

## AVANCES EN EL MODELADO TRIDIMENSIONAL DE LA INTERACCIÓN DEL OLEAJE CON ESTRUCTURAS: APLICACIONES INNOVADORAS

Javier L. Lara, Iñigo J. Losada, Gabriel Barajas, María Maza, Francisco Fernández Jaime, María. F. Álvarez de Eulate

*Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Avda. Isabel Torres, 15, Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, 39011, Santander, España.*  
[jav.lopez@unican.es](mailto:jav.lopez@unican.es)

### INTRODUCCIÓN

Los grandes retos a los se está enfrentando la ingeniería marítima, tanto costera como offshore en los últimos años, ha producido un cambio en los métodos de análisis de la interacción del oleaje con estructuras. A los métodos tradicionales basados en ensayos de laboratorio, se ha incorporado el análisis mediante simulaciones numéricas de alta resolución. Estos métodos son capaces de complementar a los primeros en la determinación del comportamiento hidráulico de las estructuras, aportando información muy valiosa tanto en la etapa de pre-diseño, diseño u optimización de las mismas. Esto ha sido posible debido al avance de las técnicas computacionales desarrolladas principalmente en la última década, donde tanto el rendimiento de los equipos de cómputo como el acceso a los mismos, se ha visto incrementado exponencialmente. Así mismo, ha existido un gran avance científico y metodológico para incorporar en las herramientas numéricas los procesos fundamentales de transformación del oleaje en su interacción con estructuras. Paralelamente a esto, se han ejecutado campañas de validación de las herramientas para diferentes tipologías de estructuras con el fin de asegurar la fiabilidad de los resultados numéricos. El objetivo final de la incorporación de las herramientas numéricas, tiene como objetivo finalista disminuir la incertidumbre en el diseño final, mediante la obtención de un conocimiento más exhaustivo de los procesos de interacción del oleaje con estructuras.

A modo de ejemplo, cabe destacar como Puertos del Estado en su Atlas de Diques de Abrigo, años 1986-2011, contempla el modelado numérico como un método de diseño independiente para las estructuras de abrigo, junto con los métodos tradicionales basados en modelado físico en laboratorio y formulaciones matemáticas, extraídas principalmente de ensayos en laboratorio. Esto fue posible gracias al desarrollo de una herramienta numérica denominada MARIFE para el análisis de estructuras de abrigo tradicionales, dentro de un convenio de colaboración entre Puertos del Estado y la Universidad de Cantabria. Paralelamente, se diseñó una campaña de ensayos de validación de la misma. Futuros desarrollos del modelo MARIFE desencadenaron una herramienta mucho más flexible denominada IH2VOF ([ih2vof.ihcantabria.es](http://ih2vof.ihcantabria.es)) que es capaz de estudiar la interacción bidimensional del oleaje con cualquier tipo de estructura, tanto convencional como no convencional. Ésta ya ha sido transferida por el Instituto de Hidráulica Ambiental "IHCantabria" de la Universidad de Cantabria a más de 20 países y 50 instituciones y empresas líderes en el sector.

En los últimos años, se están incorporando al sector modelos más sofisticados que resuelven aspectos tales como la tridimensionalidad de los procesos o las interacciones no lineales del flujo con las estructuras marítimas, con el fin de dar respuesta a las necesidades impuestas por los nuevos retos. Dentro de estos modelos, IHCantabria desarrolló el modelo IHFOAM ([ihfoam.ihcantabria.com](http://ihfoam.ihcantabria.com)), que contempla dichos aspectos. El modelo que cuenta con más de 500 usuarios, ha sido igualmente transferido a más de 15 países y está siendo usado para el diseño de estructuras. Aunque estos modelos están ya implantados en el proceso de diseño, se siguen desarrollando para abaratar su coste de uso y mejorar las prestaciones de uso y aplicabilidad. Dentro de este marco de actuación se presenta este trabajo.

## IHFOAM

IHFOAM es un modelo desarrollado en IHCantabria orientado al estudio tridimensional de la interacción flujo-estructura. IHFOAM resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds en tres dimensiones para dos fases mediante volúmenes finitos. En caso de contar con medios porosos, resuelve las llamadas ecuaciones VARANS (Volume-Averaged/Reynolds-Averaged Navier-Stokes), que promedian volumétricamente dichas zonas, como las zonas con materiales sueltos como escolleras o piezas artificiales. El modelado de la superficie libre se lleva a cabo mediante la técnica VOF, lo que permite la caracterización de configuraciones de oleaje muy complejas. El modelo ha sido ampliamente validado y sus resultados se han contrastado con medidas en laboratorio.

Esto hace que se pueda usar el modelo IHFOAM para la resolución de problemas reales, asegurando la fiabilidad de los resultados. Sus capacidades cubren la simulación tanto en escala de laboratorio como en escala de prototipo, en la que a día de hoy se ha llegado a calcular dominios del orden de  $1 \text{ km}^2$ .

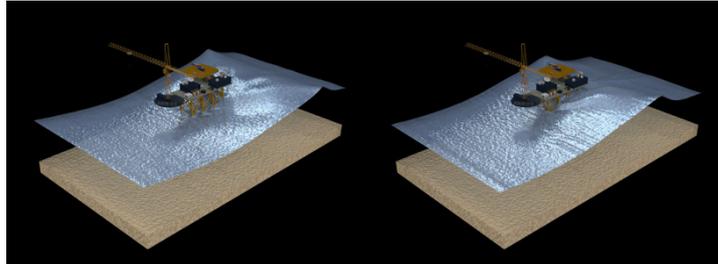


Figura 1. Simulación de oleaje y corriente interaccionando con una estructura offshore, tipo jacket.

## APLICACIONES

Los últimos desarrollos recogidos en la última versión del modelo, y que se presentarán en la ponencia se centran en tres aspectos: incorporación de nuevos procesos, desarrollos metodológicos para aumentar su aplicabilidad y validación en nuevas aplicaciones.

En el primero, se presentan los nuevos procesos que se han incorporado en el modelado como la interacción del oleaje y corriente (ver figura 1), nuevas condiciones de absorción en los contornos, modelado de la vegetación y efecto combinado del viento y oleaje.

En el caso de los desarrollos metodológicos, se presentarán técnicas para reducir su coste computacional basadas en el acoplamiento con otros modelos para la resolución de problemas de manera más eficiente. Se mostrarán aplicaciones donde se usan modelos más simplificados, como el IH2VOF, en zonas donde la tridimensionalidad no es importante, y que posteriormente se acoplan con el modelo tridimensional.

En el caso de las nuevas aplicaciones, se mostrarán ejemplos de diseño de estructuras costeras tradicionales en diversas fases de la vida útil (cajones en diques verticales, figura 2 derecha) y diques en talud con alta tridimensionalidad (figura 2 derecha). Se mostrarán también aplicaciones para estructuras offshore (figura 1).

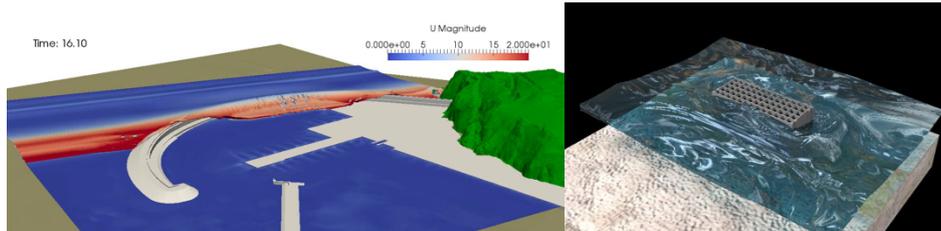


Figura 2 Izquierda: Simulación de rebase en un dique con gran influencia de la tridimensionalidad. Derecha: Análisis de las cargas sobre un cajón fondeado.