

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OPERATIVIDAD EN LA NUEVA TERMINAL Nº2 DEL PUERTO DE VALPARAÍSO (CHILE). ENSAYOS DE BUQUE ATRACADO

E. Ripoll<sup>a</sup>, F. Rodríguez<sup>a</sup>, D. Moreno<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Hidrodinámica Aplicada, Ronda Can Fatjó nº 8, Cerdanyola del Vallès, 08290, (eripoll@inha.com.es) (frodriquez@inha.com.es)

<sup>b</sup> TCVAl, Grupo OHL. Errázuriz nº755. Valparaíso. Chile (dmoreno@tcval.cl)

## INTRODUCCIÓN

El grupo OHL ha resultado adjudicatario para la construcción y explotación de una nueva terminal de contenedores situada en el Puerto de Valparaíso (Chile), uno de los más importantes de Sudamérica. El puerto actual se encuentra protegido por un dique que abriga parcialmente la nueva terminal portuaria, con lo que se hace muy necesario validar y optimizar la operatividad de dicha terminal.

Los modelos numéricos aún no son capaces de estimar de forma precisa el comportamiento del buque atracado. Un buque amarrado constituye un sistema dinámico complejo, cuyo comportamiento viene condicionado por el oleaje, por el sistema de amarras, por las defensas, por el propio buque, etc. Con el fin de analizar el comportamiento del buque y estudiar la operatividad de la terminal de forma más precisa, es conveniente la realización de ensayos en modelo físico de movimiento de buques atracados, los cuales son objeto del presente artículo.

## ENSAYOS EN MODELO FÍSICO

Los ensayos se han realizado en la piscina de oleaje de INHA, la cual tiene unas dimensiones de 28m x 23m x 1.2m. La modelización se realizó de acuerdo a la ley de semejanza de Froude, a una escala de 1:125 sin distorsión. Las escalas típicas para este tipo de estudios se encuentran entre 1:80 y 1:150 (Hughes 1993), por lo que la escala escogida se considera adecuada.

Las condiciones de oleaje ensayadas en este estudio incluyen dos direcciones, dos periodos de pico y unas alturas de ola comprendidas en el rango 0.5 – 3.0 m. Inicialmente se realizaron ensayos de agitación y posteriormente se llevaron a cabo los ensayos de buque atracado en los que se han medido: fuerzas en amarras, reacciones en defensas, tiro en bolardos y movimientos del buque. El modelo numérico “*Ship Moorings*” ha sido utilizado como método de contraste. En la Figura 2 se observa el *set-up* que se ha reproducido en el modelo.

## Buques, sistemas de amarre y sistema de adquisición de datos

Se han ensayado un total de 4 buques portacontenedores de distintas características, que han sido construidos “*ad hoc*”, utilizando las técnicas típicas de Ingeniería Naval. Los 4 buques ensayados cuentan con esloras de 210, 301, 367 y 400 m. Cabe destacar que se ha ensayado un buque de la clase Maersk Triple E, actualmente el mayor portacontenedores del mundo.

Para modelizar la curva de tensión-deformación de las amarras se ha utilizado un sistema dual de muelles de diferentes rigideces, de forma que es posible reproducir el comportamiento no lineal de las amarras. Para el sistema de defensas, se ha optado por aproximar su respuesta mediante una curva de compresión lineal, no considerando el pandeo que se produce en la defensa ante cargas elevadas.

## Sistema de medida de movimientos y fuerzas

Usualmente, el movimiento de los buques se obtiene mediante fotogrametría digital con un conjunto de cámaras de infrarrojos. En contraposición a esta técnica, se ha utilizado un sistema mixto compuesto por una IMU (Unidad de Medición Inercial), 4 emisores-receptores láser para medir distancias y un software especializado de elaboración propia.

En un sistema óptico tradicional se registra la trayectoria de un punto (o conjunto de puntos) mientras que en con esta tipología cada uno de los láseres mide la distancia hasta un target.

Distribuyendo los targets de manera estratégica, se pueden obtener los 6 movimientos del buque (3 movimientos y 3 giros) resolviendo un sistema lineal de ecuaciones. Para ello, se utiliza una formulación para el caso general en 3D. A efectos conceptuales, en la Figura 1 se muestra la formulación para un caso en 2D, presentando el desplazamiento registrado por el láser cuando el objeto gira sobre el punto G. En este caso, el ángulo que ha girado el objeto queda definido de forma implícita.

$$\Delta x_{laser} = \left( z_A - x_A \tan \frac{\theta}{2} \right) \tan \theta$$

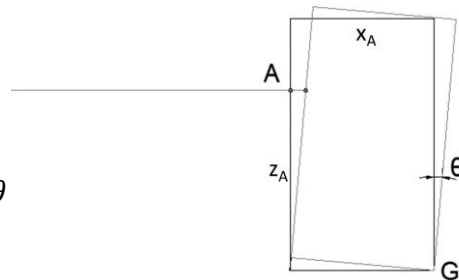


Figura 1. Ejemplo 2D del funcionamiento del láser. El objeto gira  $\theta$  grados respecto G.

Por su parte, las fuerzas en amarras, defensas y bolardos se han registrado mediante células de carga (*extensómetros*), como es habitual en este tipo de ensayos.

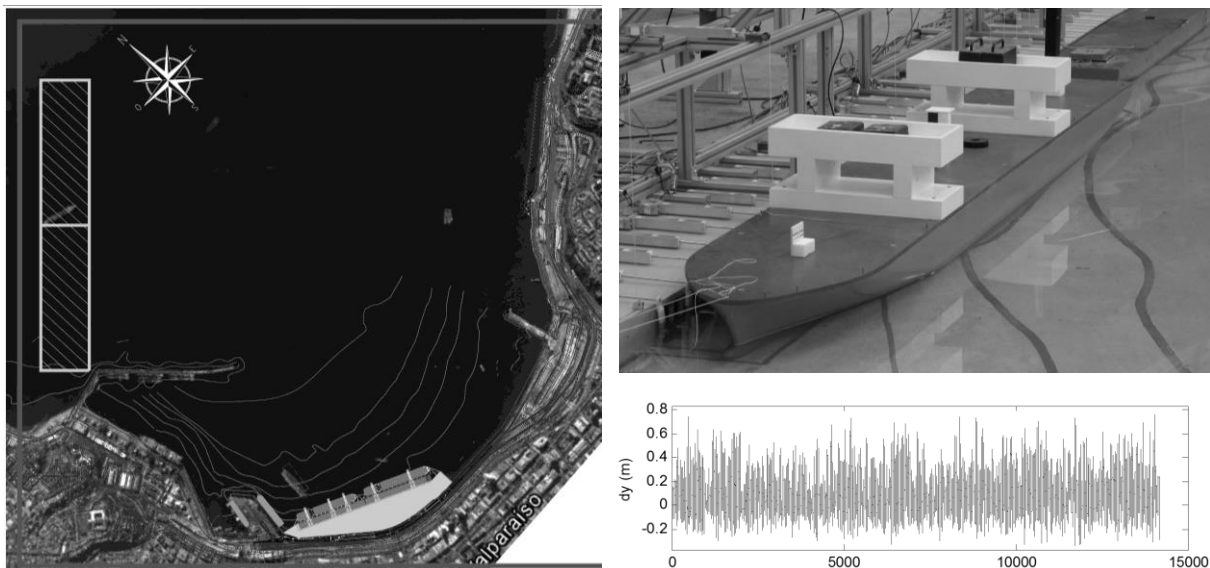


Figura 2. Lay-out del modelo ensayado. Buque Triple E en modelo. Resultados de la deriva.

## CONCLUSIONES

Se han ensayado los estados de mar más representativos y se han medido los 6 grados de libertad del buque, así como las fuerzas en amarras, defensas y bolardos. Asimismo, se ha introducido un sistema novedoso para obtener los movimientos del buque, que se presenta como alternativa a los sistemas ópticos tradicionales de cámaras infrarrojas. Con todo ello, se han podido optimizar los atraques y finalmente obtener la operatividad o *downtime* de la terminal.

## REFERENCIAS

- Hughes S. A, 1993. Physical models and laboratory techniques in coastal engineering. Advanced series on ocean engineering. Vo. 7. Singapore: World Scientific.
- OCIMF. 1978. Guidelines and recommendations for the safe mooring of large ships at ports and sea islands. Oil Companies International Marine Forum. London.
- Redondo, L., Baonza, A., Guitierrez, R. Ensayos de barcos atracados en modelo físico a escala reducida. *Ingeniería Naval* 2010, pp 195-209
- PIANC. Criteria for movements of moored ships in harbours. Report of Working Group 24. Supplement to Bulletin 88, 1995.