



1er Congreso Internacional
CEMIE-Océano

Análisis con OpenFOAM® para la simulación de una boya cilíndrica de un dispositivo convertidor de energía de oleaje regular de baja potencia

Carlos Sosa¹, Rodrigo Patiño¹ e Ismael Mariño-Tapia²

¹ CINVESTAV - Unidad Mérida, carlos.sosa@cinvestav.mx, rodrigo.patino@cinvestav.mx

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



Resumen

Este trabajo presenta el análisis por simulación del comportamiento de una boya cilíndrica sometida a oleaje regular. La boya, diseñada para un dispositivo convertidor de energía de oleaje (CEO), cuenta con un eje como pivote de rotación. Las simulaciones se realizaron con el software de dinámica de fluidos computacional de código abierto OpenFOAM®. Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad, el cual consistió en variar ciertos parámetros, tanto de las aceleraciones y el amortiguamiento del objeto flotante, así como de los parámetros relacionados con la deformación de malla alrededor del objeto flotante; ambos tipos de parámetros son empleados para mantener la estabilidad de la simulación. Los efectos son visibles en las variables: centro de masa, torque, momento angular, velocidad angular y la potencia de salida de la boya. Además del análisis estadístico para estos parámetros, fueron estimados el coeficiente de transmisión, el sesgo del oleaje, la asimetría y la energía cinética turbulenta. Los resultados sugieren que la potencia generada por la boya es mayor para un periodo $T = 4$ s que para $T = 8$ s; en el análisis de sensibilidad, el torque es la variable más afectada y contribuye a la sobreestimación de la potencia de salida. Finalmente, los valores de la estimación del coeficiente de transmisión, sesgo del oleaje, asimetría y energía cinética turbulenta, sugieren que este tipo de CEO favorece el transporte sedimentario hacia la costa y funcionaría con ese doble propósito.

Introducción. 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). Estos modelos permiten probar varios diseños y adaptarlos, sin necesidad de grandes inversiones de dinero. 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 el programa de código abierto OpenFOAM®, debido a que permite la modelación del dispositivo y su interacción con el oleaje (The open source CFD toolbox, 2018). Se analizó el funcionamiento de un CEO tipo absorbedor puntual, cuya boya se espera que alcance la frecuencia natural de las olas para una eficiente absorción de energía (Henriques et al., 2016). Uno de los principales problemas 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.

Metodología. Se realizaron simulaciones de oleaje regular con altura de ola de 1.0 m, profundidad de 3 m y periodos (T) 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). Para analizar la sensibilidad del modelo a los distintos coeficientes, fue agregada 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 como se muestra en la **Figura 1**.

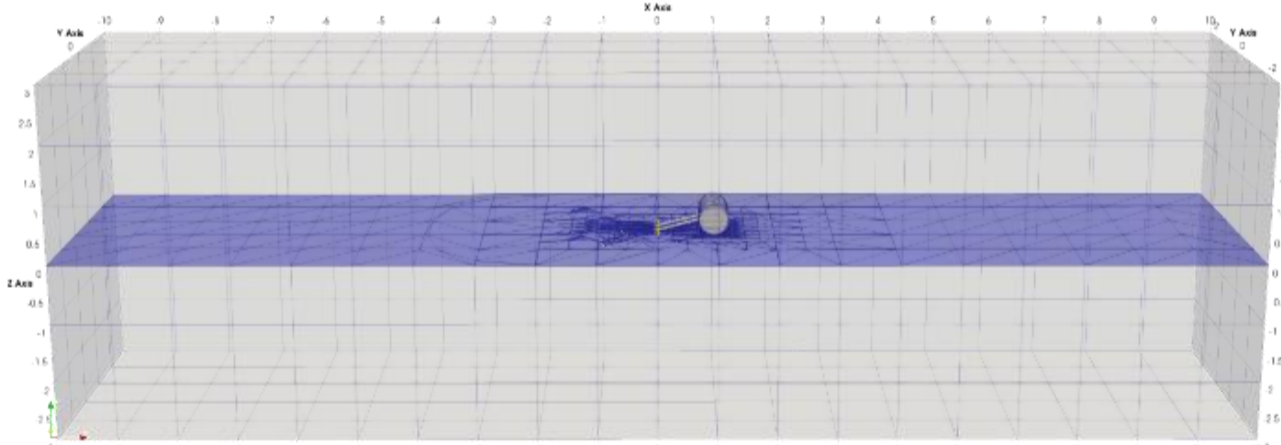


Figura 1. Dominio de la simulación para la boya con R = 0.25 m.

En el análisis se consideró 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 *OuterDistance* (OD) refiriéndose a la extensión de la región de transformación de la malla alrededor del cuerpo (Davidson et al., 2019). En la **Tabla 1** se muestran los valores utilizados en las pruebas de sensibilidad.

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

Case	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 el torque se utilizaron para obtener la potencia instantánea. Para conocer la estabilidad del modelo fueron simulados cien periodos de ola.

Resultados y discusión

Los resultados, en relación con la potencia promedio entregada, muestran, que después de ciertos periodos, las propiedades estadísticas del modelo no cambian significativamente. Esto garantiza la consistencia en las comparaciones. Las pruebas de sensibilidad para los parámetros AR, AD, ID y OD, se presentan en la **Figura 2**.

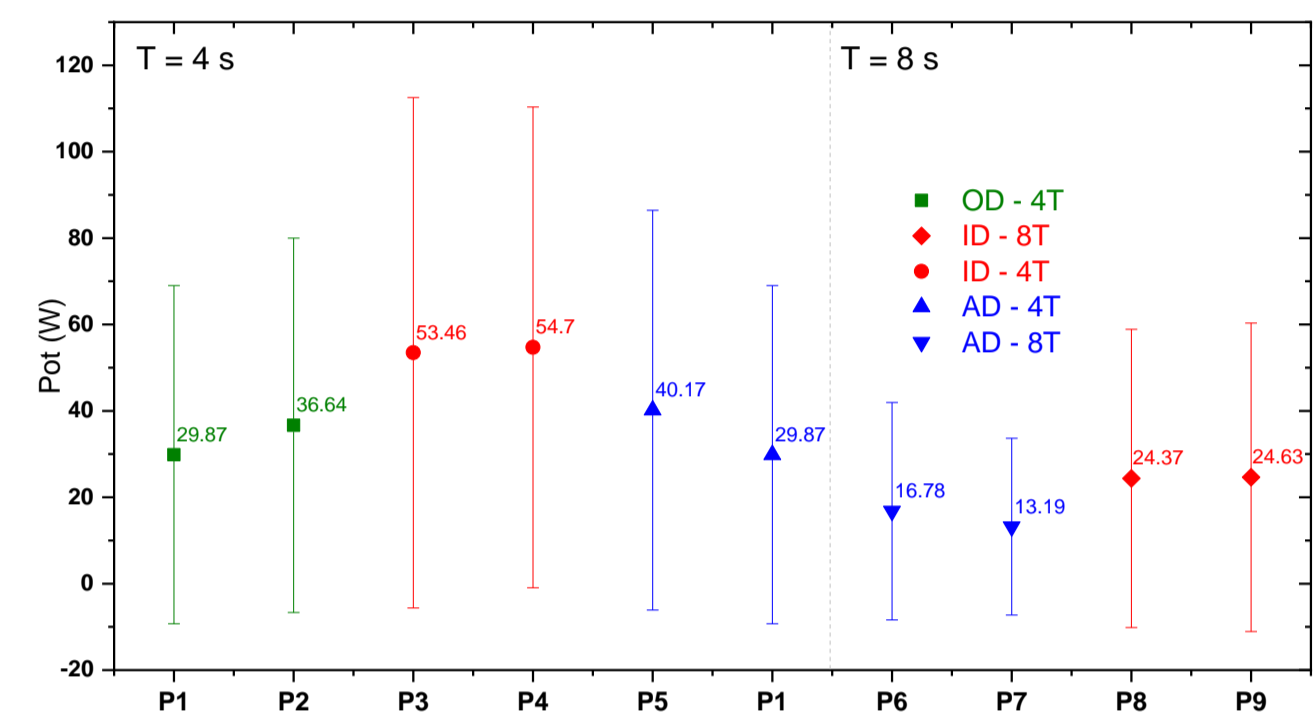


Figura 2. Prueba de sensibilidad: H = 1.0 m, T = 4 y T = 8 s

El aumento del coeficiente OD 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 y reduce la DE, mientras que por debajo del valor recomendado (0.9-1.0) se tienen valores más grandes de potencia, pero con grandes valores de DE, debido a la afectación del torque. En la **Figura 3** aparecen las combinaciones del análisis estadístico (RMSE, R, SI y Bias), donde se aprecia que el torque es la variable más afectada por los cambios en los coeficientes y por ende la potencia de salida de la boya.

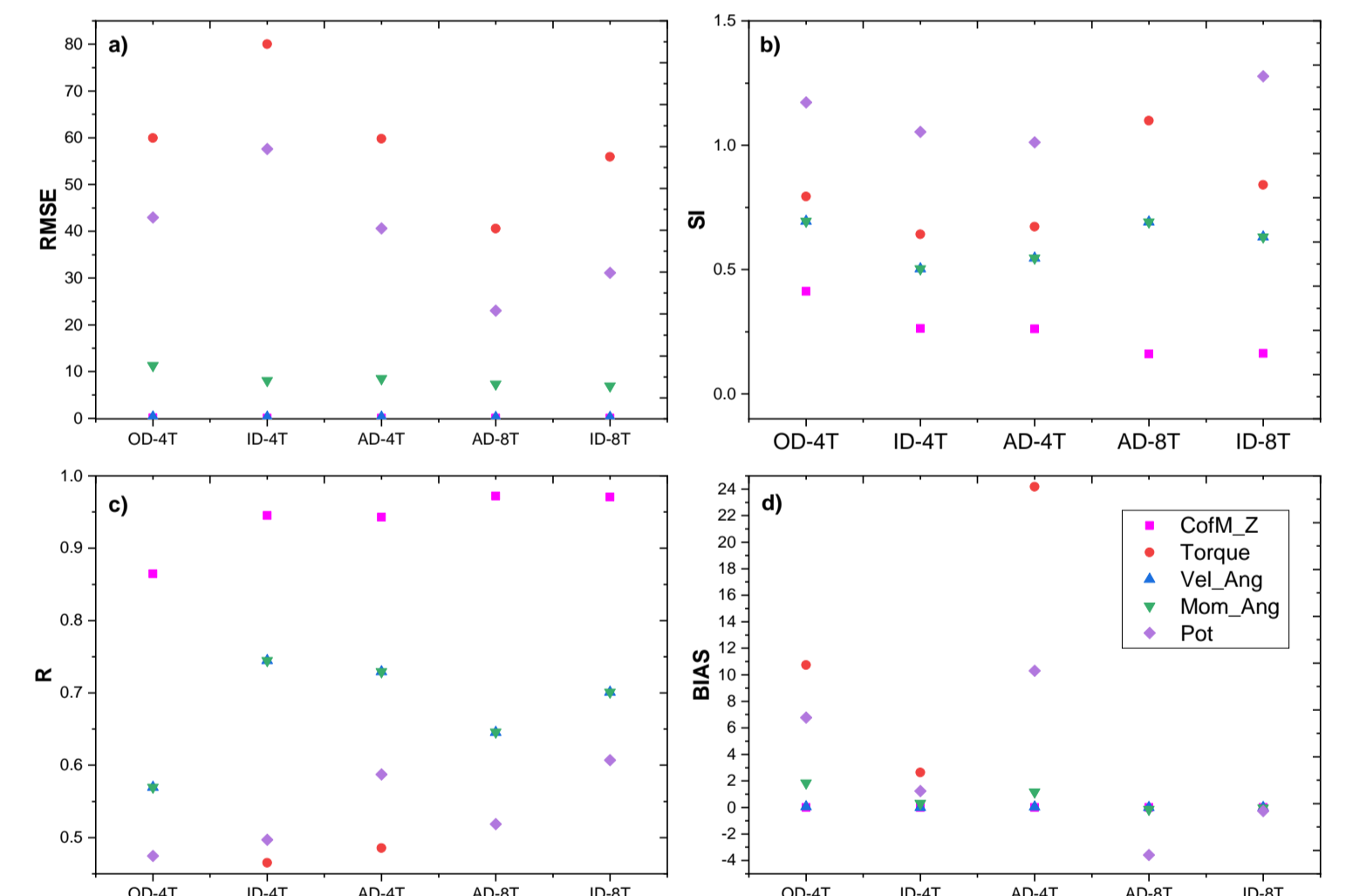


Figura 3. Análisis estadístico RMSE de las variables de salida de las combinaciones de la Tabla 1.

En general, los cambios son más notables en las pruebas con el periodo más corto, generando una mayor potencia de entrega promedio (**Figura 4**, P_{abs} , es la potencia generada en kW y $P_{wf}B$ es la potencia por metro de frente de ola en kW/m y λ la longitud de onda en m). En el periodo corto la potencia describe un comportamiento exponencial al aumentar el tamaño del radio de la boya, mientras que los valores de eficiencia para la boya con el periodo largo sugieren una tendencia lineal.

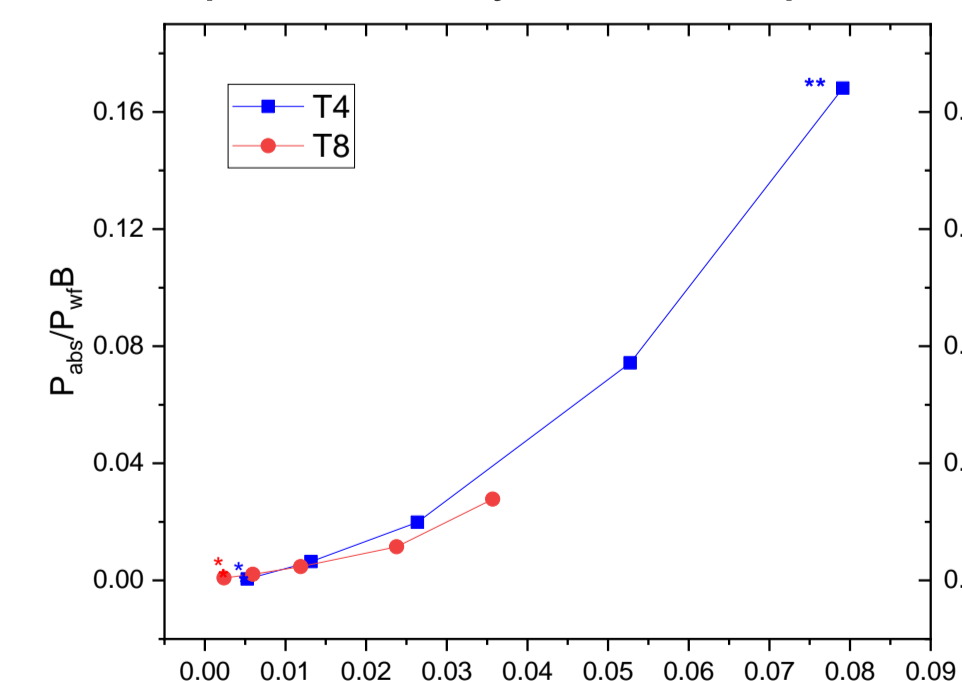


Figura 4. Eficiencia hidrodinámica (o eficiencia de captura) de boya a diferente radios y periodos de T = 4 s y T = 8 s. AR = 0.7, AD = -, ID = 0.001 y OD = 1.5. *Evaluado con un valor de AR = 0.5, AD = 0.5 e ID = 0.00001 debido a la divergencia numérica de la simulación, **OD = 2.0.

Los resultados indican que con este tipo de boya es posible aprovechar de forma más eficiente la energía de las olas cortas, en comparación con olas de periodo más largo, por lo que, en regiones donde predomina este tipo de oleaje, un dispositivo WEC diseñado con la boya y el movimiento similares a los descritos en este trabajo, en promedio será capaz de absorber mayor energía que si predominaran los periodos largos.

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., Fay, 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>