



TRANSFORMACIÓN DE ONDAS INFRAGRAVITATORIAS EN MEDIOS MARINOS NO HOMOGÉNEOS

POR DR. ALEC TORRES FREYERMUTH

UNIDAD ACADÉMICA SISAL, YUCATÁN,
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

El oleaje es el proceso fundamental en el diseño de toda obra costera. Existen grandes avances en la determinación de los parámetros de diseño del oleaje mediante el análisis probabilístico de registros históricos, los cuales permiten determinar la altura y el periodo de diseño para una vida útil determinada. Sin embargo, se la ha prestado una menor atención al rol de las componentes de baja frecuencia en la dinámica cercana a la costa. Estas ondas son conocidas como ondas infragravitatorias, ondas de baja frecuencia u ondas largas. Su estudio es importante debido a que (i) sus periodos están asociados con la resonancia y con las tensiones en los amarres de los barcos dentro de los puertos (Miles, 1974); (ii) modifican el oleaje incidente (Goda, 1975); (iii) juegan un papel importante en el transporte de sedimentos cercano a la costa (Aagaard y Greenwood, 2008); y (iiii) en la inundación de playas durante eventos extremos (Péqui-gnet *et al.*, 2009).

Existen dos mecanismos de generación de onda larga ampliamente aceptados. El primero es debido a la interacción no lineal entre las componentes principales del espectro, el cual resulta en la onda larga vinculada descrita por Longuet-Higgins y Stewart (1960). El otro mecanismo considera la generación de onda larga debido a la variación de la localización del punto de rotura en la zona de rompientes (Symonds *et al.*, 1982). Este último supone que un punto de rotura variable radia ondas largas a la frecuencia del grupo en dos direcciones (*i.e.* hacia tierra y hacia mar adentro). Sin embargo, en la naturaleza los dos mecanismos coexisten estableciendo un patrón complejo y difícil de diferenciar (*e.g.* Shaffer, 1993).

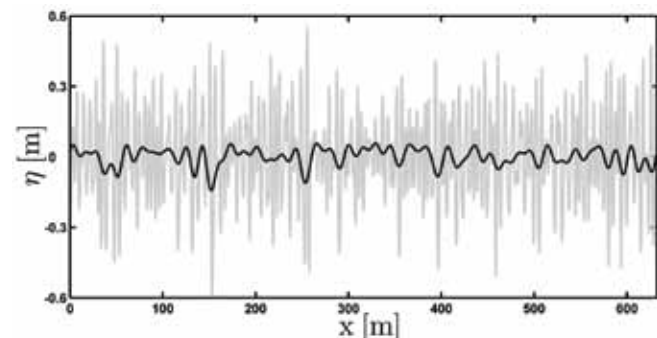


Figura 1. Serie temporal de superficie libre (línea gris) medida a 5 m de profundidad frente a la costa de Luisiana durante la campaña WORMSEX (Elgar y Raubenheimer,

2008), y la onda infragravitatoria (OI) obtenida con un filtro paso-bajo de la serie temporal. La onda larga (línea negra) se encuentra en antifase con la envolvente de onda corta y su amplitud es un orden de magnitud menor.

La energía infragravitatoria representa una fracción pequeña del contenido total energético del espectro en aguas profundas e intermedias (*e.g.* figura 1). Sin embargo, al propagarse el tren de oleaje en aguas someras, las ondas infragravitatorias (OI) interactúan no linealmente con las frecuencias principales del espectro, incrementando su energía considerablemente a costa de ellas. La figura 2 muestra las mediciones realizadas por Boers (1996) del espectro de energía del oleaje en aguas intermedias (línea clara) y someras (línea negra) en un canal de olas. Es evidente cómo a menor profundidad la disipación de energía de onda corta ($f > 0.2$ Hz), debida a la rotura del oleaje por efecto del fondo, va acompañada de un incremento de la energía infragravitatoria. Esta última controlará el máximo ascenso y descenso de la lámina de agua en playas y estructuras costeras.

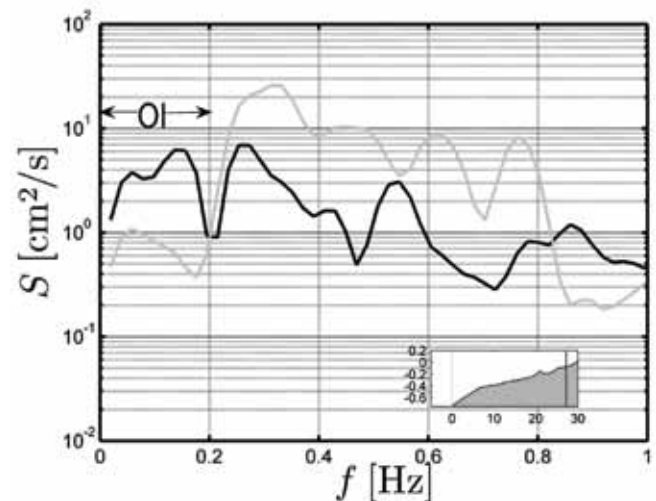


Figura 2. Espectro de energía del oleaje en dos puntos del perfil de playa durante los ensayos del Test 1C de Boers (1996). La energía infragravitatoria ($f < 0.2$ Hz) es del mismo orden de magnitud que la energía en las frecuencias principales ($f > 0.2$ Hz) en el sensor cercano a la costa (línea negra).

En playas naturales los cambios drásticos en la batimetría, la presencia de corrientes en zonas cercanas a desembocaduras de ríos, y la interacción del oleaje con lecho compuesto por material viscoso (lodos) o altamente permeable (gravas) representan complicaciones adicio-

nales a las teorías de generación de la OI mencionada anteriormente. A partir de mediciones *in situ* es muy difícil aislar y cuantificar cada uno de los mecanismos de generación y disipación de la OI cerca de la costa. Por lo tanto, el uso de modelos matemáticos permite estudiar los diferentes mecanismos de manera controlada. Con el desarrollo de las computadoras ha sido posible utilizar modelos cada vez más complejos capaces de modelar la transformación no lineal del oleaje.

En el presente proyecto se pretende extender un modelo numérico transitorio no lineal de propagación de oleaje que resuelve las ecuaciones de Reynolds promediadas (RANS), con el objetivo de llevar a cabo un estudio riguroso de los mecanismos de transformación de ondas infragravitatorias en medios no homogéneos. Se prestará especial atención será a determinar el papel que juegan las OI en la inundación de playas, el incremento de nivel del mar durante eventos extremos y su transformación al interactuar con fondos de lodo.

OBJETIVO #1: ESTUDIAR LA HIDRODINÁMICA INDUCIDA EN LA ZONA DE ASCENSO Y SUS IMPLICACIONES EN EL TRANSPORTE DE SEDIMENTO

La zona de ascenso o de lavado en playas es aquella que es cubierta/descubierta de manera intermitente a por la acción del oleaje. Su estudio es importante debido a que en ella se lleva a cabo una parte importante del transporte de sedimento en playas, y a que delimita la inundación de estas. Sin embargo, su estudio es complicado debido a que el flujo en esta zona es altamente turbulento. El modelo se adaptó para el estudio de la hidrodinámica en esta zona; para ello se utilizaron las mediciones de velocidad del flujo realizadas por O'Donoghue *et al.* en un canal de la Universidad de Aberdeen. La figura 3 muestra la comparación (círculos abiertos: mediciones; líneas rojas: modelo) de perfiles de velocidad en diferentes puntos de la zona de lavado para un instante determinado.

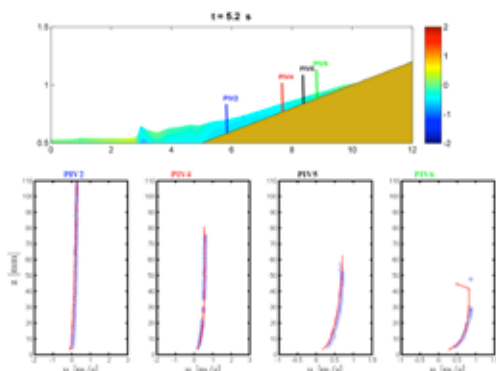


Figura 3. Modelado de los ensayos de O'Donoghue *et al.* (2010). En el panel superior se muestra el campo de velocidades instantáneo y la localización de las mediciones de laboratorio. El panel inferior muestra la comparación entre el modelo y las mediciones en ese mismo instante para las diferentes posiciones.

OBJETIVO #2: ESTUDIAR LA TRANSFORMACIÓN DE OI EN LECHOS DE FANGO

A diferencia de la transformación de OI en playas de arena, los mecanismos de disipación de la energía de OI no ha sido

ampliamente estudiada en lechos de fango. El modelo numérico se adaptó para estudiar la interacción de un tren de oleaje bicromático con un fluido viscoso (lodo) en el fondo. El modelo numérico es validado con unos ensayos de laboratorio llevados a cabo en el Instituto de Hidráulica de Tainan (Liu *et al.*, 2011; Hsu *et al.*, en preparación). El modelo numérico cuantifica la disipación de energía debido a la interacción con el fondo.

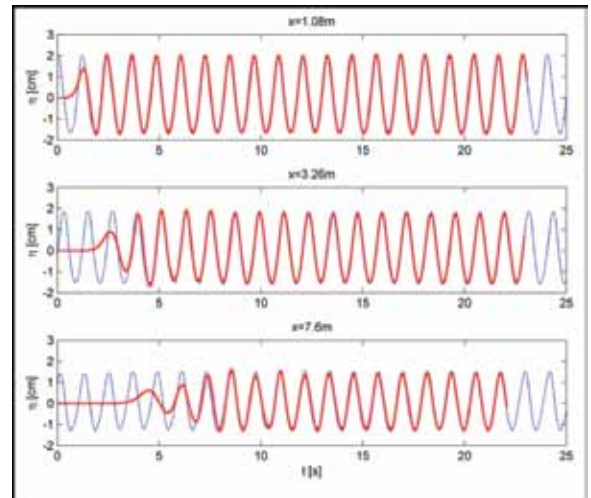


Figura 4. Validación del modelo de Torres-Freyermuth y Hsu (2011) con los ensayos realizados en el Tainan Hydraulic Laboratory (Taiwan)

Posteriormente, se modela la propagación del oleaje sobre un fluido viscoso variando la pendiente del fondo y la viscosidad de la capa de lodo. Se identifican diferentes escenarios de atenuación de la OI dependiendo de la combinación de ambos parámetros. En algunos casos la disipación de la energía ocurre de manera directa, mientras que en otros casos se debe a la transferencia de energía a otras frecuencias (atenuación).

OBJETIVO #3: ESTUDIAR EL ROL DE LA OI EN INUNDACIÓN DE PLAYAS PROTEGIDAS CON BARRERAS ARRECIFALES

Las barreras arrecifales protegen la costa ante la acción del oleaje durante eventos extremos. La rotura del oleaje disipa la energía de onda corta y produce un incremento de nivel medio dentro de la laguna arrecifal. Por otro lado, la OI se propaga dentro de la laguna, y bajo ciertas condiciones resonantes puede amplificarse. Por lo tanto, debe estudiarse la contribución de la OI en la inundación de playas. Para ello, utilizamos un modelo de transformación de oleaje no lineal que resuelve las ecuaciones no lineales de aguas someras (Zijlema *et al.*, 2011). El modelo es implementado en diferentes transectos del arrecife de Puerto Morelos (figura 5) para estimar incrementos del nivel del mar debido al oleaje durante eventos extremos, así como la contribución de la OI a dichos incrementos. Se modelaron varios casos utilizando valores característicos del oleaje de tormenta en la zona ($2 < H_s < 7$ m y $6 < T_p < 14$ s).

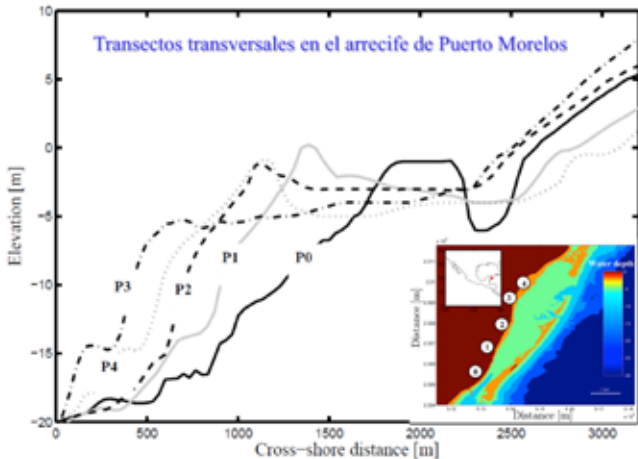


Figura 5. Localización de los transectos a lo largo de la costa protegida por el arrecife de Puerto Morelos

Posteriormente, para cada una de las simulaciones se estimaron las contribuciones al incremento de nivel del mar (*setup* y *OI*) y se calculó el nivel del mar que es excedido el 2 %. Los resultados demuestran que la *OI* juega un papel importante en dicho incremento, y los niveles mayores se obtienen en el extremo sur del arrecife bajo las condiciones de oleaje más extremas. Por otro lado, el extremo norte presentó los valores más pequeños independientemente de las condiciones de oleaje.

Para mayor información sobre este proyecto contacte a los autores dentro de la página del Instituto: www.ii.unam.mx.

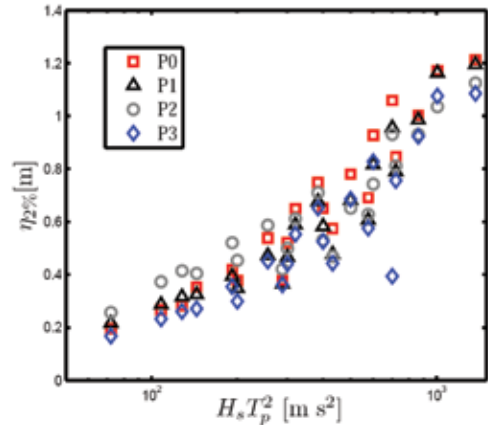


Figura 6. Incremento del nivel del mar inducido por el oleaje cercano a la costa en función de la energía del oleaje en los diferentes puntos a lo largo del arrecife de Puerto Morelos.

TRABAJOS RELACIONADOS

- **Torres-Freyermuth, A.**, I. Mariño-Tapia, C. Coronado, P. Salles, G. Medellín, A. Pedrozo-Acuña, R. Silva, J. Candela y R. Iglesias-Prieto (en arbitraje), Wave-induced extreme water levels in the Puerto Morelos fringing reef lagoon, *Natural Hazards and Earth System Science*.
- **Torres-Freyermuth, A.**, J. A. Puleo, y D. Pokrajac, (en arbitraje) Modeling of swash zone hydrodynamics and bed shear-stresses using Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations, *Journal of Geophysical Research*.
- **Torres-Freyermuth, A.**, W.-Y., Hsu y T.-J. Hsu, (en preparación) Infragravity wave transformation on muddy seabeds, *Journal of Geophysical Research*. 