

ONDAS INFRAGRAVITATORIAS DE BORDE (EDGE WAVES) Y DE ESCAPE (LEAKY WAVES) EN UNA PLAYA INTERMEDIA REFLEJANTE

Luis Jesús Otero Díaz, Julie Ruiz, Mario Conde Frías y Juan Restrepo

Grupo de Investigación en Geociencias-GEO4 - Departamento de Física y Geociencias – Universidad del Norte, Colombia
E-mail: ljotero@uninorte.edu.co, merchanj@uninorte.edu.co, mfrias@uninorte.edu.co y restrepocj@uninorte.edu.co

Introducción

Los procesos hidrodinámicos de la zona de rompientes (nearshore) comprenden la evolución que experimenta el oleaje a diferentes escalas espacio-temporales cuando éste incide en la playa. La mayor parte de la energía del oleaje proviene de las ondas gravitatorias ($f_g > 0.5 \text{ Hz}$) las cuales, al llegar a la costa, se asomeran cuando empiezan a sentir los efectos del fondo hasta que alcanzan una profundidad lo suficientemente reducida y rompen. Durante la rotura se disipa gran parte de su energía, a través de la turbulencia y también liberando a su vez una onda infragravitatoria ($f_{ig} < 0.5 \text{ Hz}$), la cual incrementa su energía debido a que ya no está asociada a un grupo de ondas y a los procesos de transferencia de energía desde las frecuencias gravitatorias hacia las frecuencias de infragravedad (Longuet-Higgins y Stewart 1962). Por otra parte, sobre los perfiles de playa con pendiente inclinada, se ha encontrado que las ondas infragravitatorias son generadas mayormente por fuera de la zona de rompientes mediante un mecanismo de variación del punto de rotura (Baldock, 2012). Las ondas infragravitatorias pueden viajar como ondas forzadas dentro de un grupo de ondas, produciendo una variación en el nivel medio del mar o como ondas libres, una vez el oleaje rompe y libera las ondas forzadas. Las ondas libres a su vez pueden ser *leaky waves*, las cuales después de la rotura del oleaje son reflejadas hacia el mar y *edge waves* las cuales quedan atrapadas cerca a la costa por efectos de refracción (Longuet-Higgins y Stewart, 1962).

La importancia de entender el comportamiento de las ondas gravitatorias e infragravitatorias, y su relación con la formación de los sistemas circulatorios en la zona de rompientes, radica en que de esta manera se puede lograr una mayor comprensión de los fenómenos involucrados en los cambios morfológicos de las playas. Por esta razón, en este trabajo se analiza la contribución del régimen infragravitatorio en la evolución de las componentes transversal y longitudinal de las corrientes en una playa intermedia-reflejante. Adicionalmente, mediante el análisis de correlación y coherencia de Wavelets se estudia la relación entre los componentes transversal (u), longitudinal (v) y superficie libre (η), con el fin de establecer las características de las ondas infragravitatorias presentes en este tipo de playas.

Metodología

Con el propósito de obtener la contribución de las señales gravitatorias e infragravitatorias en la superficie libre y las corrientes, se utilizó un arreglo de sensores de presión y correntómetros los cuales fueron distribuidos de forma transversal en la zona de asomeramiento y zona de rompientes, tomando datos por 72 horas continuas en la playa de Costa Verde durante la época húmeda y la época seca. Ésta playa se encuentra localizada en el litoral Caribe colombiano y se caracteriza por presentar un régimen micromareal (amplitudes máximas de marea $\sim 0.5\text{m}$), Figura 1. De igual forma, presenta una pendiente de frente de playa pronunciada ($\tan \beta = 0.032$) que va desde la línea de costa hasta aproximadamente los 50 m en la dirección offshore. A partir de los 50 m la pendiente toma un comportamiento más tendido con un valor aproximado de 0.0015. El tipo de material de la playa de este sector es arena gruesa, de tamaño medio de grano entre 0.50 mm y 1.0 mm.

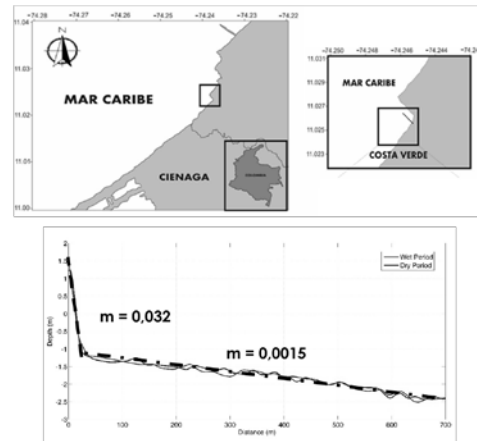


Figura 1. (a) y (b) Localización de la zona de estudio en la playa de Costa Verde ubicada en Ciénaga-Santa Marta. (c) Perfil playa Costa Verde durante época seca (Roja) y época húmeda (Azul).

El arreglo de los equipos fue perpendicular a la línea de costa. Los equipos de medición Aquadopp profiler fueron configurados para tomar 2048 datos cada hora a una tasa de 2 Hz y el sensor de presión RBR duo midió de forma continua a una tasa de muestreo de 1Hz. El sensor de presión fue configurado para tomar datos de forma continua a una tasa de muestreo de 1Hz, mientras que los correntómetros tomaron datos cada hora con una longitud del burst de 2048 datos a una tasa de 1 Hz.

Para el procesamiento y análisis de datos se seleccionaron los estados de mar que presentaron mayor energía en el sensor más externo durante las campañas de campo realizadas en la época húmeda y seca, este criterio se eligió teniendo en cuenta que los oleajes offshore más energéticos están asociados a mayores energías infragravitatorias ($f_{ig} < 0.05 \text{ Hz}$) cerca de la costa (Brikemper et al. 2013; Conde et al, 2017). Para estudiar los procesos energéticos asociados a las oscilaciones involucradas con la aproximación y llegada del oleaje a la costa, se aplicó la transformada continua de wavelet (CWT) a los registros medidos de superficie libre y a las componentes transversal y longitudinal de las corrientes de cada uno de los estados de mar seleccionados. La transformada continua de Wavelet (Morlet et al, 1982; Huang, 2004; Conde, 2017), proporciona información de una serie de tiempo de datos hidrodinámicos próximos a la costa no estacionarios (Różyński, 2005) en las dimensiones de tiempo, periodo y energía, permitiendo con este tratamiento establecer cómo se da el proceso de transferencia de energía de una frecuencia a otra, a medida que la onda se aproxima a la costa. Para determinar la relación que existe entre la elevación de superficie libre, la corriente transversal y la corriente longitudinal, es decir, saber cuál es la correlación existente entre estas dos señales se utilizó la Transformada Wavelet Cruzada (XWT) o Crosswavelet Transform que muestra la energía común y la fase entre las dos variables en el espacio tiempo-frecuencia y la coherencia Wavelet (WTC) para definir una medida de relación significativa entre ambas series aunque la energía común sea baja. Los espectros de correlación cruzada y coherencia, además de indicar las zonas del espacio tiempo-

periodo que tienen una potencia wavelet común para las dos series, también proporciona la fase entre estas dos series.

Para las ondas transversales estacionarias y las ondas progresivas longitudinales (incluidas las ondas de borde progresivas), el retraso en la fase entre las velocidades transversal y longitudinal (así como la velocidad transversal y la elevación de la superficie libre) es de 90° . Por el contrario, para las cross-shore progressive leaky waves y las ondas estacionarias transversales y longitudinales (incluidas las ondas de borde) el retraso en la fase es de 0° o $+180^\circ$ entre las velocidades transversales y longitudinales (o la velocidad transversal y la elevación de la superficie libre, respectivamente) (Huntley y Bowen, 1974). El retraso en la fase entre la velocidad longitudinal y la elevación de la superficie libre es de 0° para las ondas progresivas longitudinales y de $+90^\circ$ para las ondas estacionarias longitudinales. En presencia de ondas estacionarias longitudinales, las elevaciones de la superficie y las velocidades longitudinales están desfasadas 0° ó $+180^\circ$ entre los instrumentos separados a lo largo de la costa, (Winter et al., 2017).

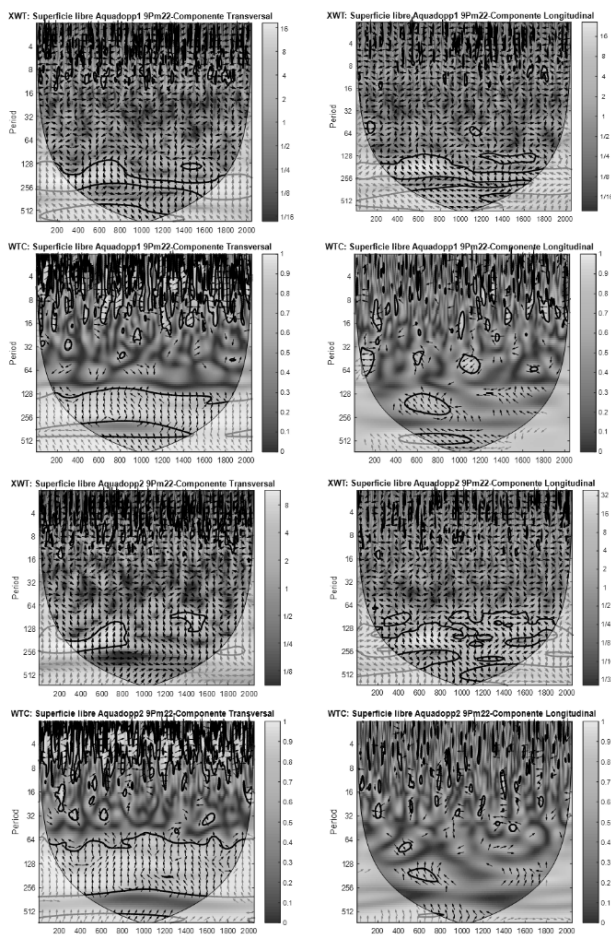


Figura 2.- Espectros Cruzado y de Coherencia de Wavelet para el estado de mar más energético durante la época seca. A) XWT η - u S1. B) XWT η - v S1. C) WTC η - u S1. D) WTC η - v S1. E) XWT η - u S2. F) XWT η - v S2. G) WTC η - u S2. H) WTC η - v S2.

Resultados

En la Figura 2, se muestran los espectros cruzados y de coherencia entre superficie libre y las componentes transversal (u) y longitudinal (v) de las corrientes para la playa de Costa Verde durante la época seca para el estado de mar más energético. De esta figura se puede observar que en el sensor 1 (S1), la correlación cruzada entre superficie libre y la componente transversal de la corriente (u) presenta los mayores

valores de correlación y coherencia para las señales de la banda infragravitatoria de periodo de 128 s y 256 s, con un desfase de 90° indicando la presencia de ondas transversales estacionarias (standing leaky waves). Un comportamiento similar se observa entre la superficie libre y la componente longitudinal de la corriente (v), lo que indica la presencia de ondas estacionarias longitudinales (standing edge waves). Para el sensor 2 (S2), se observa que las mayores correlaciones se dan entre la superficie libre y la componente longitudinal de la corriente (v), pero para señales en la banda infragravitatoria con periodo entre 128 s y 256 s, indicando igualmente la presencia de ondas de borde estacionarias a lo largo de la playa. Mientras que los valores de correlación entre η y u registrados en este sensor son mucho menores. Las gráficas de coherencia espectral para ambos sensores ratifican el hecho de la alta correlación entre los sensores.

Conclusiones

Los estudios experimentales llevados a cabo en la playa de Costa Verde, indican la presencia de oscilaciones infragravitatorias con significativo contenido energético. De estas oscilaciones, se han identificado dos tipos principales de ondas infragravitatorias: ondas de escape estacionarias (standing leaky waves) y ondas de borde estacionarias (standing edge waves), las cuales pueden estar relacionadas con la formación de beach cusps en esta playa durante la época seca.

Referencias

- Baldock, T. E. (2012). "Dissipation of incident forced long waves in the surf zone—Implications for the concept of "bound" wave release at short wave breaking". *Coastal Eng.*, vol 60, 2012, pp. 276–285, doi:10.1016/j.coastaleng.2011.11.002.
- Brinkkemper, J.A.; Torres-Freyermuth, A.; Mendoza, E.T.; Salles, P., and Ruessink, B.G. (2013). "Parameterization of wave run-up on beaches in Yucatan, Mexico: A numerical study". *Proceedings of the 7th International Conference on Coastal Dynamics* (Arcachon, France), pp. 225–233.
- Conde-Frias, M., Otero, L., Restrepo, J. C. and Ortiz, J. (2017). "Experimental analysis of infragravity waves in two eroded microtidal beaches". *Acta Oceanologica Sinica*, vol 36(5), 2017, pp. 31–43.
- Huang, J., Ma, L., Wang, Y., and Tan, T. (2004). "Iris model based on local orientation description". *Proc. Asian Conf. Comput. Vision* (pp. 954–959).
- Huntley, D. A., and A. J. Bowen. (1974). "Field observations of edge waves". *Nature*, vol 243(5403), 1974, pp. 160–162, doi:10.1038/243160a0.
- Longuet-Higgins, and Stewart, W. (1962). "Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to "surf-beatands."". *J. FL Mech.* Vol 13, 1962, pp. 481–504.
- Morlet, J., Arens, G., Furgeau, E., and Giard, D. (1982). "Wave propagation and sampling theory: part 2. Sampling theory and complex waves". *Geophysics* vol 47 (2), 1982, pp. 222–236.
- Rózyński, G. (2005). "Long-term shoreline response of a nontidal, barred coast". *Coastal Engineering* vol 52, 2005, pp. 79 – 91.
- Symonds G, Huntley D.A, and Bowen A.J. (1982). "Two-dimensional surf beat: long wave generation by a time-varying breakpoint". *J. Geophys. Res.* Vol 87, pp. 492–498.
- Winter, G., R. J. Lowe, G. Symonds, J. E. Hansen, and A. R. van Dongeren. (2017). "Standing infragravity waves over an alongshore irregular rocky bathymetry". *J. Geophys. Res. Oceans*, vol 122, 2017. doi:10.1002/2016JC012242.