

AGRUPAMIENTO Y ALINEALIDAD DEL OLAJE EN CONDICIONES DE TORMENTA EN AGUAS SOMERAS DEL GOLFO DE MÉXICO

Marco Ulloa¹, Edgar Escalante-Mancera², Rogelio Ortega-Izaguirre¹, Ismael Mariño-Tapia³ y Rodolfo Silva⁴

¹ CICATA-Altamira, Instituto Politécnico Nacional, mulloa@ipn.mx, rortegai@ipn.mx

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, escalant@cmarl.unam.mx

³ ENES-Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, imarino@enesmerida.unam.mx

⁴ Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, rsilvac@iingen.unam.mx

Resumen

Los Convertidores de Energía del Oleaje (CEOs) interactúan con el oleaje cuya naturaleza es alineal y multidireccional. Dos temas preponderantes en la investigación y desarrollo de los CEOs son el desempeño operacional y la viabilidad comercial (Coe y Neary, 2014; Hodges et al., 2021). El primero considera la optimización de la captura de energía y la eficiencia de la conversión de energía en electricidad. El segundo es la confiabilidad y supervivencia ante estados del mar diferentes. En ambos temas se requiere satisfacer la necesidad de contar con datos de oleaje.

Las mediciones del oleaje son información de entrada indispensable para ejecutar modelos de respuesta dinámica de los CEOs. Las observaciones de los eventos extremos, en conjunto con datos del viento y las corrientes, pueden resultar particularmente esenciales para determinar el estado del mar bajo el cual los CEOs deben activarse en modo de supervivencia. Los eventos extremos pueden representarse como grupos de olas con pendientes (peraltes) constantes o variables (Musiedlak et al., 2020). Durante dichos eventos, los grupos de olas originan tensiones extremas en las líneas de los anclajes, pudiéndose alcanzar valores críticos que sobrepasen los parámetros de diseño de los sistemas de anclaje. Por lo tanto, es importante determinar el grado de agrupamiento del oleaje que generan los eventos extremos porque afecta la capacidad de supervivencia de los convertidores.

El objetivo del trabajo consiste en determinar el grado de agrupamiento y alinealidad del oleaje asociado con el paso de eventos extremos en las aguas someras del Golfo de México. Se utilizan datos de oleaje del huracán Wilma, Alex e Ingrid

obtenidas en Puerto Morelos (PM), Ciudad Madero (CM) y La Pesca (LP) respectivamente, así como observaciones de dos frentes fríos en Altamira (AL) y Tampico Alto (TA) (Figura 1). La profundidad de instalación de todos los sensores de oleaje fue del orden de 20 m.

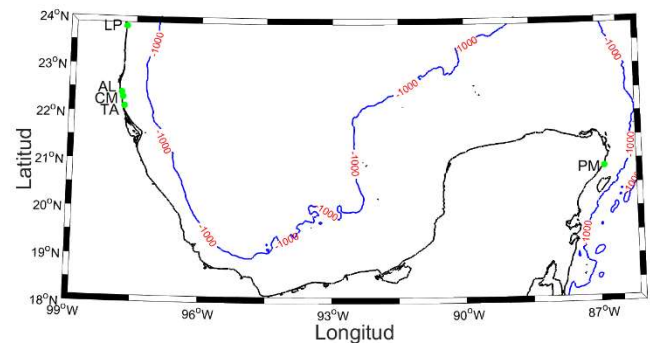


Figura 1. Localización de los sitios de medición, denotados como La Pesca (LP), Altamira (AL), Ciudad Madero (CM), Tampico Alto (TA) y Puerto Morelos (PM). La línea continua indica la isobata de 1000 m.

La intensidad de los eventos extremos se ha caracterizado con base en un índice de potencia de la tormenta (IPT), definido como el producto de la duración de la tormenta (D) y la intensidad del transporte de energía del oleaje generado por cada evento (I) (Tabla 1).

Tabla 4. Caracterización de los eventos extremos estudiados en el presente trabajo. La abreviación FF denota frente frío

Tormenta	Año	D (h)	I (MW/m)	IPT (MWh/m)
Wilma	2015	98	26.454	2592
Alex	2010	130	1.914	249
FF-AL	2017	107	2.000	214
Ingrid	2013	68	2.085	142
FF-TA	2018	69	1.945	134

La duración de la tormenta se estimó de la serie de tiempo de la potencia de las olas y de la respuesta

de las componentes de alta frecuencia a los cambios súbitos de la potencia. Se eligieron las altas frecuencias porque éstas responden más rápido a los cambios del esfuerzo del viento que las componentes de baja frecuencia. La intensidad del transporte de energía, el área bajo la curva de la serie de potencia, se calculó como,

$$I = \rho g \int_0^D \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} S(f, \theta) C_g(f, h) df d\theta dD \quad (1)$$

En (1), ρ es la densidad del agua marina, g es la aceleración de la gravedad, $S(f, \theta)$ es el espectro total del oleaje, f y θ son la frecuencia y la dirección de las olas, C_g es la velocidad de grupo y h es la profundidad.

El grado de agrupamiento del oleaje se obtuvo del parámetro de Goda, Q_p (Saulnier, et al., 2011) y el grado de alinealidad del índice de inestabilidad de Benjamin-Feir, que en general puede definirse como, $BFI = \text{peralte}/\text{anchura del espectro}$. El peralte es una medida de la alinealidad del campo de oleaje debida a interacciones no lineales onda-onda. Por su parte, la anchura del espectro, es una medida de la concentración de la energía del oleaje. Notar que hay una dependencia funcional en la estimación del BFI. El peralte se determinó mediante una expresión que se basa en el peralte límite de Miche. Para la anchura del espectro, se consideró una expresión que depende de los momentos de bajo orden del espectro de energía. Para un mar completamente desarrollado, $Q_p \sim 2$. A mayor valor de Q_p , la forma del espectro de energía será más angosta. Los espectros angostos pueden alcanzar valores de $Q_p > 2$. El valor crítico para el inicio de la inestabilidad de Benjamir-Fair es, $BFI \sim 1$.

La mayor parte de las observaciones muestran campos de oleaje con espectros de energía amplios y angostos para los cuales, $BFI < 1$ (Figura 2). El mecanismo de inestabilidad de Benjamir-Fair se presentó principalmente en el huracán Wilma, donde Q_p tendió a disminuir con el incremento del BFI. En general, si el agrupamiento del oleaje está relacionado con procesos alineales, se espera que Q_p aumente con el BFI. La tendencia opuesta que se muestra en la Figura 2, que la alinealidad no sea un factor importante en el agrupamiento del oleaje,

puede estar asociada con una dispersión direccional relativamente amplia que no favorezca la formación de grupos de olas.

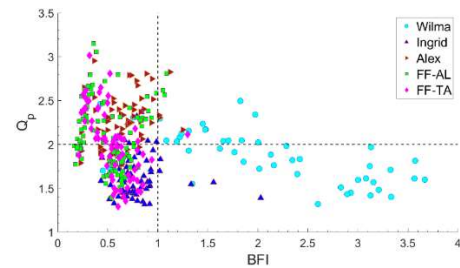


Figura 2. Diagrama de dispersión del factor de agrupamiento (Q_p) y el índice de inestabilidad de Benjamin-Feir (BFI).

Los CEOs operan en modo de supervivencia en eventos de tormenta. Las estructuras deben resistir eventos de concentración de energía y de rompimiento debidos al agrupamiento de las olas. El presente trabajo coadyuba en el modelado de convertidores apropiados para aguas someras.

Referencias

- Coe, R. G., Neary, V.S. (2014). Review of methods for modeling wave energy converter survival in extreme sea states. En Proceedings of the 2nd Marine Energy Technology Symposium, Seattle, WA, USA, 15-17 April 2014.
- Hodges, J., Henderson, J., Ruedy, L., Soede, M., Weber, J., Ruiz-Minguela, P., Jeffrey, H., Brannon, E., Holland, M., Maciver, R., Hume, D., Villate, J-L., Ramsey, T. (2021). An International Evaluation and Guidance Framework for Ocean Energy Technology. IEA-OES.
- Musiedlak, P-H-, Ransley, E. J., Hann, M., Child, B., Greaves, D.M. (2020). Time-Splitting coupling of WaveDyn with OpenFOAM by fidelity limit identified from a WEC in extreme waves. *Energies*, 13: 3431.
- Saulnier, J-B., Clément, A., Falcao, A. F. O., Pontes, T., Prevosto, M., Ricci, P. (2011). Wave groupiness and spectral bandwidth as relevant parameters for the performance assessment of wave energy converters. *Ocean Engineering*, 38: 130.



1er Congreso Internacional
CEMIE-Océano



