

Introducción

El manejo sustentable de las zonas costeras requiere de un mejor entendimiento de los procesos regionales que ocurren en ella. Esto permite la reducción de riesgos a la población y daños a infraestructura asociados a la dinámica marina. Sin embargo, diversos investigadores a nivel mundial han reconocido las limitaciones existentes para la comprensión de la respuesta morfológica de una playa ante la acción del oleaje. Dichas restricciones, hacen de la gestión exitosa de la costa, una de las tareas más complicadas dentro del manejo costero (Mason and Coates, 2001).

En consecuencia, investigaciones recientes han abordado el tema desde una perspectiva empírica, la cual establece una respuesta de la playa ante una condición de oleaje incidente (i.e. Dean, 1991 ó Larson et al. 1999). Este tipo de aproximaciones tiene su mayor restricción en su carácter geométrico, pues no consideran la interacción del oleaje con la configuración inicial de la playa, ni el tipo de rotura presente en la costa, ni la variabilidad en las condiciones del oleaje incidente. Estas limitaciones están parcialmente adscritas a la carencia de técnicas de medición en la zona de rompientes, donde ocurren la mayor parte de los cambios morfológicos de una playa, ya que en esta región el flujo se caracteriza por ser altamente no lineal y turbulento, por lo que la explicación de los procesos vía modelación numérica ha sido muy pobre.

Por esta razón, no existe un número tan extenso de trabajos que estudien a detalle los efectos de la hidrodinámica en la zona de rompientes sobre la morfología de playas. Sin embargo, es claro que un mejor conocimiento de la cinemática del oleaje en esta región, permitirá obtener descripciones más apropiadas para determinar el transporte de sedimentos, la respuesta morfológica de una playa, la inundación costera y la seguridad de las estructuras de defensa como diques o rompeolas.

La descripción del oleaje en la cercanías de la línea de costa no es un problema menor, dado que con el inicio de la rotura, las teorías desarrolladas para describir el movimiento oscilatorio del oleaje carecen de validez (Svendsen, 2005). Así, su modelado numérico se ha visto

tradicionalmente inmerso en una serie de suposiciones y el uso de modelos paramétricos basados en un número limitado de observaciones realizadas en campo (i.e. Thornton & Guza, 1983) y laboratorio (i.e. Battjes & Janssen, 1978; Dally et al., 1985).

Los primeros estudios en la zona de rompientes se centraron en obtener mediciones de superficie libre, altura de ola y la variación en el nivel medio para diversas condiciones geométricas de la playa (i.e. Madsen et al. 1997). No fue sino hasta mediados de los años noventa, cuando se observó la necesidad de obtener una mejor caracterización de las variables involucradas durante distintas condiciones de rotura. Por ejemplo, trabajos pioneros como los presentados por Ting y Kirby (1994, 1995, 1996), hicieron evidentes las divergencias entre las velocidades (horizontal y vertical) y la turbulencia generadas durante la rotura de tipo descrestamiento y voluta.

Más tarde, al inicio de la presente década y como resultado del notable avance tecnológico de la instrumentación disponible, se generó un incremento en el número de estudios sobre la generación y destrucción de la turbulencia durante la rotura del oleaje (Svendsen et al. 2000; Cox y Anderson, 2001; Cowen et al., 2003). El uso de equipo sofisticado (Laser Doppler Anemometry y Particle Image Velocimetry) en canales de oleaje en laboratorio, ha permitido una mejor disección de las condiciones del flujo en la zona de rompientes. Sin embargo, dada la complejidad y aleatoriedad del flujo en esta región, diversas preguntas permanecen aún sin respuesta.

De forma paralela a las investigaciones de campo y laboratorio, el desarrollo tecnológico de las computadoras ha permitido el uso de modelos avanzados que resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes con menos simplificaciones. El estudio de procesos relacionados con la transformación (no-lineal) del oleaje durante la rotura con estas ecuaciones, ha sido el objeto de diversas investigaciones a partir de los trabajos pioneros de Lin y Liu (1998a, b). La mayor parte de los primeros esfuerzos con estos modelos, estuvo enfocada en su validación para el estudio de la interacción oleaje-estructura en escala de laboratorio (i.e. Hsu et al. 2002; Garcia et al. 2004; Lin y Xu, 2005; Losada et al. 2008; Guanche et al. 2009).

El uso de modelos numéricos para investigar la interacción entre la hidrodinámica costera y el transporte de sedimentos en playas, ha probado ser una alternativa útil para la extensión del conocimiento sobre morfodinámica costera (Pedrozo-Acuña et al. 2006, 2007; Torres-Freyermuth et al., 2007).

La descripción numérica de ciertos procesos hidrodinámicos, ha facilitado la identificación de los mecanismos necesarios para el mejoramiento de las actuales parametrizaciones del transporte de sedimentos. Por ejemplo, resultados han demostrado la importancia de estadísticos de orden superior (i.e. asimetría) de la velocidad orbital del oleaje (i.e. Drake and Calantoni 2001; Calantoni and Puleo 2006; Elfrink et al. 2006) y la correcta descripción de los esfuerzos cortantes en el fondo (i.e. Hsu and Hanes, 2004), para la obtención de una ecuación apropiada para determinar el transporte de sedimentos en el fondo.

Sin embargo, cabe resaltar que las conclusiones de estos estudios son frecuentemente presentadas de forma genérica y sin incluir ninguna discusión sobre el balance de los procesos hidrodinámicos durante diferentes condiciones de forzamiento (i.e. tipo de rotura). Efectivamente, este balance ha sido recientemente identificado como una prioridad en los estudios abocados a la mejor comprensión del transporte de sedimentos. Así, en estudios de campo y numéricos (Foster et al., 2006; Puleo et al., 2007) se ha dejado de manifiesto la necesidad de examinar conclusiones genéricas bajo distintas condiciones de oleaje.

En consecuencia, a pesar de estos notables avances en el conocimiento, la comprensión de los efectos de la rotura sobre el transporte de sedimentos y el cambio de perfil de las playas siguen siendo bastante rudimentarios. Conclusiones de estos estudios abren la puerta a la integración de resultados provenientes de modelos numéricos de alta resolución, con resultados de cuidadosos experimentos diseñados en laboratorio. Con lo que el propósito de dichas investigaciones, más que centrarse en la validación de la herramienta numérica, consiste en el diagnóstico de procesos a través de una investigación integral a detalle (Pedrozo-Acuña et al., 2010).

El trabajo propuesto en este proyecto, consiste en investigar y cuantificar en presencia de distintos tipos de rotura, los procesos físicos asociados al oleaje. Para ello se utilizan resultados numéricos provenientes de un modelo numérico de alta resolución (i.e. Pedrozo-Acuña et al. 2010) para reproducir las condiciones de flujo simuladas en laboratorio por Ting y Kirby (1994). Dichas modelaciones servirán para comparar algunos de los procesos más relevantes en la dinámica de la zona de rompientes en una playa impermeable con una pendiente de 1:35 bajo el forzamiento de dos condiciones específicas de rotura: voluta y descrestamiento.

Los objetivos particulares de este trabajo son:

- Reproducir las condiciones de laboratorio de Ting y Kirby (1994), por medio de un modelo numérico basado en las ecuaciones promediadas de Navier-Stokes.
- Con base en los resultados obtenidos por el modelo, analizar para ambos tipos de rotura la variación espacio-temporal de la turbulencia, la velocidad horizontal u , la velocidad vertical w y la presión; así como el perfil de superficie libre a lo largo del canal utilizado por Ting y Kirby (1994).
- Analizar el gradiente de presión horizontal en función de la ecuación de Euler en distintos puntos a lo largo de la playa, a fin de comparar al gradiente de presión con la sumatoria de la aceleración local y los términos de advección horizontal y vertical de la aceleración bajo ambas condiciones de rotura.
- Comparar y discutir los resultados obtenidos bajo ambas condiciones de forzamiento.

Por ello, la organización de esta tesis es la siguiente: El **Capítulo 1** introduce al sistema costero y sus componentes. El **Capítulo 2** presenta una descripción de los procesos físicos relacionados con la hidrodinámica de la zona de rompientes. En el **Capítulo 3** se presentan las condiciones de los experimentos de Ting y Kirby (1994), así como la descripción del modelo y las condiciones con las cuales se realizaron las modelaciones numéricas. Así mismo, el **Capítulo 4** presenta los resultados obtenidos por el modelo numérico para ambas condiciones de rotura, voluta y

descrestamiento, así como su análisis y la comparación entre ambos resultados. Finalmente en los **Capítulos 5 y 6**, respectivamente, se resumen las conclusiones y las futuras líneas de trabajo que se han identificado a lo largo de este estudio.