

# ANÁLISIS CON OPENFOAM PARA LA SIMULACIÓN DE UNA BOYA CILÍNDRICA DE UN DISPOSITIVO CONVERTIDOR DE ENERGÍA DE OLEAJE REGULAR DE BAJA POTENCIA

Carlos Sosa<sup>1</sup>, Rodrigo Patiño<sup>1</sup> e Ismael Mariño-Tapia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CINVESTAV - Unidad Mérida, carlos.sosa@cinvestav.mx, rodrigo.patino@cinvestav.mx

<sup>2</sup> ENES-Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, imarino@enesmerida.unam.mx

## Resumen

Para el desarrollo de dispositivos convertidores de energía de oleaje (CEOs), las herramientas de dinámica computacional de fluidos, CFD (Computational Fluid Dynamics), juegan un papel muy importante en el ahorro de tiempo y costos (Astariz et al., 2015). Los modelos CFD permiten probar el diseño de dispositivos y adaptarlos, sin necesidad de grandes inversiones. El programa de código abierto OpenFOAM (OpenSource Field Operation And Manipulation) es un código CFD ideal para esta actividad, pues permite la modelación de ambos, el dispositivo y su interacción con el oleaje (The open source CFD toolbox, 2018). Sin embargo, incluir la simulación del movimiento del dispositivo, y su interacción con el fluido, puede ser un proceso bastante complejo (Chow et al., 2018). En este trabajo, se utiliza OpenFOAM para probar el funcionamiento de un CEO tipo absorbedor puntual, con una boya como componente principal, la cual se espera que alcance la frecuencia natural de las olas para una eficiente absorción de energía (Henriques et al., 2016). Se requiere del conocimiento de las leyes físicas que gobiernan tanto al fluido como al objeto en cuestión. Lo anterior deriva a uno de los principales problemas previos al análisis, que consiste, además de la elección del tamaño del dominio y su resolución espacial, en la adecuada selección de ciertos coeficientes para una correcta deformación de la malla.

En este trabajo se realizaron una serie de simulaciones de oleaje regular con altura de ola de 1.0 m y periodos de 4 s y 8 s para analizar el efecto en la potencia generada con boyas de diferentes radios ( $R = 0.1, 0.25, 0.5, 1.0$  y  $1.5$  m). Como paso inicial se realizó un análisis de sensibilidad considerando la variación de los siguientes coeficientes: AccelerationRelaxation (AR), que es la

directa reducción en la aceleración; AccelerationDamping (AD), utilizado para eliminar la divergencia proveniente de la repentina aceleración (siendo proporcional a la magnitud de la aceleración); InnerDistance (ID), extensión de la región de movimiento del cuerpo sólido alrededor del cuerpo; y finalmente, OuterDistance (OD) refiriéndose a la extensión de la región de transformación de la malla alrededor del cuerpo (Davidson et al., 2019). En las simulaciones para analizar la sensibilidad del modelo a los distintos coeficientes, el cuerpo en cuestión hace referencia a una boya cilíndrica de 1 m de longitud y 0.25 m de radio conectada a unos brazos de 2 m de longitud con un pivote a la mitad de dicha extensión como se muestra en la Figura 1.

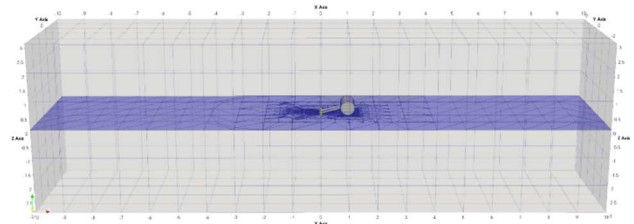


Figura 1. Dominio de la simulación para la boya con  $R = 0.25$ .

Los valores de los coeficientes evaluados se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes de las series de simulación realizadas para boya,  $R = 0.25$  m.

| Prueba | T [s] | AR  | AD   | ID      | OD  |
|--------|-------|-----|------|---------|-----|
| P1     | 4     | 0.7 | -    | 0.001   | 1.5 |
| P2     |       | 0.7 | -    | 0.001   | 2.0 |
| P3     |       | 0.5 | 0.5  | 0.001   | 1.5 |
| P4     |       | 0.5 | 0.5  | 0.00001 | 1.5 |
| P5     |       | 0.7 | 0.75 | 0.001   | 1.5 |
| P6     | 8     | 0.7 | 0.75 | 0.001   | 1.5 |
| P7     |       | 0.7 | -    | 0.001   | 1.5 |
| P8     |       | 0.5 | 0.5  | 0.001   | 1.5 |
| P9     |       | 0.5 | 0.5  | 0.00001 | 1.5 |

La velocidad angular y torque se utilizaron para obtener la potencia instantánea. Como paso inicial se realizaron pruebas para conocer la estabilidad del modelo con un tiempo simulado de cien periodos de ola, tanto para el periodo de 4 s como para el de 8 s. Los resultados, en relación con la potencia promedio entregada, muestran, que después de 132 segundos, las propiedades estadísticas de las simulaciones del modelo no cambian significativamente. Esto garantiza la consistencia en los resultados de las simulaciones numéricas. Las pruebas de sensibilidad para los parámetros AR, AD, ID y OD, se presentan en la Figura 2. El aumento del coeficiente OD (verde) provoca un aumento en la potencia promedio, acompañada también del aumento en la desviación estándar (DE); una disminución en el ID no muestra cambios significativos (al menos en los valores evaluados). Omitir el coeficiente AD, reduce el valor promedio de potencia, pero reduce la DE, mientras que por debajo del valor recomendado (0.9-1) se tienen valores más grandes de potencia, pero con grandes valores de DE, debido a la afectación del torque.

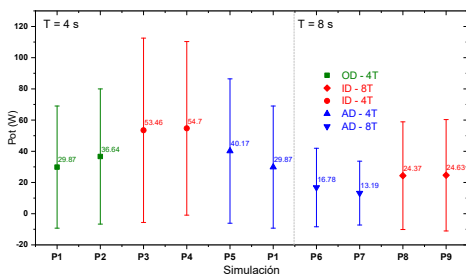


Figura 2. Prueba de sensibilidad: H = 1.0 m, T = 4 y T = 8 s.

Para el análisis estadístico se obtuvo el error cuadrático medio (RMSE) entre las diferentes combinaciones. En la Figura 3 aparecen las combinaciones de la evaluación de RMSE, donde se aprecia que el torque es la variable más afectada por los cambios en los coeficientes.

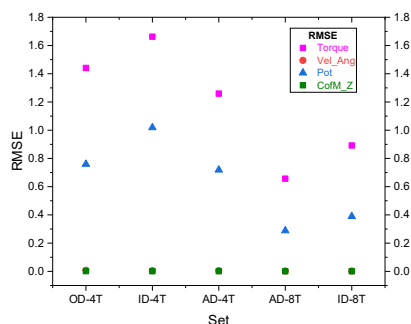


Figura 3. Análisis estadístico RMSE de las variables de salida de las combinaciones de la Tabla 2.

En general, los cambios son más notables en las pruebas con el periodo más corto, generando una mayor potencia de entrega promedio (Figura 4). En el periodo corto la potencia (y su DE) describe un comportamiento exponencial al aumentar el tamaño del radio de la boya, mientras que los valores de potencia para la boya con el periodo largo sugieren una tendencia lineal.

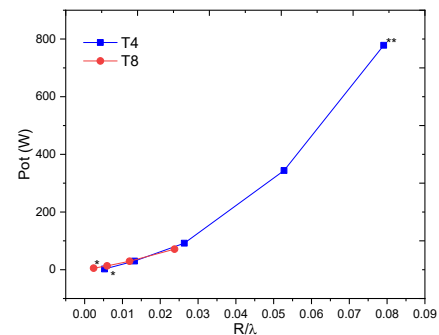


Figura 4. Potencia entregada a diferente tamaño de boya y periodo. AR = 0.7, AD = -, ID = 0.001 y OD = 1.5. \*Evaluado con un valor de AR = 0.5, AD = 0.5 e ID = 0.00001 debido a la divergencia numérica de la simulación, \*\*OD = 2.0.

La relativa poca información de los coeficientes descritos podría llevar a conclusiones erróneas incluso al ser ignorados. La elección al azar de los coeficientes aquí descritos podría llevar a la subestimación de los valores de potencia de generación, debido a la afectación directa en el torque.

## Referencias

- Astariz, S., Iglesias, G. (2015). The economics of wave energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45: 397-408.
- Chow, J. H., Ng, E. Y. K. (2016). Strongly coupled partitioned six degree-of-freedom rigid body motion solver with Aitken's dynamic under-relaxation. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 8(4): 320-329.
- Davidson, J., Karimov, M., Szelechman, A., Windt, C., Ringwood, J. (2019). Dynamic mesh motion in OpenFOAM for wave energy converter simulation. Presentado en: 14th OpenFOAM Workshop.
- Henriques, J. C. C., Gato, L. M. C., Falcao, A. D. O., Robles, E., Faÿ, F. X. (2016). Latching control of a floating oscillating-water-column wave energy converter. *Renewable Energy*, 90: 229-241.
- The Open Source CFD Toolbox. (2018). Disponible en: <https://www.openfoam.com/documentation/user-guide>



1er Congreso Internacional  
**CEMIE-Océano**



