

CFD, computational fluid dynamics, en ingeniería de costas

Objetivo del proyecto

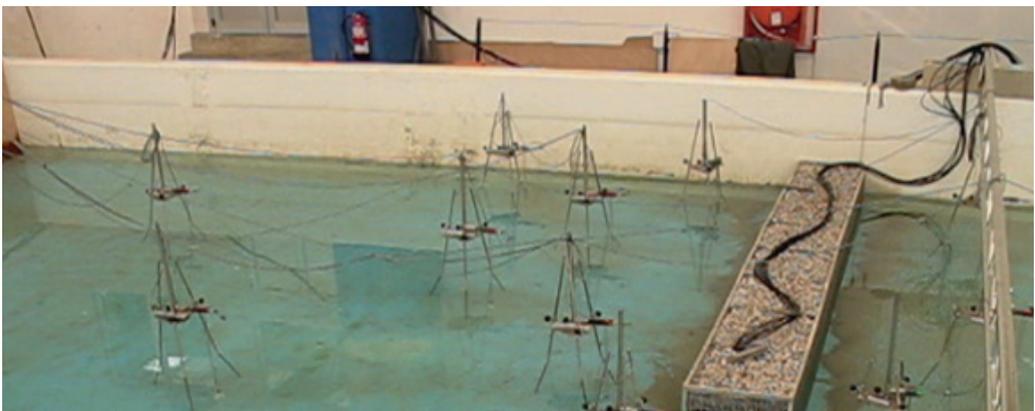
La ingeniería de costas es la disciplina que se encarga del estudio de los fenómenos y procesos que tienen lugar en la zona costera para, a partir de su conocimiento y caracterización, permitir la modificación de la misma adaptándola a las necesidades de los distintos usos que en ella puedan implementarse.

El dominio de interés de la ingeniería costera abarca desde los procesos de generación del oleaje, hasta el momento en que el oleaje impacta con las estructuras de la costa, sean estas naturales o artificiales, pasando por todas las modificaciones que sufre el oleaje en su viaje desde su génesis hasta la costa. La tesis doctoral de Manuel del Jesus Penil se ha centrado en la modelización tridimensional de la interacción del oleaje con estructuras costeras, es decir, en la última etapa de evolución del oleaje cuando éste impacta con las estructuras disipando parte de su energía y reflejando el resto.

La interacción ola-estructura puede estudiarse mediante distintos métodos y modelos. Desde el uso de ecuaciones semi-empíricas para la previsión de acciones sobre las estructuras en función del oleaje incidente, pasando por modelos lineales (ecuaciones de la pendiente suave) y no lineales ("non-linear shallow water equations" y modelos de

Boussinesq) integrados en vertical, hasta llegar al uso de las ecuaciones de Navier-Stokes.

El problema del estudio de la interacción del oleaje con estructuras radica en que escalas muy distintas interactúan unas con otras de manera no lineal haciendo muy compleja la previsión de las acciones resultantes, sean estas la fuerza actuante sobre la estructura o la cantidad de agua que superará la cota de coronación de la estructura durante un evento de rebase, a partir de modelos sencillos que reciban como parámetros las acciones incidentes. Las ecuaciones de Navier-Stokes permiten capturar toda la complejidad resolviendo los procesos básicos que tienen lugar en las pequeñas escalas del flujo (advección, difusión, turbulencia, etc) y mediante su simulación en las geometrías reales de las estructuras, de esta forma se reproducen los fenómenos de macroescala que afectan al oleaje (rebase, fuerzas sobre las distintas piezas, etc).



El momento del impacto del oleaje contra las estructuras costeras, es uno de los fenómenos de estudio en ingeniería de costas.

La resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes tan sólo es posible, para casos realistas, mediante la utilización de métodos numéricos, aplicando la que se conoce como Dinámica de Fluidos Computacional (CFD por sus siglas en inglés). Como resultado de la tesis doctoral expuesta, se ha desarrollado el modelo IH-3VOF, un modelo numérico en que se implementan una variación de las ecuaciones de Navier-Stokes, las ecuaciones de Navier-Stokes con promediado espacial y de Reynolds (VARANS por sus siglas en inglés). Dichas ecuaciones, en la nueva forma en que han sido formuladas en la tesis doctoral, permiten resolver el flujo en medios porosos y en las interfaces entre el medio poroso y la zona de flujo libre, condición "sine qua non" en ingeniería de costas en donde gran parte de las estructuras de protección son permeables.

El modelo IH-3VOF resuelve las ecuaciones VARANS en dominios tridimensionales, haciendo uso de mallas "collocated" (en las cuales tanto velocidades como presiones se calculan en el centroide de la celda) tanto estructuradas como no estructuradas. El modelo implementa el método de Rhie-Chow para la interpolación de las velocidades, asegurando un fuerte acoplamiento entre la solución de presiones y velocidades. IH-3VOF hace uso de la técnica VOF, Volume-of-fluid, para tratar flujos multifásicos (requiriendo únicamente que las diferentes fases sean inmiscibles y sus densidades difieran notablemente) y para hacer un seguimiento de la posición y evolución de la superficie libre. Las ecuaciones se discretizan de manera explícita en el tiempo y se usan esquemas "upwind" en los términos advectivos para asegurar la estabilidad. Las ecuaciones se resuelven por el método en dos pasos, haciendo uso del método FGMRES, Flexible Generalized Minimum Residual, para la inversión de la matriz del paso de proyección.

Una vez desarrollado el modelo, este hubo de ser validado, comparando sus previsiones con las mediciones realizadas en distintos experimentos llevados a cabo en el canal y en el tanque de oleaje de la Universidad de Cantabria. Las comparaciones incluyeron tres tipos de medidas distintas:

- Medidas de elevación de la superficie libre en distintos puntos alrededor de la estructura.
- Medidas de las presiones desarrolladas en las distintas caras de las estructuras.

Curriculum Vitae del investigador

Manuel del Jesus Peñil es Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos con un Máster en Ingeniería de Puertos y Costas. Tesis doctoral "Three-dimensional analysis of surface water waves interaction with coastal structures".

Actualmente es Investigador Postdoctoral Visitante en el departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Princeton. También ha trabajado como Profesor del Máster en Ingeniería de Puertos y Costas y del Máster de Gestión Integrada de Zonas Costeras del Instituto de Hidráulica Ambiental "IH Cantabria", para el que sigue trabajando actualmente.

Fue galardonado con el Premio extraordinario fin de carrera por la Universidad de Cantabria en el curso 2005-2006, además de ser Premio al mejor estudiante de intercambio otorgado por la Fundación de la "École Nationale des Ponts et Chaussées", Paris, Francia durante el curso 2004-2005. Asimismo posee 10 publicaciones, 2 publicaciones en Coastal Engineering, una en Journal of Applied Mathematics y 7 Proceeding de Congresos derivadas del trabajo de su tesis doctoral.

- Medidas de PIV, Particle Image Velocimetry, técnica que utiliza el láser para medir la velocidad del flujo, que se realizaron para el caso del canal de oleaje.

Durante esta fase crucial, las simulaciones numéricas se llevaron a cabo en Caléndula, el superordenador de SCAYLE. Las simulaciones numéricas realizadas para la validación del modelo utilizaban dos mallas; una para el canal de oleaje de 4 millones de elementos y otra para el tanque de oleaje con 12 millones de elementos. Las simulaciones de 1 minuto de flujo requerían del uso de 64 y 256 cores respectivamente durante 5 días. Cada simulación generaba entre 50Gb y 100Gb de información, que había de ser posteriormente post-procesada para finalmente comparar los resultados numéricos con los experimentos del laboratorio.

El resultado final es el modelo IH-3VOF, que

implementa unas nuevas ecuaciones VARANS, que permite el estudio de la interacción de distintos tipos de oleajes con estructuras costeras, sean estas porosas o impermeables, y que constituye una herramienta de gran valor tanto para su aplicación en problemas de investigación como para el estudio de estructuras reales durante su fase de diseño.

Financiación

La Tesis Doctoral forma parte del programa de becas FPU (Formación de Profesorado Universitario) del IH Cantabria dentro del proyecto MOTIOM BIA2008-06044 del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 financiadas por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Participación de SCAYLE

Las técnicas de CFD para grandes dominios tridimensionales, como es el caso de la ingeniería de costas, tan sólo pueden ser utilizadas haciendo uso de grandes cantidades de recursos computacionales. Para permitir la mejor explotación de los recursos disponibles IH-3VOF implementa la posibilidad de ejecutar en paralelo haciendo uso de las librerías MPI. Dicha característica es esencial ya que sin el acceso a un superordenador, no podrían resolverse las ecuaciones de Navier-Stokes en los dominios requeridos y por tanto el problema habría

de simplificarse para permitir su tratamiento mediante técnicas más simples.

Con Caléndula, se aporta la potencia de cálculo necesaria para resolver el flujo bajo distintas condiciones en problemas de interacción flujo estructura. Dichos experimentos están orientados a la validación de unas nuevas ecuaciones, propuestas en la tesis doctoral y basadas en las ecuaciones de Navier-Stokes, que permiten la resolución de una manera más fiable del flujo en estructuras costeras permeables. Cada una de estas simulaciones hacía uso de entre 64 y 256 cores de cálculo durante 3 días para poder simular alrededor de medio minuto. Para poder validar el modelo fueron necesarios unos 40 experimentos distintos.

Mediante el uso de Caléndula se perfeccionó el modelo de interacción flujo estructura desarrollado durante la tesis doctoral, IH-3VOF, validando las ecuaciones y permitiendo mostrar el enorme potencial del nuevo modelo simulando los principales procesos de interés en la interacción del oleaje con estructuras costeras.



El momento del impacto del oleaje contra las estructuras costeras, es uno de los fenómenos de estudio en ingeniería de costas.