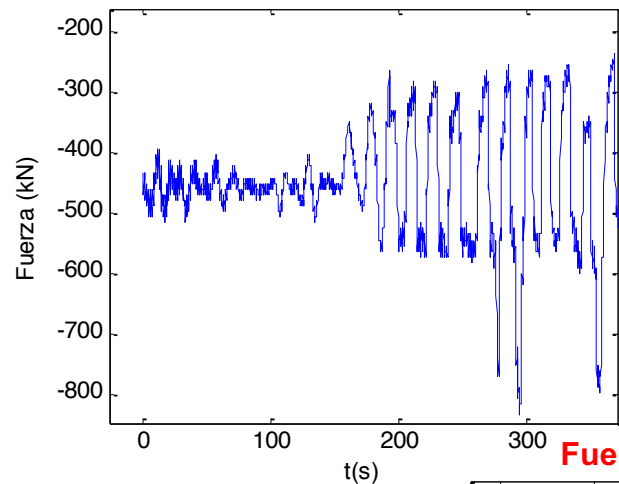
Resultados



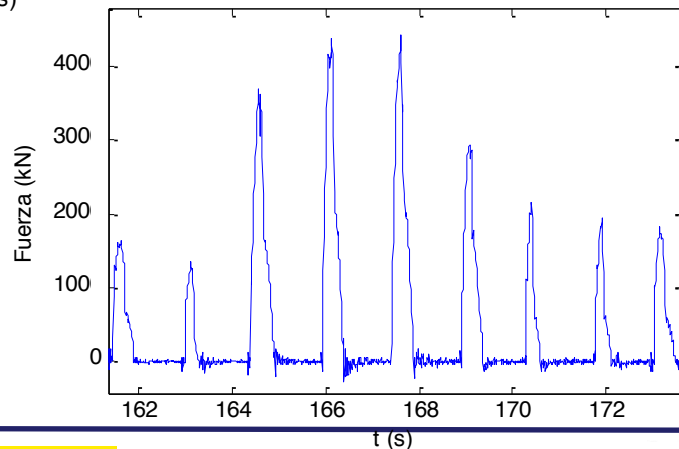
Resultados

Variables de estudio

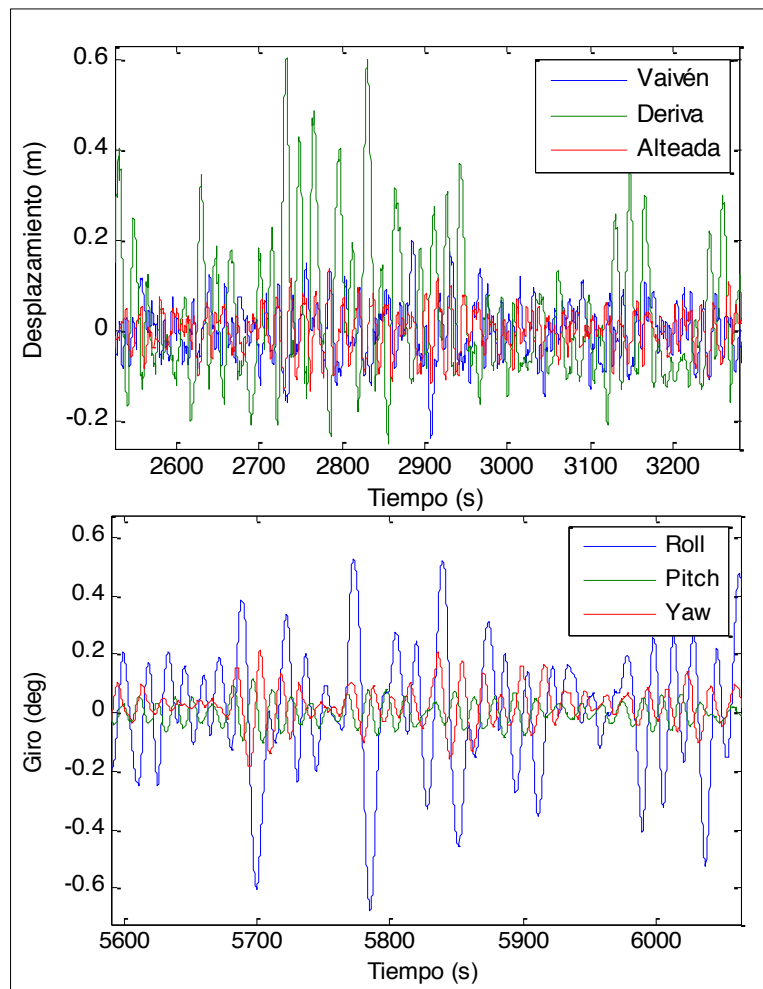
Fuerza en los bolardos



Fuerza en las defensas



Desplazamientos y giros del buque



Resultados

Tabla de resultados por Buque y Atraque

LIMITES OPERATIVOS PIANC (1195 y 2012)										ROTURA BOLARDO 1962 KN								TENSION MIN ROTURA (M.B.L) AMARRA 1138 Kn								ROTURA DEFENSA		
										Nº líneas de amarre por bolarlo								Carga de rotura								2855 KN		
										3 3 2 2 2 2 2 3								3414 3414 2276 2276 2276 2276 2276 3414										
100% Eficacia																												
50% Eficacia																												
Dx																												
Dy																												
Dz																												
0x																												
0y																												
0z																												
1.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												
0.8																												
1.2																												
6.0																												
2.0																												

Resultados

Resumen de resultados

Criterios PIANC para Eficiencia del 50%

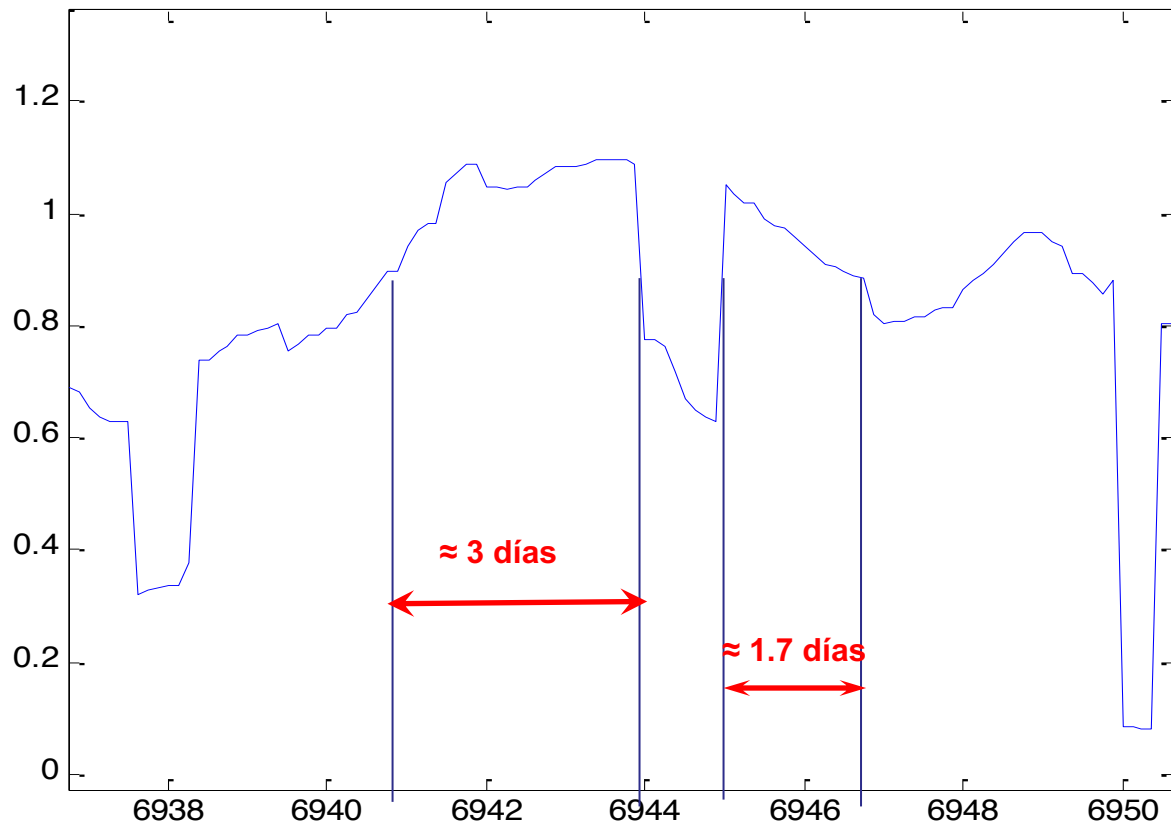
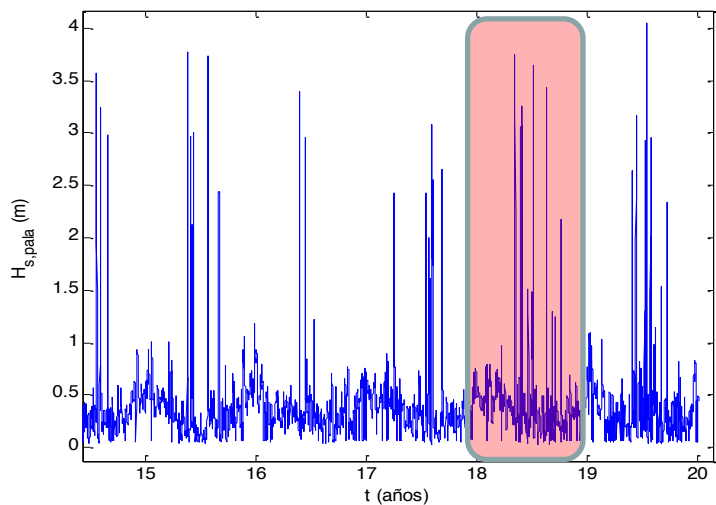
		Downtime
Escenario 1	Buque 367 m Sitio 10	4,2%
	Buque 210 m Sitio 9	0,3%
Escenario 2	Buque 210 m Sitio 10	2,1%
	Buque 367 m Sitio 9	1,4%
Escenario 3	Buque 400 m Sitio 10	2,2%
	Buque 400 m Sitio 10 con viento 9 m/s	2,4%
	Buque 300 m Sitio 9	1,0%
Escenario 4	Buque 400 m Sitio 9	0,8%
Ampliacion Muelle Oeste	Buque 367 m Sitio 10	4,2%
Dirección Oleaje 330º	Buque 367 m Sitio 10	10,8%
Escenario 6	Buque 367 m Sitio 10 Atrake optimizado	0,9%

Criterios PIANC para Eficiencia del 100%

		Downtime
Escenario 1	Buque 367 m Sitio 10	10,3%
	Buque 210 m Sitio 9	1,7%
Escenario 2	Buque 210 m Sitio 10	6,2%
	Buque 367 m Sitio 9	8,0%
Escenario 3	Buque 400 m Sitio 10	7,0%
	Buque 400 m Sitio 10 con viento 9 m/s	8,0%
	Buque 300 m Sitio 9	9,7%
Escenario 4	Buque 400 m Sitio 9	6,9%
Ampliacion Muelle Oeste	Buque 367 m Sitio 10	5,6%
Dirección Oleaje 330º	Buque 367 m Sitio 10	12,2%
Escenario 6	Buque 367 m Sitio 10 Atrake optimizado	5,5%

Interacción con el modelo de operación

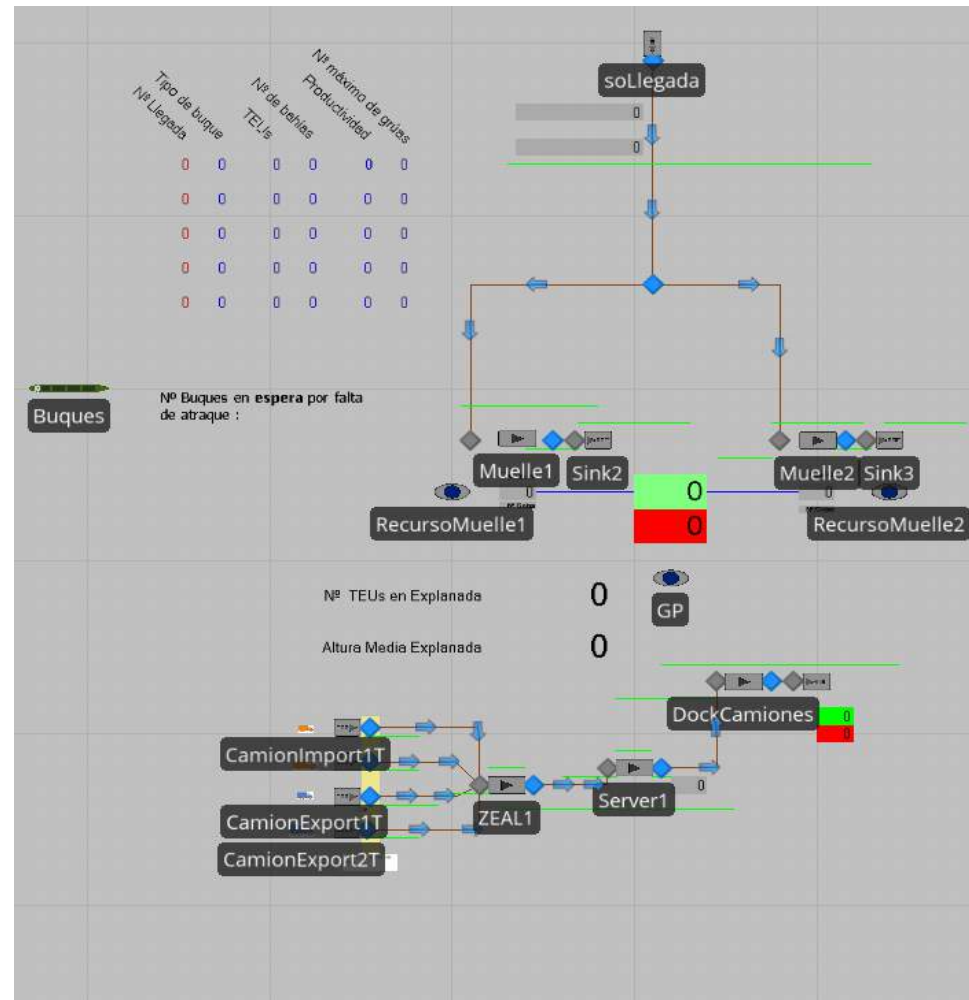
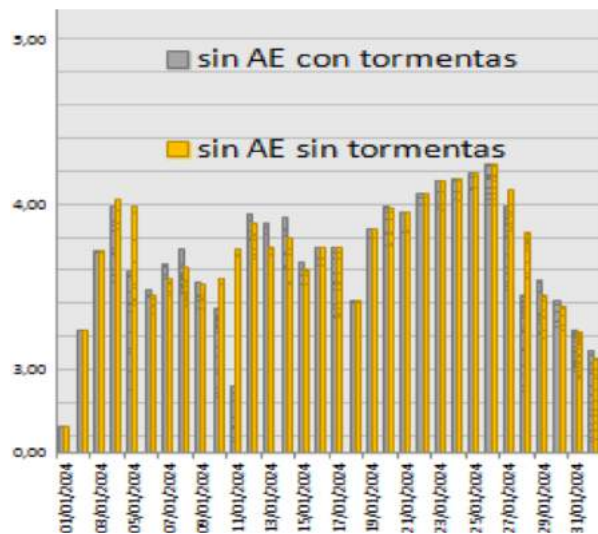
Caracterización de temporales en el año medio



Interacción con el modelo de operación

Simulation with Intelligent Objects:

- Downtime pesimista con persistencia de $T_p > 16$ s del 19% y direcciones $> 315^\circ$ del 7%
- Enero: 4 tormentas de 48h de media
- Abril: 2 tormentas de 24h de media
- Naves de 335, 367 y 220 m de eslora.
- Disponib. de sitio, bahías, grúas, puerta, etc
- Mes de Abril factor de punta 1,3
- Estancia contenedor normal 72h, punta 48h
- Altura media: 3,7 cont; punta 4,2 cont .



Conclusiones

Se ha estimado el *Downtime* de la Terminal, con valores de **parada total inferiores al 5% (pre-optimización)**.

Buques pequeños: Limitante el movimiento del buque.

Buques grandes: Limitante 100% efic. → Deriva

Limitante 50% efic. → Carga en traveses

Incidencia de los parámetros en el *Downtime* de la Terminal:

Influencia importante de la dirección del oleaje

Viento incrementa el *downtime* $\approx 1\%$

Nivel de marea tiene una influencia no significativa

Fuerte dependencia del periodo del oleaje T_P

Conclusiones

- No se mantiene la correlación a mayor buque, mayor downtime. Sistema amarra-buque-defensa complejo.
- La sustitución de los traveses más cortos por largos en el buque más crítico (367) ha supuesto una mejora sustancial de la operatividad.
- Poca sensibilidad de la operación a los temporales, debido al “pulmón” de la ZEAL y la posibilidad de sacar contenedores durante el temporal.
- Sensibilidad de la operación a la estacionalidad → Requiere coordinación comercial / logística para mantener estancia media de contenedor $\approx$ 2 días en temporada punta.

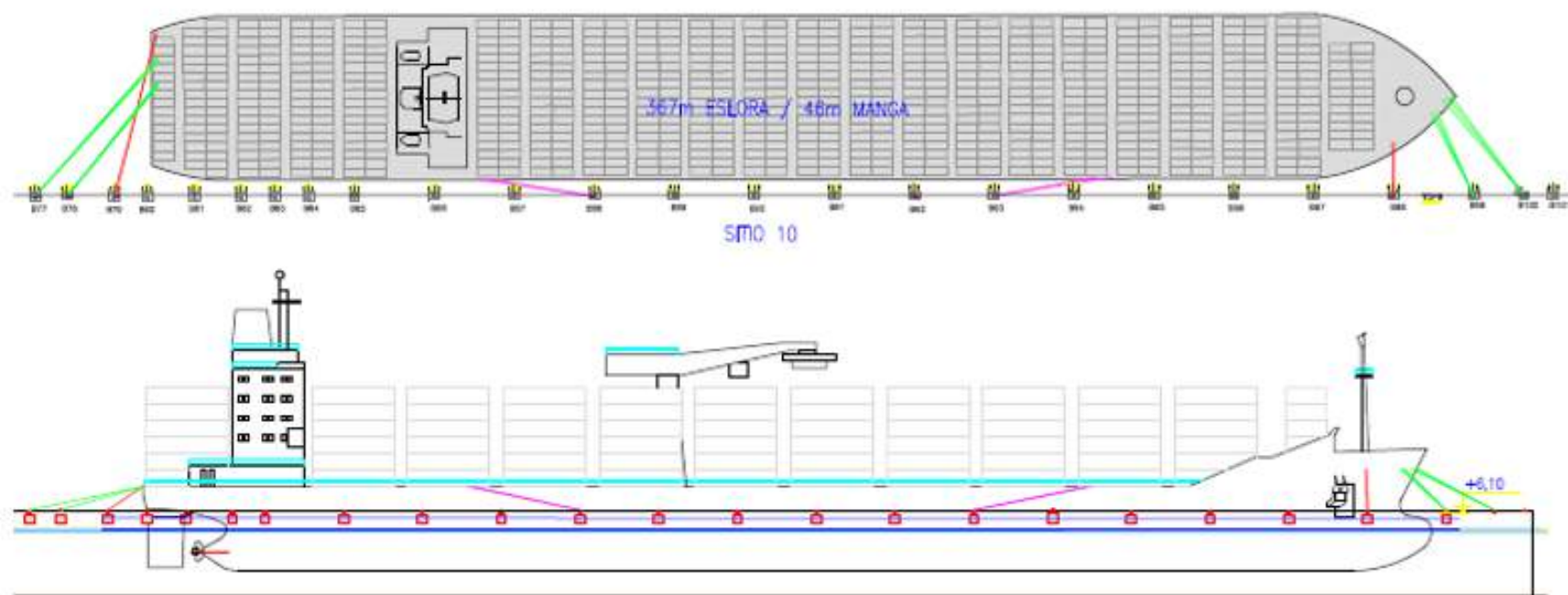
GRACIAS POR SU ATENCIÓN

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OPERATIVIDAD EN LA NUEVA
TERMINAL N°2 DEL PUERTO DE VALPARAÍSO (CHILE).

ENSAYOS DE BUQUE ATRACADO

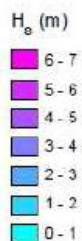
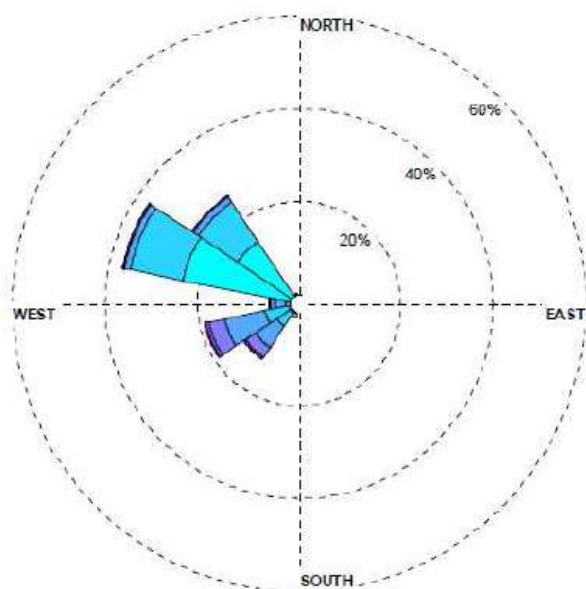
Apéndice

Esquema de amarre 367 optimizado sitio 10



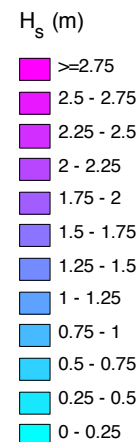
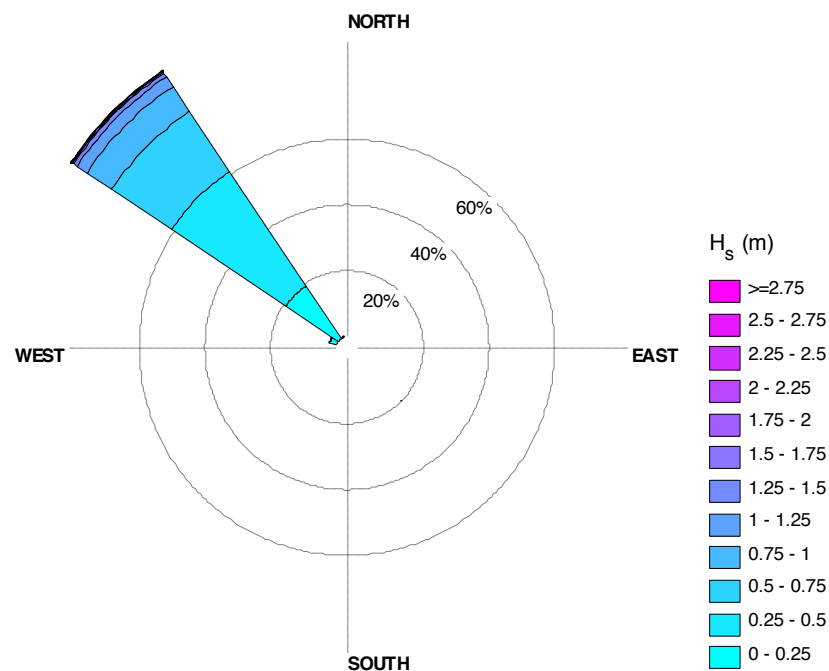
Apéndice

Rosa de Oleaje. Clima marítimo operacional en aguas profundas



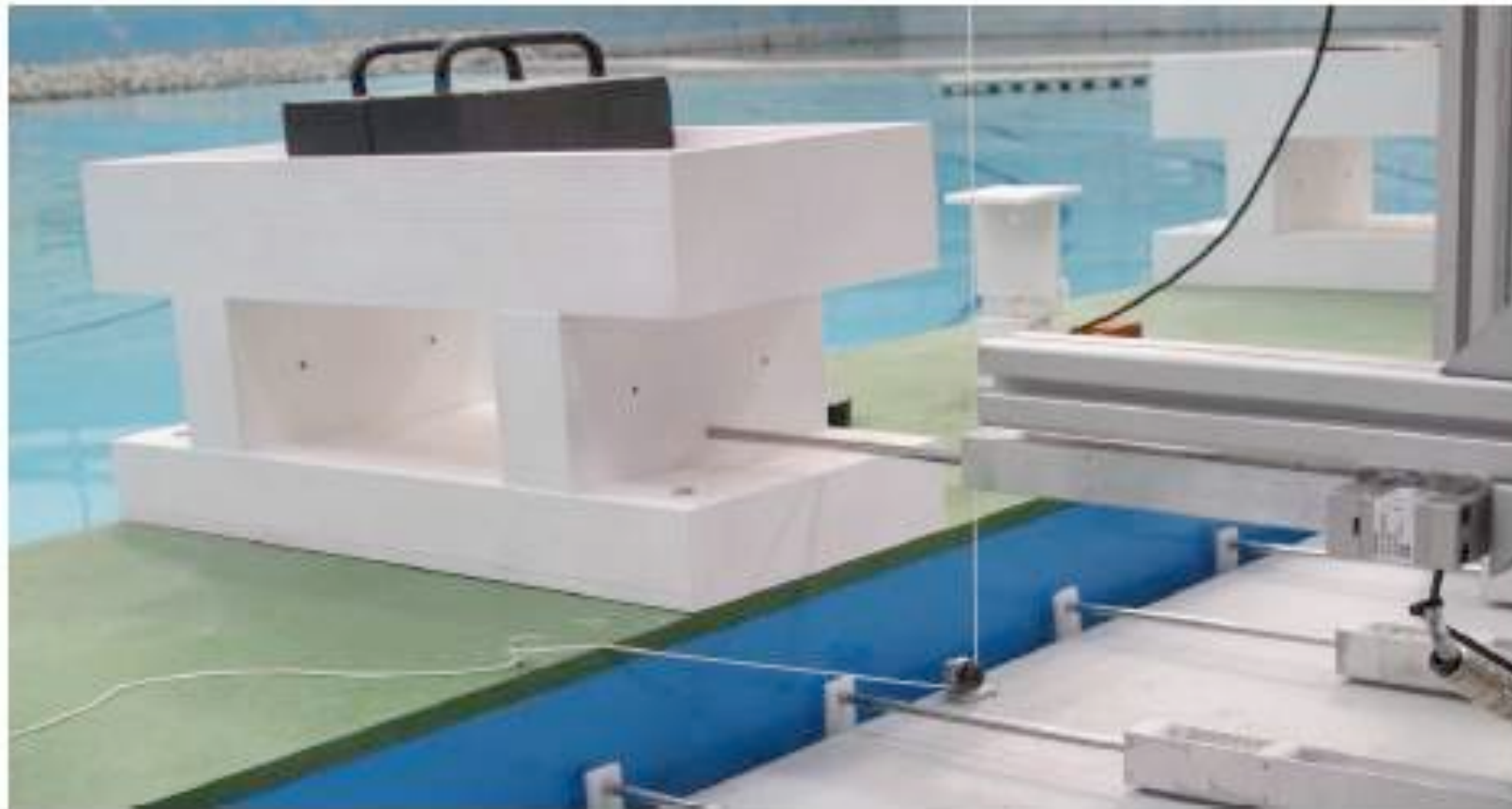
Dir	P (%)
SSW	1,16
SW	12,34
WSW	10,83
W	4,47
WNW	36,97
NW	25,88
NNW	0,31
N	0,04
	100,00

Rosa de Oleaje. Clima marítimo en zona de generación



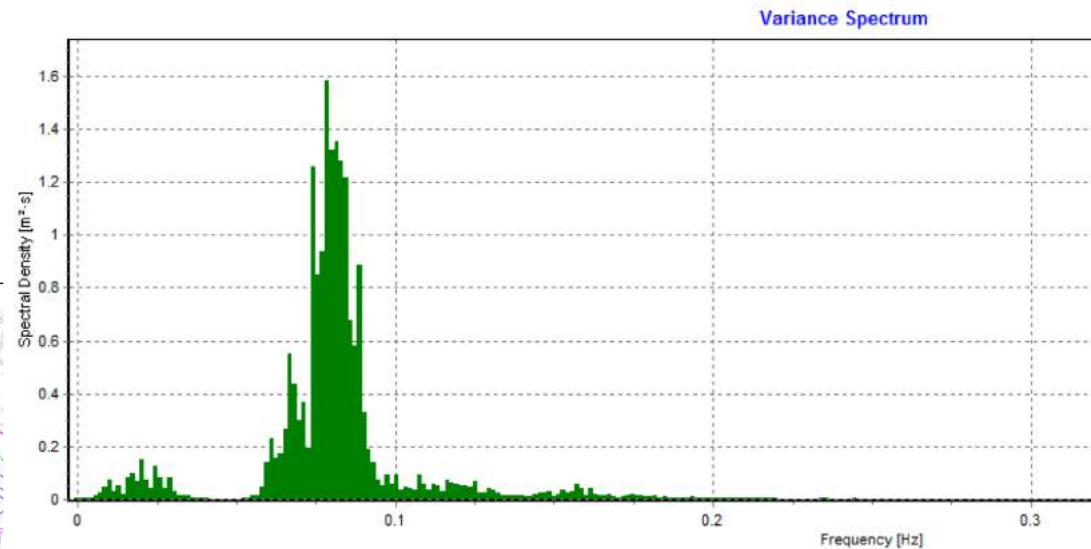
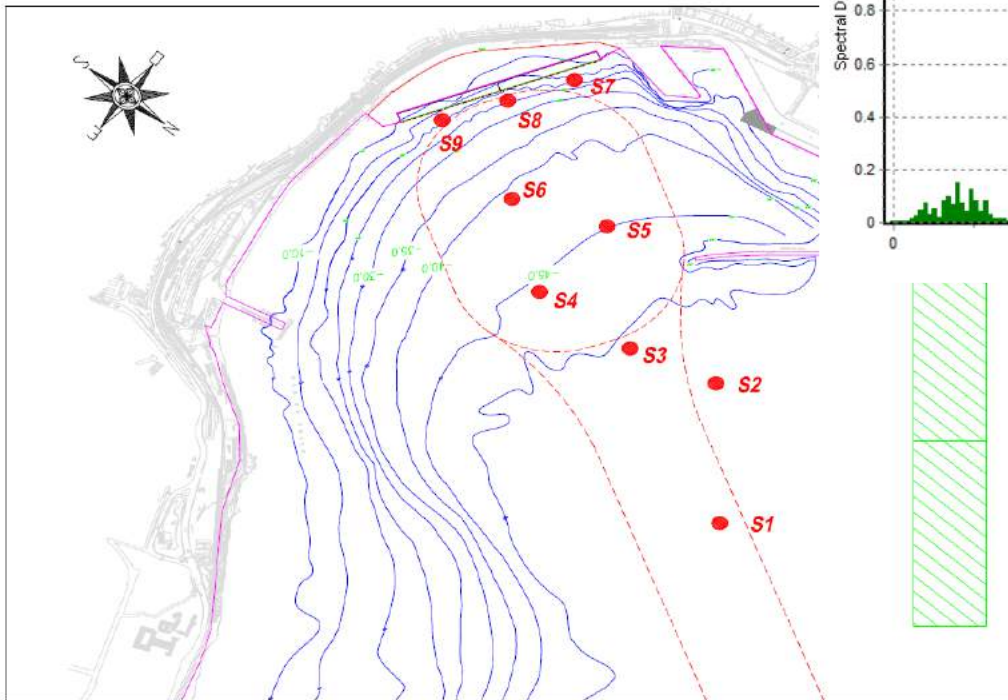
Apéndice

Implementación del viento



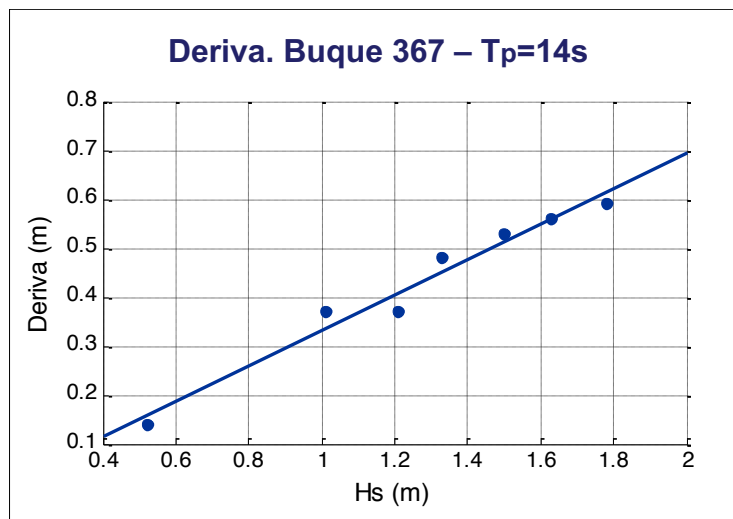
Apéndice

Onda Larga

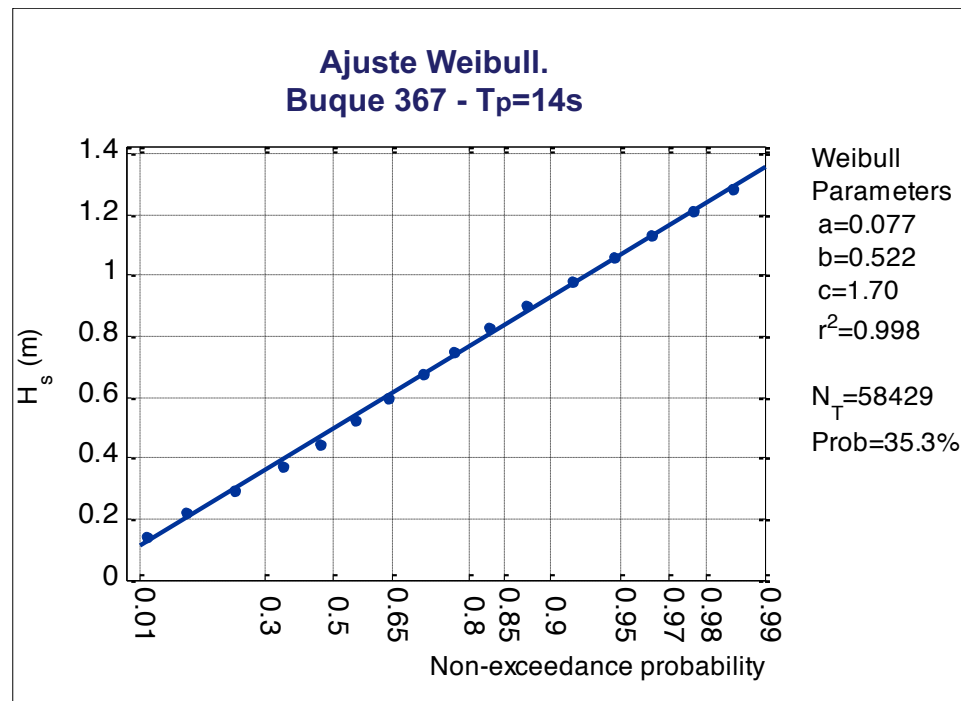


Apéndice

Downtime



$$Prob. presentación = \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right) P(cond)$$



Escenario	Tp (s)	Hs,critica en pala (movimientos o defensas/amarras)	Probabilidad de presentación (a partir del ajuste Weibull o del histograma)	Downtime (100% eficiencia)
1	12	2.23	0.00%	5.53%
2	14	1.21	0.86%	
3	16	0.75	4.67%	

Apéndice

Duración media de un evento (horas). Para periodos superiores a 14s

Hs (m)	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
0.5	62.635	58.925	44.783	46.253	25.843	29.662	13.140	23.138	22.176	32.518	40.344	58.186
0.6	52.458	51.007	36.282	34.000	14.163	19.885	2.620	4.711	6.137	21.845	24.224	49.911
0.7	47.324	43.297	27.225	23.077	8.933	10.317	1.171	0.691	2.869	11.422	14.936	40.477
0.8	41.655	37.028	21.197	15.824	5.223	5.829	0.581	0.348	0.826	5.764	11.653	29.625
0.9	34.463	28.568	15.114	10.604	2.988	3.801	0.283	0	0	2.640	9.382	21.842
1	24.457	19.841	11.187	6.721	0	2.560	0.030	0	0	0.704	4.041	16.015
1.1	16.431	13.340	7.443	5.295	0	2.048	0.005	0	0	0.441	2.195	12.165
1.2	9.683	8.788	5.269	4.209	0	1.450	0	0	0	0.145	0.811	9.405
1.3	5.297	6.229	4.140	3.158	0	0.835	0	0	0	0	0.152	6.124
1.4	3.220	4.820	2.700	1.346	0	0.519	0	0	0	0	0.053	4.223
1.5	1.423	3.690	1.289	0	0	0.388	0	0	0	0	0	2.549
1.6	0.802	2.799	0.174	0	0	0.254	0	0	0	0	0	1.474
1.7	0	1.423	0	0	0	0.052	0	0	0	0	0	0.568
1.8	0	1.025	0	0	0	0.038	0	0	0	0	0	0.236
1.9	0	0.580	0	0	0	0.024	0	0	0	0	0	0
2	0	0.459	0	0	0	0.014	0	0	0	0	0	0
2.1	0	0.274	0	0	0	0.003	0	0	0	0	0	0
2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0