

Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

TESIS DOCTORALES LEÍDAS DURANTE LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS. GRUPO DE DINÁMICA DE FLUJOS AMBIENTALES

Título: Generación y propagación de ondas internas en el Estrecho de Gibraltar: efectos 3D y de rotación.

Autor: José Carlos Garrido Sánchez

Fecha: 2009

Directores: Jesús García Lafuente y Doña Asunción Azofra Baquerizo

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

Las ondas de superficie como las inducidas por el viento o la marea barotrópica son un fenómeno bien conocido y estudiado en el océano, en parte por su cotidiana y directa observación. Sin embargo, existe otro tipo de ondas de gravedad de igual o mayor relevancia, ondas internas o baroclinas, observadas por primera vez hace apenas un siglo (Petterson, 1908). Las ondas internas son generadas fundamentalmente a partir de la interacción de la marea barotrópica con accidentes batimétricos como montañas submarinas y plataformas continentales, y deben su existencia a la fuerza de flotabilidad en flujos estratificados, que actúa como fuerza restauradora. Por la relativa debilidad de ésta frente a la fuerza de la gravedad, ondas internas pueden alcanzar amplitudes mucho mayores que las superficiales, superando en ocasiones los 100 metros de amplitud. Recientemente las ondas internas han sido foco de atención debido al papel que juega en procesos de mezcla vertical y consecuente implicación en fenómenos de escala global (Munk y Wunsch 1998, Garret 2003). En una visión general de la circulación meridional del océano (en literatura anglosajona, "Meridional Overturning Circulation", (MOC), masas de agua cálidas procedentes de zonas ecuatoriales fluyen en superficie hacia altas latitudes donde se enfrían y se hunden hacia profundidades abisales (ver parte derecha de la Figura 1.1). Estas frías aguas retornan hacia el ecuador y el hemisferio Sur describiendo un recorrido de miles de kilómetros (Conveyor belt), aflorando posteriormente en zonas tropicales donde ganan calor y cierran un ciclo de cientos de años que se repite. De la proposición de Sandström¹ (1908) aplicado a un océano que es calentado y enfriado en superficie, se sigue que sin mezcla éste sería un fluido sin movimientos convectivos verticales con una estratificación tipo bicapa: una capa profunda de aguas frías y salinas, y una superficial cálida y de baja salinidad, lo que supondría un desastroso escenario para la vida. Afortunadamente existen fenómenos

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

con energía disponible para procesos de mezcla vertical en el océano: mareas y vientos. A partir de medidas “in situ” de temperatura Munk y Wunsch (1998) dieron una estimación de la energía necesaria para establecer los perfiles verticales de temperatura actuales (suaves, lejos de ser una configuración bicapa) frente a la producción de aproximadamente 30 Sverdrups (30 Sv, 1 Sv = $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de aguas profundas. La potencia destinada a mezcla se estima en 2 teravatios (2 TW, 1 TW = 10^{12} W). La tarea a partir de ese momento ha sido cuantificar cual es la contribución de la marea y el viento en los 2 TW necesarios para mantener la circulación meridional, así como identificar los procesos de mezcla. Observar que el asunto es de gran relevancia, pues sin esta potencia relativamente pequeña (2 TW), los 2000 TW de flujo de calor hacia los polos asociados con la circulación meridional se interrumpirían, con consecuencias climáticas desastrosas.

En la actualidad se cree que la marea es el máximo responsable de los fenómenos de mezcla: la marea barotrópica interactúa con el relieve submarino, genera ondas internas, y finalmente parte de su energía es transformada en mezcla turbulenta (ver parte izquierda de la Figura 1.1). Egbert y Ray (2001) concluyen a partir de datos de altimetría que la marea es disipada en el océano abierto al menos a razón de 1 TW. Esta energía es casi exclusivamente transferida a la generación de ondas internas, pues la pérdida de energía debida a fricción con el fondo en zonas de mar abierto es despreciable. No es así en mares poco profundos, donde la marea pierde la mayor parte de su energía debido a rozamiento, a un ritmo estimado de 2.6 TW. En cuanto al viento, Alford (2003) estima su flujo de energía al océano en 0.47 TW, que junto al teravatio Capítulo 1 5 aportado por la marea no sería suficiente para mantener el MOC, especialmente pensando

en que no toda la energía es empleada en mezcla pues parte es disipada. Tal panorama hace pensar que existen zonas muy concretas en el océano, aun desconocidas, donde se producen procesos de mezcla extraordinariamente efectivos. Esta idea parece corroborarse según un estudio de Niwa e Hibiya (2001), que sostiene que hasta el 84% de la energía baroclina en el Océano Pacífico es generada en unos pocos accidentes del relieve submarino. Numerosas observaciones en los últimos años también revelan la existencia de cuantiosos puntos del planeta donde se generan vigorosas ondas internas (Jackson y Apel 2004). Mucha incertidumbre rodea aún el asunto sobre dónde se disipa la marea, y cuánta de su energía es invertida en la formación de ondas internas. La investigación de este importante asunto viene acompañada en los últimos años de avances en el conocimiento de la dinámica de ondas internas (Apel 2003, Vlasenko 2005), cómo se generan y cómo es su posterior evolución. La presente tesis pretende ahondar en el conocimiento de la generación y propagación de ondas internas en el Estrecho de Gibraltar, uno de los lugares conocidos en el mundo donde existen ondas de extraordinaria amplitud.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

Summary

Three-dimensional and Earth's rotation effects on the generation and propagation of internal solitary waves in the Strait of Gibraltar are studied. These tidally generated waves, with horizontal scale of several hundred meters and even one hundred meters amplitude (maximum vertical isopycnal displacement), are the most spectacular phenomenon occurring in the Strait. The analysis of high temporal resolution observations collected during May 2003 at two different locations of the Strait of Gibraltar is the starting point of the thesis. Data set reveals that during neap tides solitary waves are normally generated during alternative tidal cycles due to the influence of the diurnal tide, which induces a remarkable diurnal inequality. It is shown that diurnal tidal currents in fact considerably modulate the propagation velocity of internal waves. About half the detected solitary wave packets present an anomalous structure: in contrast with classical theory predictions, waves are not rank-ordered within the packet, that is, they do not show decreasing amplitude from the front to the tail, due to the nonlinear dispersion. This fact is investigated within the framework of a three-dimensional, fully nonlinear, nonhydrostatic numerical model. It is shown that this unexpected behaviour is the result of the interaction of internal waves with the irregular bottom topography and lateral boundaries of the Strait, that favour the leakage of energy from the leading wave to the waves behind. The effect of rotation on the dynamics of internal solitary waves in a rectangular channel is also numerically investigated. As it happens in the open ocean, rotation plays a fundamental role in the long-term. When a two-dimensional internal solitary wave enters a rotating channel it evolves into a Kelvin solitary wave that losses energy due to the continuous radiation of Poincaré waves. Eventually secondary Kelvin waves may arise at the tail as a result of reflections from the lateral boundaries, and finally reach the leading wave to produce a quasistable wave packet. Finally the numerical model has been used to investigate the generation process of internal waves at Camarinal sill, in the Strait of Gibraltar. Several scenarios of wave generation, which depends on the barotropic tidal forcing, are identified. Rotation and 3D effects related to local variations of the bottom topography are also evaluated.

Título: Capa límite de fondo y superficial asociada a oscilaciones de múltiple escala: influencia en el transporte de sedimentos y la morfología costera

Autor: Simona Bramato

Fecha: 15 de diciembre de 2008

Directores: Miguel A. Losada y Elena Sánchez Badorrey

Universidad: Granada

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Calificación:

Sobresaliente

Cum

Laude

Resumen

La presente tesis doctoral se estructura en dos partes. En la primera, se han caracterizado las implicaciones en la dinámica litoral y la morfología costera del acoplamiento entre parámetros atmosféricos (viento y presión barométrica), e hidrodinámicos (oleaje y corriente) en la capa límite superficial de una playa natural (Playa de Carchuna, Granada). En la segunda, se ha investigado la dinámica de la capa límite de fondo inducida por flujos oscilatorios estacionarios (grupos regulares y trenes monocromáticos), reproducidos en un canal de generación oleaje-corriente. En la primera parte se han caracterizado los parámetros hidrodinámicos cerca de la costa, empleando perfiladores de corrientes y velocímetros, posicionados fuera de la zona de rompientes, así como los parámetros atmosféricos en la playa, empleando sensores barométricos de presión y anemómetros sónicos bidimensionales. El estudio ha permitido definir el efecto local de la topografía en el campo del viento, junto con la variabilidad espacial, a lo largo de la línea de costa, de la altura de ola significativa y de la dirección media de incidencia del oleaje. Se ha mostrado la existencia física del fenómeno de acoplamiento entre los parámetros atmosféricos e hidrodinámicos, creado por la separación del flujo de aire sotavento de un obstáculo geográfico y cómo este acoplamiento puede reforzar las formaciones morfológicas de gran escala presentes en la línea de costa. Un análisis de las imágenes de una estación de vídeo-monitorización costera, capturadas durante una sucesión de eventos de elevado y moderado contenido energético, ha permitido analizar la evolución de la línea de costa y la recuperación a su estado previo. Este estudio, junto con la evaluación del transporte de sedimentos fuera de la zona de rompiente, ha permitido cuantificar la capacidad potencial de transporte en playas mixtas de arena y grava.

En la segunda parte se ha efectuado un estudio experimental de la hidrodinámica de la capa límite de fondo inducida por flujos oscilatorios estacionarios, caracterizados por bajos números de Reynolds, propagándose sobre fondo fijo e impermeable de profundidad constante, bajo condiciones de teoría lineal de ondas sin rotura. Las medidas han sido realizadas en el canal de generación oleaje-corriente instalado en el Centro Andaluz de Medio Ambiente (CEAMA-UGR), empleando simultáneamente sensores de nivel para la obtención de la superficie libre y anemometría láser (LDV) para la obtención de las componentes de velocidad en la capa límite de fondo. Se ha desarrollado una metodología de análisis de datos de LDV, que tiene en cuenta el carácter de múltiple escala del flujo oscilatorio. La metodología se ha aplicado para definir las componentes de velocidad en la capa límite de fondo inducida, tanto por oleaje monocromático como por un grupo regular. Los perfiles de velocidad, en el caso monocromático, se ajustan bien a la predicción teórica (modelo lineal, laminar), dando confianza a la calidad de los ensayos y a la validez del método de análisis.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

A partir de los perfiles instantáneos de la velocidad en la capa límite, se ha estimado la corriente residual Euleriana inducida por un grupo regular y asociada a las escalas de la onda corta y del grupo. Los resultados experimentales muestran la existencia (1) de inversión de flujo en la capa límite en presencia de grupos regulares estacionarios y, (2) de células de circulación relacionadas con las escalas de la onda corta y del grupo.

Título: Circulation of the Rules Reservoir induced by atmospheric forcing

Autor: Christian Mans

Fecha: 16 de diciembre de 2008

Directores: Miguel A. Losada y Asunción Baquerizo

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

Los procesos hidrodinámicos que ocurren en un embalse se deben a la compleja interacción de un cierto número de factores naturales y humanos, que incluyen: (a) las condiciones hidráulicas del embalse en la zona de captación, (b) el clima, (c) la morfología del embalse, (d) la operatividad de la presa, (e) la limnología y (f) las variaciones estacionales (Wetzel, 2001). La comprensión de los procesos físicos involucrados en la hidrodinámica de un embalse puede ayudar en las fases de gestión del mismo.

Generalmente, la circulación de agua en un embalse, o en cualquier cuerpo cerrado de agua, está dominada por los agentes forzadores atmosféricos (esfuerzo de corte del viento y presión barométrica). El embalse responde a estos agentes produciendo una serie de oscilaciones periódicas, tanto en la superficie de agua (sobrelevación) como internamente (ondas internas). Este proceso a su vez induce la generación de celdas de circulación a lo largo de toda la columna de agua, regulando el transporte de sedimentos, nutrientes, materia orgánica, gases disueltos y la distribución de la temperatura y de la densidad de agua. Dichos factores influyen tanto en la expectativa de vida útil del embalse como en la de los organismos biológicos que viven en el mismo.

Las oscilaciones periódicas estacionarias en un embalse se pueden desarrollar por diversas condiciones forzadoras. La amplitud de la oscilación estacionaria depende de la geometría del lago y de la magnitud del forzamiento atmosférico. En el caso de pequeños lagos, la amplitud puede ser del orden de mm, o cm con condiciones meteorológicas inusuales, aumentando hasta el orden de metros en el caso de grandes lagos (p.ej. la oscilación de 1.83m en el lago de Ginebra,

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Suiza).

Aunque las oscilaciones en los embalses suelen ser relativamente pequeñas, estas pueden producir una oscilación significativa en la vertical y promover la mezcla a lo largo de toda la columna de agua. En consecuencia, el movimiento periódico de las ondas internas puede inducir una elevada tasa de transporte de material orgánico e inorgánico a lo largo del embalse. En particular, este oleaje estacionario induce una capa límite cerca del lecho, donde se verifican los procesos de mezcla más significantes (Bramato, et. al., 2007; Sánchez-Badorrey, et. al., 2008).

Las oscilaciones de la superficie libre ocurren con frecuencia en cuerpo cerrado de agua durante condiciones moderadas de viento. Por ejemplo, durante el paso de un sistema frontal, el incremento repentino de la velocidad de viento, acoplado con la variación de la presión barométrica, puede inducir unas oscilaciones significativas de la superficie de agua (Ward, 1979; Hutter et. al., 1982; Horn et. al., 1986). La frecuencia de ocurrencia de dichos eventos depende de la meteorológica local de la región. En zonas tropicales, estos eventos ocurren casi a diario durante los meses de verano debido al paso de las tormentas extra-tropicales en las horas de la tarde.

La excitación resonante de las oscilaciones en la superficie libre puede verificarse si la frecuencia de los forzadores atmosféricos coincide con la frecuencia de uno de los modos propios de la oscilación. El Mar Báltico es un buen ejemplo de este acoplamiento, donde se verifica que la frecuencia del primer modo es aproximadamente de unas 24 horas, coincidiendo con el ciclo diario de las oscilaciones atmosféricas. Este fenómeno induce una oscilación casi constante del mar en su modo principal.

Sin embargo, en el caso de pequeños lagos, el periodo de los modos dominantes es mucho más pequeño, típicamente del orden de minutos, donde no se verifican picos naturales en el espectro meso escalar meteorológico de distribución de energía. Las formaciones topográficas de elevadas dimensiones pueden inducir armónicos que fuercen el cuerpo de agua debido a (a) la formación de vórtices turbulentos en superficie cuando el flujo de aire pasa alrededor de una montaña o la estructura de la presa y (b) ondas de montaña. Si la frecuencia de la oscilación de los forzamientos atmosféricos coincide con la frecuencia de uno de los modos del embalse, las ondas superficiales y internas generalmente se pueden producir y perdurar en escala casi diaria, dominado completamente la circulación de agua y los procesos de mezcla en el embalse. Estudios recientes en la playa de Carchuna han demostrado cómo la presencia de formaciones topográficas en la playa puede contribuir a reforzar las formaciones morfológicas en la línea de costa debido a fenómenos de separación de flujo (vortex shedding) alrededor de un obstáculo geográfico de elevada dimensión ubicado en un extremo de la playa y la

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

generación de vórtices turbulentos en la superficie de agua que se acoplan con la hidrodinámica cerca de la costa (Ortega-Sánchez, et. al., 2008).

Típicamente, en los modelos hidrodinámicos de un embalse, las condiciones atmosféricas se registran como valores promedios sobre 10 minutos, eliminando así las oscilaciones de elevadas frecuencias de los datos registrados, lo cual representa un tipo de medida estándar para redes meteorológicas y aeropuertos. Sin embargo, en el caso de lagos pequeños, las oscilaciones de alta frecuencia de los forzamientos atmosféricos son importantes porque se encuentran dentro del rango de las frecuencias modales de las oscilaciones de la superficie libre de agua. Por este motivo, en el caso de pequeños embalses sería razonable incluir en los modelos hidrodinámicos de circulación dentro del embalse las oscilaciones de alta frecuencia en las condiciones atmosféricas (frecuencias mayores que 10 min).

Además, no es usual considerar la variación espacial de los forzamientos atmosféricos. Generalmente, las condiciones atmosféricas se miden en una única ubicación, cerca del embalse, y son aplicadas uniformemente a lo largo de la superficie libre. Mientras que dicha hipótesis puede ser válida en embalses ubicados en terrenos expuestos, no describirá con precisión la variabilidad de los forzamientos atmosféricos dentro de lagos circundados por formaciones topográficas complejas, donde es de esperar algunos efectos locales de protección ofrecida por la topografía circundante. Esta simplificación puede inducir errores significantes en embalses ubicados en los valles, donde existe una elevada variabilidad de la velocidad, dirección de viento y presión barométrica en el tiempo y en el espacio a lo largo de la superficie libre del embalse. La presente investigación considera dichos aspectos, mediante el estudio de los parámetros hidrodinámicos de un pequeño embalse ubicado en terreno complejo, empleando una elevada resolución en la descripción de la variación de los forzadores atmosféricos en el espacio y en el tiempo. La respuesta de la superficie libre se simula en detalle empleando un modelo numérico hidrodinámico bidimensional, promediado en la vertical y desarrollado a partir de las ecuaciones lineales de aguas someras. Antes de su aplicación al embalse, el modelo se valida comparando la solución numérica con un cierto número de soluciones analíticas exactas con un embalse simplificado en 1D. El modelo se aplica al embalse de Rules, ubicado en un valle distante unos 20 km del mar Mediterráneo, en la costa sur de España. El embalse es un caso interesante de estudio, porque se encuentra en una región de topografía extremadamente compleja que puede generar unos patrones de circulación atmosférica extremadamente variados. Con la condición de llenado actual, la geometría del embalse es relativamente simple, siendo aproximadamente de forma rectangular, con una longitud mayor orientada a lo largo del eje identificado por la dirección dominante del viento. El modelo permite claramente definir cada respuesta hidrodinámica forzada por los agentes atmosféricos. A medida que aumenta la profundidad la geometría empieza a ser más compleja, con un valle que se separa

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

en dos ramas distintas. Este conduce a una geometría inusual con tres cuerpos de agua de casi la misma longitud, que se juntan en un punto central.

La variación de alta frecuencia de los agentes atmosféricos forzadores (presión barométrica y esfuerzo de corte del viento) y de la respuesta hidrodinámica (sobrelevación de la superficie y perfiles de corriente) se obtienen gracias a medidas de campo en el embalse de Rules. Cuando las frecuencias de los armónicos observadas en los espectros de los agentes atmosféricos coinciden con las frecuencias modales del embalse, se generan oscilaciones de la superficie libre con contribuciones hasta el sexto modo. Los armónicos de alta frecuencia en los agentes atmosféricos se generan a causa de la separación del flujo sotavento de la presa y por efectos de la topografía circundante al embalse.

La variación espacial de los agentes atmosféricos que actúan como forzadores en la superficie libre del embalse, se ha obtenido a partir de simulaciones en un túnel de viento de capa límite. Las simulaciones en el túnel de viento de capa límite representan una técnica novedosa para incrementar la variación espacial de los parámetros atmosféricos en la superficie del embalse. Las características topográficas que rodean el embalse se han modelado a escala 1:3000, simulando una dirección de viento que coincide con la orientación del eje principal del embalse y con la direccionalidad de viento local sobre el mismo. La simulación en el túnel de viento proporciona un mapa de elevada resolución de velocidad media y direccionalidad de viento sobre la superficie de agua, junto con la variación superficial de la distribución de la presión barométrica. Las medidas de campo y la simulación en el túnel de viento se combinan para proporcionar un mapa detallado de alta resolución espacial y temporal de la variabilidad de los parámetros atmosféricos, que se emplean como condiciones de entrada en el modelo numérico para simular la respuesta de la superficie libre. La comparación entre las oscilaciones de la superficie libre obtenidas numéricamente y las oscilaciones medidas en el campo evidencia el buen funcionamiento del modelo. El modelo es capaz de predecir no solo cuál es el modo dominante en el embalse sino también dónde se verifica el máximo desplazamiento vertical.

Además se ha simulado numéricamente la respuesta del embalse con profundidades más elevadas bajo el mismo forzamiento atmosférico, para predecir su comportamiento en condiciones de llenado total e intermedio. Las observaciones no se limitan solo a las situaciones de terreno complejo, sino que pueden ser relevantes en pequeños lagos, embalses y dársenas de puertos ubicados en zonas urbanas, donde fenómenos de separación de flujo y armónicos de alta frecuencia se pueden generar por efecto de los edificios circundantes o de estructuras construidas por el hombre.

Summary

This doctoral thesis investigates the influence of the surrounding local topographical features on the free surface oscillation of

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

a small reservoir in complex terrain. The study shows the high frequency micro-scale atmospheric forcing components ($<10\text{min}$) can produce resonant excitation of the free surface. The high frequency harmonics in the atmospheric forcing are believed to be due to local topography effects and from flow separation off the dam structure.

The water free surface response to the atmospheric forcing is studied in detail with a two-dimensional, depth-averaged, hydrodynamic numerical model developed from the linearized shallow water equations.

The high frequency atmospheric forcing variation (barometric pressure and wind shear stress) and the free surface response are presented from field measurements of a small reservoir located in complex terrain (Rules Reservoir, Granada). At certain times, harmonics in the measured atmospheric forcing are observed in the field measurements, ranging between periods of 200-500 seconds. Surface seiches are generated when the harmonic forcing matches the reservoir eigenmodes, even for low wind speeds.

The spatial variation of the atmospheric forcing on the reservoir water surface is studied from simulations in a boundary layer wind tunnel. The surrounding topographical features are modeled at a scale of 1:3000 for a single wind direction which coincided with the orientation of the principal axis of the reservoir and the local wind directionality above the reservoir. The wind tunnel simulation provides a high resolution map of the mean wind speed and directionality variation over the water surface, along with variations in the water surface pressure distribution.

The measurements from the field study and the wind tunnel simulation are merged together to provide a high resolution map of the spatial and temporal variability of the atmospheric forcing, which are included as loading conditions in the numerical model of the free surface response. The model is shown to accurately simulate the free surface oscillations measured during the field campaign with the reservoir at its current water level. The atmospheric forcing is also applied to simulations of the reservoir with higher water levels, predicting the response of the free surface when it is at full capacity and at intermediate levels. The model demonstrates how different eigenmodes contribute to the response of the free surface at different water levels, modifying the magnitude and location of the maximum oscillations.

Título: Integración del caudal base en un modelo distribuido de cuencas. Estudio de las aportaciones subterráneas en ríos de montaña

Autor: Agustín Millares Valenzuela

Fecha: 16 de diciembre de 2008

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Directores: María José Polo Gómez y Miguel A. Losada Rodríguez

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

Este trabajo aborda el estudio del caudal base para su integración en un modelo hidrológico distribuido a escala de cuenca. La consideración de estas aportaciones subterráneas tiene una gran importancia en la valoración completa de los recursos hídricos disponibles a lo largo del año, pues constituyen, con frecuencia, la única contribución que se mantiene durante periodos largos ausentes de precipitación, tomando especial relevancia en el periodo estival.

En este sentido, se han valorado diferentes aproximaciones a lo largo de este trabajo de investigación encaminadas al modelado de las aportaciones subterráneas a escala de cuenca en el río Guadalfeo, cuya cuenca comprende la vertiente sur de Sierra Nevada, con un comportamiento hidrológico influenciado fundamentalmente por la dinámica de la nieve.

En primer lugar, se ha evaluado la viabilidad de la aplicación de códigos numéricos de flujo subterráneo en medio poroso, con el fin de mantener el carácter distribuido del modelo hidrológico en el que se integra este trabajo. Para ello, se han valorado los diferentes modelos existentes seleccionando el modelo MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988) por incluir diferentes módulos independientes del programa principal que recogen procesos muy específicos del sistema simulado, como el efecto de la evapotranspiración, el estudio de la relación río-acuífero, las extracciones o recargas por pozos, la recarga por la lluvia, etc. Así, se realizaron simulaciones en diferentes acuíferos de la cuenca del Guadalfeo como el acuífero de Lújar, Escalate y Motril-Salobreña. La falta de información necesaria para la configuración de las diferentes condiciones iniciales y de contorno en dichas simulaciones ha puesto de manifiesto las grandes limitaciones en el empleo de estos modelos en cuencas mediterráneas, con información hidrogeológica muy limitada. Tan solo en el acuífero de Motril-Salobreña se ha podido caracterizar la aportación y recarga, si bien los resultados no pueden extrapolarse al resto de unidades, ni las pautas de su comportamiento, por su localización costera en la cuenca y las características de sus materiales.

En segundo lugar, se ha efectuado un estudio indirecto de la relación río-acuífero en la cuenca a partir del análisis de recesión de caudales en puntos de aforo concreto. Se ha desarrollado una metodología de selección y corrección de recesiones a partir de los caudales medidos, que se apoya en el uso de un modelo hidrológico para cuantificar procesos que pueden alterar la relación almacenamiento-descarga en el acuífero, principalmente fusión de nieve, evapotranspiración y precipitación, y que ha permitido identificar y separar fragmentos de recesión a lo largo de todo el año y no sólo para los

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

periodos estivales. La obtención de Curvas de Recesión Maestras ha permitido cuantificar los coeficientes de almacenamiento en las subcuencas de la vertiente sur de Sierra Nevada, así como diferenciar en la respuesta subterránea flujos rápidos, originados por la circulación subsuperficial a través de la red de fracturas superficiales de los materiales de esta zona, y flujos lentos debidos a la descarga desde zonas más profundas del acuífero. Los resultados identifican adecuadamente patrones comunes de comportamiento lineal asociados a la morfología superficial de las fracturas en los materiales que conforman la zona, y han caracterizado el tiempo de respuesta de este flujo con órdenes de 10 días frente a los recesos de origen más profundo, con escalas más lentas de respuesta, entre 17 y 22 días. Los resultados anteriores se han integrado como aportaciones subterráneas en un modelo hidrológico completo a escala de cuenca, con un enfoque semidistribuido que permite capturar la heterogeneidad espacial de la recarga del acuífero y su variabilidad temporal, y que considera el sistema subterráneo como un conjunto de dos depósitos acoplados con diferentes umbrales de descarga y tiempos de respuesta que reproducen los flujos subterráneos rápido y lento caracterizados previamente y que diferencia, además, materiales fracturados de materiales porosos. El modelo es fácilmente aplicable a otras cuencas a partir de información básica correspondiente a medidas de caudal y delimitación de las diferentes unidades hidrogeológicas existentes. La calibración del modelo ha permitido estimar en primera aproximación a partir de las simulaciones de los periodos 2001/02 y 2003/04 las detracciones de agua realizadas por el sistema tradicional de acequias existente en la zona, sin cuantificar propiamente hasta ahora.

Finalmente, se ha realizado una validación del modelo en una zona más amplia de la cuenca, la subcuenca de Órgiva, donde las principales aportaciones en forma de caudal base se corresponden con los materiales nevado-filábrides de las subcuencas seleccionadas en el periodo de calibración, simulando el periodo comprendido entre 2001-2005. Los resultados obtenidos confirman las diferencias entre caudales observados y simulados que, de manera general, se encuentran dentro de las estimaciones de extracción por acequias supuestas para las subcuencas de Cádiar, Trevélez y Poqueira, con un caudal máximo de extracción estimado en 8.2 m³/s. El modelo aporta información muy interesante con respecto al régimen natural de caudales y los volúmenes extraídos acotando la extracción entre el 40-50 % de los caudales superficiales con magnitudes que pueden variar entre 33 hm³ en un año seco y 160 hm³ en uno húmedo.

El trabajo ha permitido cuantificar la gran influencia de la fusión de nieve en el caudal base y su gran relación con la extracción antrópica.

Los resultados se han completado con simulación de un escenario hipotético con aumento de temperatura del 10% y disminución de precipitación del 30% (escenario previsible para 2050, según el informe Impacts of Europe's Changing

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Climate-2008, elaborado por la EEA). En este escenario, las pérdidas de recursos hídricos en esta cuenca asociadas a la disminución de caudal base consecuencia de menor precipitación y fusión de la nieve, y mayor evaporación desde el suelo se han estimado entre 53 hm³ y 72 hm³. El potencial del uso de modelos con base física, aun contemplando de manera global el sistema subterráneo, han quedado por tanto patentes.

Título: Different mechanisms of vortex induced vibration in bridges

Autor: José M^a Terrés Nicoli

Fecha: 15 de diciembre de 2008

Directores: Miguel A. Losada Rodríguez y Gregor A. Kopp

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

La mayor eficacia de nuevos materiales y metodologías de diseño hacen posible puentes de geometrías estilizadas y mayor flexibilidad. El Puente del Tercer Milenio en Zaragoza es un ejemplo de ello. La mayor flexibilidad de estas estructuras las hace más vulnerables frente a la acción del viento en general y a los fenómenos aeroelásticos en particular. La compleja aerodinámica de estas formas no está resuelta.

La vibración inducida por vórtices es un fenómeno aeroelástico que ha sido observado en distintos tipos estructurales: chimeneas de aireación, edificios, puentes, etc. En puentes puede afectar a su conjunto a través de la acción sobre el tablero, pilonas o arcos o parcialmente a cables u otros miembros en su estado final o durante la construcción. Así, este fenómeno fue responsable de vibraciones inaceptables en modos de flexión vertical en el Puente de Storebælt en Dinamarca poco antes de su inauguración.

El Puente de Storebælt es el objeto del núcleo de este trabajo que se centra en el estudio de los modos de vibración vertical y de torsión inducida por vórtices. La transferencia de energía y mecanismos de la interacción dinámica fueron investigados a partir de ensayos de un modelo de sección a escala 1:70. En este marco se diseñó y construyó un nuevo Túnel de Viento de Capa Límite en el Centro Andaluz de Medioambiente. El túnel fue equipado con un dispositivo de ensayo dinámico y estático de modelos de sección. Este sistema, diseñado según el estado del arte, además de puentes puede ser utilizado para ensayos diversos de distintos tipos de estructuras lineales. El nuevo túnel y el dispositivo de ensayo fueron evaluados

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

satisfactoriamente mediante comparación con resultados de referencia del Túnel de Viento canadiense de ambos Puentes del Tercer Milenio y Storebaelt.

Los ensayos del modelo de sección del Puente de Storebælt, objeto de esta investigación, se llevaron a cabo en este túnel y en el Boundary Layer Wind Tunnel I de la Universidad de Western Ontario en Canadá. La respuesta general observada presentó una histéresis considerable, de modo que la amplitud de la respuesta depende sensiblemente si la velocidad crítica se fija aumentando desde velocidades menores o al contrario. El inicio de la vibración se ha asociado al desprendimiento de vórtices en el borde de salida del tablero para ambos modos de vibración. No obstante, los mecanismos responsables de la evolución de la amplitud de las mismas difieren. Así, en el caso de la vibración en modo de torsión se han identificado estructuras asociadas a vorticidad moviéndose por convección con el flujo medio, como responsables de las vibraciones de máxima amplitud. El cambio en la estructura del campo de presiones, de la zona de separación en particular, a partir de un determinado ángulo de ataque se ha asociado con el origen de las estructuras señaladas.

La capacidad de disipación de energía del sistema ha sido caracterizada para las distintas fases de evolución de la respuesta. Esta caracterización permite la evaluación del nivel de amortiguamiento aerodinámico, concepto ampliamente utilizado en los modelos de predicción de la respuesta. Finalmente y en contraste con los mecanismos de vibración anteriores que involucran al puente de forma íntegra, se presenta el caso una tipología particular de puentes en construcción. En concreto el estudio se centra en un problema recurrente de tableros formados por vigas doble T Vigas antes de que se ejecute la sola sobre la mismas. Se ha identificado la emisión de vórtices a sotavento del alma como responsable de vibraciones -en línea- en flexión lateral. Por último se proponen simples medidas aerodinámicas.

Título: Lagunas litorales intermitentes en Andalucía, un modelo para la gestión

Autor: Isabel M^a Moreno Aranda

Fecha: 15 de diciembre de 2008

Directores: Miguel A. Losada, Asunción Baquerizo y Alberto Ávila

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Resumen

Coastal lagoons are transitional water bodies located on coastal areas isolated from the sea by a barrier but joined to it through an inlet. The conjunction of an important number of agents in these areas stimulates the appearance of gradients and a high productivity. This fact lets coastal lagoons interchange mass, momentum and energy between the ocean and the continent and also with the atmosphere. This task has a great importance for the maintenance of environmental processes with interest at the local and the global scales, being defined as essential and unique.

Andalusian coastal lagoons have the following main characteristics: smallness, intermittence, shallowness, high area/depth ratio, one dimensional morphology and no appearance of flood or ebb-deltas.

Actually, authorities are giving importance to wetlands due to their ecological and socio-economical functions. If a lagoon accomplishes these functions, it has a regular behavior; if not, the system moves into a failure mode. This mode entails some environmental or socio-economic risks, which depends on the probability of failure and its consequences.

The analysis of the theoretical behavior of coastal lagoons and the development of some tools to simulate the response of the system to different agents is a necessary requirement for integrated coastal managing purposes. This reasoning constitutes the main justification of this thesis.

In order to facilitate managers' decision process, a simple numerical model reproducing the most important responses of coastal lagoons is implemented (Chapter 3). Before that, a qualitative description of these systems (Chapter 1) and of the interactions between coastal lagoons and agents (Chapter 2) is developed, being focused all the work on Andalusian coastal lagoons. Finally, the model has been applied to a specific coastal lagoon located on the Atlantic coast of Andalusia (Chapter 4).

Agents causing evolution of coastal lagoons are: astronomical tide, meteorological tide, storm surge, waves, rainfall and river discharge, solar radiation and evaporation. Instantaneous, state and basic variables are identified for each of the agents when possible. The variables describing the system are also exposed. The responses of coastal lagoons to the agents are described in more detail, taking special relevance inlet opening and closure and inlet equilibrium.

To simulate coastal lagoons quantitative responses, I have implemented a numerical model reproducing hydrodynamic, sediment transport and energy balance in Matlab language. The geometry of most of Andalusian coastal lagoons makes a 1-D approach accurate enough, and therefore, Saint-Venant equations are solved using a numerical scheme: MacCormack-TDV (García-Navarro et al., 1992) with the improvements of the improved mass conservation method (Tseng, 2003). The

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Courant-Friedrichs-Lévy condition (CFL) is used as stability criterion. Dry and wet technique is implemented to simulate intermittency. This model is verified with some the analytical solutions of Ippen (1966) for simple cases.

Sediment transport is computed by Van Rijn (1984a, 1984b) empirical formulation; Exner equation is used for sediment conservation. Energy is computed according to the eulerian balance proposed by Stull (2000).

Eventually, the model is applied to a real study case: Zahara de los Atunes lagoon (Barbate, Cádiz). This coastal lagoon is closed almost all the year except during the summer, when it is artificially open. The bay is 1300 m long, 50 m width and 0.6 m depth. Inlet, when open, is 160 m long and 13 m width. This lagoon has some environmental problems related to water quality and flooding.

The numerical model is calibrated with measured data collected by three current meters (two vectors and an ADCP) and a meteorological station during a field trip. Manning's roughness coefficient is used for calibration. After that, some tests are carried out to understand the lagoon hydrodynamics when working on operational or extreme conditions.

The main results of the application of the model to the Zahara de los Atunes coastal lagoon are that the bay tide shows a pumping-mode response and an asymmetric damped oscillation when compared with the ocean tide. The lagoon is flood-dominated, which means that it is a sink for marine sediments and that the inlet tends towards closure. This hypothesis has been also checked with the Escoffier curve and the stability criterion of Byrne et al. (1980). Moreover, the water renewal in the upper part of the lagoon is scarce, causing water quality problems even when the lagoon is open. Regarding the sea level rise, if Losada et al. (2008) hypothesis of 2-3 meters of sea level rise by 2300 become true, Zahara de los Atunes village will result almost completely flooded by then.

The recommendations for this lagoon are to increase the inlet cross-sectional area, when the inlet is artificially opened, to values near the Escoffier curve stability point. In this way, the lagoon would remain open for a longer period of time and the tidal prism would be higher, facilitating water renewal and improving water quality. It would be also interesting to open the lagoon not only during the summer, but also during the winter. Events and mainly storms would remove sediments from the inlet, contributing to the opening maintenance. In the long term, preventive policies should be prepared to minimize the economical losses and the Zahara de los Atunes population migration.

Título: Comportamiento aerodinámico de un dispositivo ahuyenta aves y estudio de campos de viento sobre topografía compleja

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Autor: Juan Antonio Cuesta

Fecha: 16 de diciembre de 2008

Directores: Miguel A. Losada Rodríguez

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

En el primer capítulo de esta tesis se analiza la aerodinámica de los dos cuerpos bajo condiciones de viento homogéneo. Se trata de dos cuerpos de geometría sencilla que se suspenden de las catenarias de las líneas de distribución. Su objetivo es hacer visible el cableado evitando así que las aves colisionen contra él. Para ello utiliza la energía del viento que transforma en una dinámica que genera emisión de destellos luminosos.

Para estudiar las características de estos movimientos se ha recurrido a un estudio mixto experimental-numérico. La primera fase, experimental, consiste en la medición, en un túnel de viento de capa límite, de las presiones que el fluido ejerce sobre el cuerpo. Estas mediciones se realizan en dos fases. En una primera se miden exhaustivamente sobre cada una de las caras de los prototipos. Este conocimiento permite disminuir el número de puntos de control para la segunda fase de los ensayos. En ella se miden, simultáneamente, las presiones en todas las caras.

Con los conocimientos obtenidos en esta segunda fase se pueden determinar las fuerzas ejercidas por el viento y, por tanto, pasar a la fase numérica de este primer capítulo. En ella se modelizan las ecuaciones de movimiento de los dos cuerpos para obtener las características del movimiento (posición, velocidad y aceleración) en todo momento.

De esta manera se hace posible caracterizar el comportamiento dinámico de los cuerpos bajo diferentes direcciones y velocidades de viento, aclarar los balances energéticos presentes, valorar la influencia del perfil de velocidades empleado así como extraer conclusiones acerca de las ventajas y problemas que cada uno de los prototipos presenta. La resolución se contrasta con una comparación con un modelo linealizado.

En el segundo capítulo de la tesis doctoral, el doctorando realiza un estudio acerca de la modificación de un flujo de viento de características conocidas (capa límite atmosférica) cuando se encuentra con una topografía compleja. Tras realizar un análisis del estado del arte se opta por utilizar un estudio experimental en túnel de viento de capa límite.

Para ello se modela la capa límite entrante a una escala geométrica de 1:3000. De entre los diferentes métodos existentes en la literatura existente, se opta por sistemas naturales pasivos, concretamente mediante la inclusión de una barrera de baja

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

altura en la solera del túnel. Esto permite caracterizar adecuadamente el perfil entrante, tanto en términos de velocidades medias como de intensidades de turbulencia. Si bien, en este segundo aspecto, la simulación es, aún, mejorable.

Hecha esta simulación se pasa a la medición del perfil de velocidades en el modelo topográfico. Se realizan medidas en una colina de baja altura cercana a la desembocadura, por ser un accidente comparable con los resultados previstos en códigos y trabajos semejantes. Los resultados obtenidos son satisfactorios.

El capítulo se cierra con la exposición de las mediciones realizadas en el campo, en tres localizaciones del cauce que permiten discernir el clima local de manera adecuada.

El último capítulo sirve para unir todos los trabajos expuestos anteriormente. En él se estudia el comportamiento aerodinámico de los dos cuerpos cuando se enfrentan a las condiciones de viento reales no idealizadas, para lo que se recurre a las imperantes en la cuenca del río Guadalfeo. De esta manera se valora el efecto de un viento real sobre la dinámica de los dos cuerpos y se observan las diferencias existentes con un flujo homogéneo. Por último, como fin de los trabajos se presenta un estudio del funcionamiento de uno de los dos cuerpos suspendido durante un periodo de 24h en una de las localizaciones en las que existen mediciones en el campo.

Título: Procesos hidrodinámicos en diques mixtos y efectos de escala

Autor: Dulce María Pérez Romero

Fecha: 15 de diciembre de 2008

Directores: Miguel A. Losada y Miguel Ortega

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

Esta tesis doctoral se centra en el estudio de la interacción de ondas de gravedad con diques mixtos y espaldones con la finalidad de optimizar los diseños. Para ello, se abordan tres temas centrales: 1) la interacción de un tren de ondas con un

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

dique permeable, 2) las leyes de presiones y subpresiones en diques mixtos y, 3) la incidencia oblicua del oleaje y su efecto en el diseño de espaldones.

Interacción de un tren lineal de ondas con un dique vertical permeable y efectos de escala. Se presenta un método simple para evaluar el comportamiento de un dique permeable cuando interactúa con un tren de ondas regular sin rotura. Utilizando un modelo potencial para la propagación de una onda en un medio poroso y una serie de experimentos en un dique rectangular permeable construido con diámetro de piedra uniforme, se ha obtenido un diagrama de fricción característico considerando el balance de energía en la sección. Los resultados muestran que el proceso de reflexión alcanza un régimen de saturación para una determinada anchura del dique dentro del rango de $0.2 < x/L < 0.45$, siendo x la distancia de propagación de la onda dentro del dique. Para anchuras mayores, el coeficiente de reflexión se mantiene constante, con excepción de las condiciones resonantes. En todos los casos la transmisión decrece de manera exponencial. Bajo estas condiciones, es posible asumir que la propagación de la onda a través del medio poroso depende solamente del diámetro relativo (D/L) y de la porosidad del material; la dependencia con la anchura relativa (B/L) y el cociente del diámetro entre la altura de ola (D/H) es débil. El diagrama que se ha obtenido pretende ser una herramienta simple para la evaluación preliminar de la eficiencia de diques, así como para la adecuada selección de diámetro del material para minimizar el efecto escala en ensayos de laboratorio.

Presiones y subpresiones en un dique mixto y efectos de escala. Mediante una serie de ensayos realizados en el canal de ola-corriente de la Universidad de Granada, se estudian las variaciones en las leyes de presión y subpresión en un modelo de dique mixto idealizado para condiciones de oleaje sin rotura. En los ensayos se ha variado la cota de cimentación del cajón y el tamaño de las piedras con las que se construye la banqueta donde descansa la estructura. Con los resultados obtenidos se han estudiado los efectos de escala en la medición de subpresiones en modelos de escala reducida. Asimismo se han obtenido dos diagramas de fricción para estimar la pérdida de carga en la embocadura y la resistencia al flujo dentro del medio poroso.

Los resultados muestran que cuando la cimentación del cajón coincide con el nivel del mar de cálculo, la reflexión del oleaje se produce principalmente en el medio poroso. Por esta razón, el diámetro de las piedras con las que se construye la cimentación juega un papel importante en la determinación de procesos como el ascenso de la ola y las distribuciones de presión y subpresión en el cajón. El incremento en el diámetro de la banqueta de cimentación produce una disminución en la resistencia al flujo, mayor subpresión pero una reducción en el coeficiente de reflexión y en el empuje horizontal en el paramento frontal. En el caso de disminuir el diámetro de las piedras se producen los procesos contrarios. Cuando la cota de

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

cimentación se encuentra por debajo del nivel del mar de cálculo, la reflexión de la onda se produce principalmente en el cajón, por lo que los valores del coeficiente de reflexión son cercanos a la unidad. En estos casos la influencia del tamaño de las piedras que forman la cimentación se debilita a medida que aumenta la sumergencia del cajón. La resistencia al flujo se incrementa considerablemente por lo que la transferencia de energía a través de la banqueta se reduce al igual que las subpresiones. En las tres configuraciones analizadas la subpresión en la parte final del cajón no fue nula. Los resultados mostraron que las principales variables que rigen el proceso son la anchura relativa del dique con respecto a la longitud de la onda y la cota de cimentación del cajón. Los casos en los que se puede considerar despreciable es cuando el cajón está prácticamente cimentado en el fondo. En el análisis de los efectos de escala en la medición de subpresiones se observó que en la parte inicial del dique ($x/L < 0.4$) las mediciones de presión entre modelo y prototipo presentan una buena aproximación, sobre todo en los casos en los que la porosidad del modelo y prototipo es muy similar. Las mayores distorsiones se presentan en la parte final del dique, donde las pérdidas que ha sufrido el flujo al propagarse al interior del medio ocasionan grandes diferencias entre modelo y prototipo.

Efectos de la incidencia oblicua del oleaje. Se analizan los procesos de transformación que tienen lugar cuando un tren de ondas alcanza un dique en talud con gran oblicuidad, así como sus repercusiones en la estabilidad de las piezas del manto principal y del espaldón. El estudio se realiza utilizando datos provenientes de dos series de ensayos para verificar el comportamiento de las obras propuestas para la ampliación del Puerto de Gijón, a cargo de la Universidad de Granada y el laboratorio HR Wallingford. Se presta especial atención a la distorsión que sufren los trenes de onda en las cercanías del dique, fenómeno que tiene su origen en el desarrollo de un patrón de reflexión no lineal que genera una ola que se propaga paralelamente a la estructura modificando sustancialmente la hidrodinámica. Los resultados muestran una disminución en los procesos de ascenso y descenso máximo sobre el talud debido a la orientación de la rotura. La estabilidad de las piezas del manto se ve afectada por la acción conjunta de fuerzas de arrastre longitudinales y pequeñas fuerzas transversales de ascenso y descenso inducidas por la rotura. Esta combinación da lugar a que el flujo ejerza un esfuerzo tangencial sobre las piezas que tiende a separarlas del manto. Aunque el dique presenta mayor estabilidad bajo estas condiciones, una vez que se produce la avería su progreso es mucho más rápido que para incidencia normal. El proceso de rebase también sufre modificaciones, la lámina de agua que rebasa asciende por el talud, se apila en la parte frontal del espaldón y se desborda. Este comportamiento indica la ausencia de la presión dinámica, característica de los impactos frontales. Para verificar esta hipótesis se analizan las distribuciones de presión sobre un espaldón para tres ángulos de incidencia: $\alpha = 12^\circ$, 43° y 82° . Los resultados indican que la presión dinámica disminuye a medida que el ángulo de incidencia se incrementa. Este

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

comportamiento abre la posibilidad de modificar el diseño de los espaldones. En este trabajo se modifican las formulaciones de diseño propuestas por Martín (1995) para su aplicación en condiciones de oleaje oblicuo y muy oblicuo, y se presenta un caso de aplicación.

Título: Procesos de múltiple escala en la evolución de la línea de costa

Autor: Alberto Ávila Armella

Fecha: 19 de diciembre de 2007

Directores: Asunción Baquerizo y Miguel A. Losada

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

El trabajo trata la evolución morfológica de la línea de costa a través del análisis de procesos de tres diferentes escalas: corto plazo (a escala de evento), medio plazo (décadas) y largo plazo (milenios).

En el corto plazo se estudia la interacción de ondas de borde con estructuras costeras. Se analiza la formación de patrones rítmicos bajo condiciones de oleaje extremo, en términos de la oscilación parcialmente estacionaria formada por la superposición de una de onda de borde incidente y una reflejada en la estructura. El coeficiente de reflexión se evalúa con un modelo existente para la propagación de ondas de borde a través de estructuras permeables perpendiculares a la costa, modificado para tratar perfiles batimétricos arbitrarios, ampliándose el rango de validez a condiciones más realistas. El modelo se aplica a observaciones hechas en la estación experimental FRF (USACE, Duck, Carolina del Norte), donde los patrones de transporte de masa, debidos a la onda estacionaria, concuerdan con las formas cuspidales y barras crescénticas detectadas en el sitio tras una serie de temporales.

Para el largo plazo se presenta un modelo conceptual de tipo relajación que describe la respuesta del perfil costero al forzamiento ejercido por la evolución eustática del nivel del mar. Se analiza la relación de cada término con características físicas del litoral. Se presenta una curva tentativa de las variaciones del nivel del mar durante el holoceno y se aplica al modelo para evaluar sus resultados bajo condiciones genéricas. Se emiten conclusiones sobre las tendencias esperadas en la evolución a largo plazo de la costa, tomando en cuenta el carácter acumulativo del proceso.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Como proceso de medio plazo se trabaja en la modelación de la evolución de la línea de costa en áreas influenciadas por desembocaduras. A diferencia de las formulaciones tradicionales se hace un desarrollo para cuencas de dimensiones reducidas en climas semiáridos, regidas por los eventos extremos, incluyendo los efectos de obras de regulación en los ríos. Se implementan un modelo de flujo en cauces naturales y uno de evolución de la línea de costa tipo one-line. Ambos se validan y calibran en la cuenca.

Título: Efectos en la dinámica marina de las pulsaciones atmosféricas y la fricción en el fondo

Autor: Elena Quevedo Baquerizo

Fecha: 19 de diciembre de 2007

Directores: Asunción Baquerizo, Miguel A. Losada y Paolo Blondeaux

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude. Doctorado Europeo

Resumen

En esta tesis doctoral se han estudiado los efectos que tienen en la dinámica marina dos procesos diferentes que actúan en las fronteras del fluido: (1) las pulsaciones atmosféricas que se inducen a sotavento de un obstáculo geográfico, y que son capaces de modificar el flujo del agua generando ondas de borde en la costa cuando actúan en la superficie libre del mar; y (2) los procesos que tienen lugar en la capa límite del fondo bajo ondas gravitatorias, donde la fricción viscosa y turbulenta es capaz de disipar energía del oleaje, atenuando así el movimiento oscilatorio.

La tesis se ha dividido por tanto en dos partes, en las que se analizan, respectivamente, la generación de ondas de borde por la acción de pulsaciones barométricas sobre la superficie del mar y su efecto en la morfodinámica costera; y el efecto de la fricción con el fondo en ondas gravitatorias de amplitud finita, en régimen de Stokes-II. El forzamiento de ambos procesos actúa en la frontera del cuerpo fluido, el primero en la superficie, y el segundo en el fondo; y en ambos casos se modifica la hidrodinámica marina en sentidos opuestos: en el primer caso la interacción del agua con la atmósfera resulta en la generación de una oscilación, y en el segundo caso, la interacción del agua con el fondo produce la disipación de energía del oleaje.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

En la primera parte de la tesis se ha desarrollado un modelo hidrodinámico que predice la generación de puntas y ensenadas en la plataforma continental interior, como consecuencia de los vórtices turbulentos de viento actuando sobre la superficie del mar a sotavento de un obstáculo geográfico como un cabo, una isla o una construcción humana.

Para ello se ha modelado el campo de presiones a sotavento de un obstáculo en condiciones de viento intensas, teniendo en cuenta los vórtices emitidos y atrapados, y se ha obtenido que la respuesta del agua a dicho forzamiento es una combinación de ondas de borde progresivas y estacionarias capaces de generar formas litorales de gran escala en la línea de costa. Se ha encontrado también que la morfología resultante refuerza la oscilación estacionaria, produciendo una retroalimentación positiva del sistema, que resulta auto-forzado.

Este modelo ha sido aplicado a las puntas y ensenadas de la playa de Carchuna (Granada). Por un lado, se han analizado las imágenes correspondientes a los días en los que se dan las condiciones atmosféricas propicias para la emisión de vórtices desde el Cabo de Sacratif, encontrándose en ellas patrones que sostienen el modelo analítico desarrollado. Por otro lado, se ha descompuesto la línea de costa en dos sistemas morfológicos regulares, y se ha encontrado que las longitudes de onda de los sistemas morfológicos observados y predichos son concordantes.

Por lo tanto, se puede concluir que el mecanismo analizado da una explicación plausible de cómo han sido generadas las puntas y ensenadas de Carchuna, y que la presencia de obstáculos geográficos o construcciones humanas cerca de una playa puede causar la generación de formas de gran escala en su línea de costa, alterando significativamente la anchura de playa.

En la segunda parte de la tesis se han analizado los procesos que tienen lugar en la capa límite del fondo, bajo ondas no-lineales sin rotura. El análisis se ha centrado en las características hidrodinámicas más relevantes en el estudio del transporte de sedimentos y en la atenuación de las ondas, es decir, en la corriente estacionaria y la tensión tangencial en el fondo, la energía cinética turbulenta y la disipación de energía debido a la fricción viscosa y turbulenta.

Se ha desarrollado un modelo no-lineal que incluye la atenuación de la altura de ola, y en el que las tensiones turbulentas han sido descritas siguiendo el modelo de dos ecuaciones de Saffman (1970, 1974). Así, se ha resuelto analíticamente el flujo en el núcleo del fluido y en la capa límite para el caso laminar, y numéricamente el caso de flujo turbulento en la capa límite.

Se ha aplicado dicho modelo a una serie de casos de ondas de igual periodo que se propagan sobre la misma profundidad, pero con diferentes valores del peralte y de la rugosidad de lecho, con el fin de estudiar el efecto de estos dos parámetros en las características hidrodinámicas analizadas. Se ha encontrado que dicho modelo describe satisfactoriamente el flujo en la

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

capa límite laminar y turbulenta, para los regímenes hidráulicos liso y rugoso, y que permite obtener relaciones entre los parámetros que gobiernan el flujo y las características hidrodinámicas de la capa límite de interés para el estudio del transporte de sedimentos y la disipación de energía del oleaje.

Summary

In this PhD Thesis the effects on the ocean dynamics of two different processes that act on the boundaries of the fluid are studied: (1) the atmospheric pulses induced on the lee side of a geographic obstacle, which, by acting on the free sea surface, are capable of modifying the water flow generating edge waves; and (2) the processes that take place in the bottom boundary layer under gravitatory waves, where the viscous and turbulent friction is capable of dissipating the wave energy, thus damping the oscillatory movement.

Thus, the thesis consists of two parts, where the generation of edge waves due to barometric pulses acting on the sea surface and its effect on coastal morphodynamics, and the effect of bottom friction on finite amplitude gravitatory waves, in Stokes-II wave regime, have been analyzed respectively. The forcing of both processes acts on the boundary of the fluid body, the first one on the sea surface and the second one on the bottom; and in both cases the ocean hydrodynamics is altered, in opposite directions: in the first case the air-sea interaction leads to the generation of an oscillation, while in the second case the interaction of the water with the bottom produces the dissipation of wave energy.

In the first part of the thesis, it has been developed a hydrodynamic model that predicts the generation of horns and coves on the inner continental shelf, resulting from turbulent wind vortices blowing over the sea surface on the lee side of geographic obstacles (e.g. capes, islands, skyscrapers etc.).

Thus, the pressure field on the lee side of an obstacle has been modeled under intense wind conditions, taking into account the vortex shedding and the reattachment of the flow, to find that the sea response for that forcing is a combination of progressive and stationary edge waves that are capable of generating large-scale coastal features on the coastline. It has also been found that the resulting morphology reinforces the standing edge wave pattern, produces positive feedback, and exhibits self-forcing behavior.

This model has been applied to the horns and embayments found at Carchuna Beach (Spain). On one hand, it has been analyzed the set of images corresponding to the days in which the atmospheric conditions were propitious for the production of wind vortices on the lee side of Cape Sacratif, to find patterns of pulses on the sea surface that sustain the developed model. On the other hand, Carchuna's coastline has been decomposed into two regular patterns of features, and it has been found a good agreement between the wavelengths of the observed and predicted morphologic systems.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Therefore, it can be concluded that the analyzed mechanism offers a plausible explanation of how the points and coves of Carchuna Beach have been generated, and that the presence of geographic obstacles or human constructions close to a beach may cause the formation of large-scale features on its coastline, significantly altering the beach width.

In the second part of the thesis, the processes that take place in the bottom boundary layer under non-linear non-breaking water waves have been analyzed. The analysis focuses on the most relevant hydrodynamic features for the study of sediment transport and wave damping, that is, on the bottom shear stress, the steady streaming, the turbulent kinetic energy and the dissipation of energy due to viscous and turbulent friction.

A non-linear model that includes the wave height attenuation has been developed, in which the turbulent shear stresses have been described following the two-equation model of Saffman (1970, 1974). Then, it has been solved analytically the wave motion in the core region of the fluid and in the bottom boundary layer for the laminar case, and numerically in the turbulent case.

The model has been applied to a number of wave cases with the same period and propagating over the same depth, but with different values of the wave steepness and the bottom roughness, in order to study the effect of these two parameters on the analyzed hydrodynamic features. It has been found that such model describes satisfactorily the flow in the laminar and turbulent bottom boundary layer, and for both the smooth and rough hydraulic regimes, and that it allows to obtain general relations between the parameters that control the flow and the hydrodynamic features of the bottom boundary layer that are of interest for the study of sediment transport and wave energy dissipation.

Título: Comportamiento de los diques en talud frente a la acción del oleaje y criterios para el reparto de la probabilidad conjunta de fallo en la vida útil

Autor: María Clavero Gilabert

Fecha: 19 de diciembre de 2007

Directores: Miguel A. Losada y Miguel Ortega Sánchez

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Un dique de abrigo es el elemento que proporciona abrigo a la dársena de un puerto, protegiéndola de las oscilaciones del mar. La tipología de dique empleada en España es la de dique en talud, que se puede emplear ante cualquier condición de rotura del oleaje. En esta Tesis Doctoral se profundiza en el conocimiento del comportamiento hidrodinámico de los diques en talud con objeto de optimizar su diseño. Para ello se ha planteado el estudio del dique en talud frente a dos modos de fallo principales: (i) un modo de fallo adscrito a estados límite operativos (rebase) y (ii) un modo de fallo adscrito a estados límite últimos (extracción de piezas del manto principal).

En el estudio del modo de fallo rebase se ha escogido el caso de un dique muy emergido o poco rebasable, analizando la importancia de los procesos de interacción oleaje-dique. Para ello se han definido las variables que intervienen en el proceso, presentándose su función de probabilidad. Se han analizado los procesos que producen rebase, concluyéndose que el tipo de rotura condiciona el proceso. Se han propuesto dos modelos de cuantificación del rebase, en el dominio de la disipación y en el de la reflexión, que relacionan la descripción del pulso de rebase con las características del oleaje incidente. Los modelos se han validado experimentalmente mediante ensayos en canal de oleaje. Finalmente se propone un nuevo método para el cálculo del rebase en un dique en talud, basado en los modelos expuestos.

El estudio del modo de fallo extracción de piezas del manto principal tiene como objetivo optimizar el diseño de los diques en talud, buscando una sección de máxima estabilidad, en la cual no se produzca extracción de piezas ante ningún estado de mar, y por tanto eliminando de los costes del dique aquellos debidos a mantenimiento y reparación. Para ello, (i) Se han repetido los ensayos realizados por Benedicto (2004) a diferente escala, con el fin de verificar los resultados (ii) Se han realizado ensayos sobre una sección de máxima estabilidad con núcleo impermeable. La repetición de los ensayos ha verificado los resultados obtenidos en los ensayos previos respecto al comportamiento del dique, obteniéndose por tanto una sección de dique de máxima estabilidad, caracterizada por una sección tipo en S y una colocación organizada de las piezas en los tres taludes que componen el dique. Finalmente se ha ensayado en modelo físico la sección de máxima estabilidad con núcleo impermeable, observándose un comportamiento similar al de la sección de máxima estabilidad obtenida en los ensayos anteriores. Así, el nuevo diseño de dique en S (versión mejorada del dique berma) permitirá reducir el peso de las piezas del manto principal y reducirá o eliminará los costes de mantenimiento y reparación del dique.

Finalmente, se estudia la optimización del diseño de un dique en talud mediante el análisis de los criterios para el reparto de la probabilidad conjunta de fallo en la vida útil. Se ha desarrollado la metodología para el cálculo de la probabilidad conjunta de fallo de un dique de abrigo. Posteriormente se han elegido tres modos de fallo adscritos a ELU de un dique en talud, y mediante la anulación de la probabilidad de fallo de cada uno de los modos seleccionados se ha comprobado cómo mayores

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

inversiones en partes concretas de la obra no implican necesariamente un aumento de la estabilidad total del dique. Se ha comprobado además que es necesario conocer la evolución de la avería de cada modo de fallo para evaluar qué inversiones son las más rentables frente a la estabilidad de la obra.

Summary

Breakwaters protect an anchorage from the effects of the weather, littoral drift or sea oscillations. The typology of the most common breakwater in Spain is the mound breakwater, which can be used under any condition of wave breaking. This PhD Thesis deepens the knowledge of the hydrodynamic behaviour of mound breakwaters to optimize the design. Therefore, this work concentrated in two principal failure modes: (i) a failure mode assigned to operational limit states (overtopping) and (ii) a failure mode assigned to ultimate limit states (extraction of pieces of the main outer layer).

The failure mode “overtopping” has been studied for the case of an emerged breakwater, analyzing the importance of the interaction between the incoming wave and the breakwater. The variables that control the process have been defined and the main processes responsible of the overtopping have been studied, concluding that the wave-breaking type determines the process. Two models to quantify the overtopping have been proposed: (1) dissipative and (2) reflective, which relate the overtopping pulse with the incident wave. The models have been experimentally validated through tests in wave flume (CEAMA-UGR). Finally, a new method for the calculation of overtopping over mound breakwater based on those models has been proposed

The main objective of the study of the failure mode “extraction of pieces of the main outer layer” is to optimize the design of mound breakwaters, through the definition of a section of maximum stability, in which extraction of pieces does not take place under any sea state, and therefore eliminating the costs of maintenance and reparation of the breakwater. The work consisted of (i) repeating the tests done by Benedicto (2004) on a different scale and (ii) realizing new tests on a section of maximum stability with impermeable core. The repetition of the tests has verified the results regarding the behaviour of the breakwater obtained by Benedicto (2004). Thus, a section of breakwater of maximum stability, characterized by an S-profile and an organized placement of pieces, was obtained. Finally, the section of maximum stability with impermeable core was tested in wave flume, obtaining similar behaviour to the previous section of maximum stability. The new design of an S-profile breakwater (improved version of the berm breakwater) reduces the weight of the pieces of the main outer layer and the costs of maintenance and reparation.

Finally, the PhD Thesis analyses the optimization of the design of a mound breakwater by means of the analysis of the criteria for the distribution of the joint probability of failure in the useful life. A methodology for the calculation of the joint probability of

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

failure has been developed. Afterwards, three failure modes assigned to ultimate limit states of a mound breakwater were selected. It has been verified how higher investments in concrete parts of the structure do not involve necessarily an increase of the total stability of the breakwater by means of the cancellation of the probability of failure of each one of the selected modes. Besides that, it was verified that it is necessary to know the evolution of every failure mode to evaluate what investments are the most profitable against the stability of the structure.

Título: Modelo físico de acumulación y fusión de la nieve. Aplicación en Sierra Nevada

Autor: Javier Herrero Lantarón

Fecha: 19 de diciembre de 2007

Directores: María José Polo Gómez y Miguel A. Losada Rodríguez

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

En este trabajo se describe el desarrollo, calibración y validación de un nuevo modelo distribuido de base física para el cálculo de la acumulación y la fusión de la nieve. Está basado en la resolución del balance de masa y energía.

La aplicación de este modelo en la cuenca del río Guadalfeo, en la vertiente sur de Sierra Nevada (España), ha mostrado la importancia de la evaporación desde la nieve en un clima de alta montaña en un entorno mediterráneo seco, de baja latitud y muy cercano al mar. El modelo distribuido calcula en celdas de 30x30 metros en una extensión de 1300 km².

Ha sido necesario abordar la interpolación de las variables meteorológicas precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y emisividad de la atmósfera. Respecto a esta última variable, las medidas de radiación de onda larga incidente efectuadas con una nueva estación meteorológica situada a 2500 metros de altitud han permitido deducir una nueva expresión para su cálculo (emisividad de la atmósfera) que mejora las predicciones frente a las obtenidas con Brutsaert (1982) en condiciones de nubosidad, y que se considera adecuada para regiones de alta montaña.

La calibración y validación del modelo se ha realizado a través de una serie de medidas puntuales del equivalente de agua en un punto de control y del análisis de la superficie cubierta de nieve calculada con imágenes satélite Landsat TM. Se incluye una extensa recopilación de trabajos de auscultación en campo realizados en la vertiente sur de Sierra Nevada durante los años 2004-2007.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

El modelo está programado en C++ y ha dado lugar a un programa genérico de aplicación en otras cuencas denominado NIVAL.

Summary

This study describes the development, calibration and validation of a new distributed physically based model for the calculation of snow accumulation and snowmelt. This model, known as NIVAL, is based on the resolution of the mass and energy balance equations and implemented in C++.

The model is applied to the Guadalfeo River basin, located in the south of Sierra Nevada (Spain). This is a medium latitude basin (37°N) very close to the Mediterranean sea (40 km) that reaches 3500 meters height. One of the main conclusions of this study is the importance of the snow evaporation in the alpine climate found in the area but modified by a certain Mediterranean influence. The study area is modelled through 30x30 meters cells up to a total extension of 1300 km². In order to provide with meteorological data to every cell in the study area, interpolation methods for precipitation, temperature, solar radiation, relative humidity, wind velocity and atmosphere emissivity for longwave radiation have been developed. A new meteorological station located at an altitude of 2500 meters has provided to this study with valuable longwave radiation measurements which are then used for the development of a new expression for the estimation of atmosphere emissivity in mountainous sites for all-skies conditions. This expression improves predictions previously obtained from Brutsaert's approaches (Brutsaert, 1982), especially under cloudy skies.

The calibration and validation of the model were carried out through snow water equivalent point measures as well as through the analysis of the snow covered area obtained from Landsat TM images. The document includes an extensive compilation of snow fieldworks developed during 2004-2007, where measurements and properties of snow in this Mediterranean environment are described in detail.

NIVAL is applicable in any other region, though is thought to be particular suitable for Mediterranean or semiarid environment.

Título: Evolución ambiental y socioeconómica como fundamento de la ordenación del litoral

Autor: Juan Manuel Santiago Zaragoza

Fecha: 18 de diciembre de 2006

Directores: Miguel A. Losada Rodríguez, José L. Gómez Ordóñez y Alejandro L. Grindslay

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude. Doctorado Europeo

Resumen

A lo largo de la historia la relación del hombre con el mar ha sido a la vez intensa y difícil, fuente de indudables riquezas y vía de comercio y comunicación, pero también, fuente de enfermedades y puerta a las incursiones y las invasiones. La costa ha ocupado un lugar muy importante en la historia, cultura y economía de todos los países ribereños.

Desde mediados del siglo XX, el turismo de masas, la pesca intensiva y su utilización como vertedero interactúan sustancialmente con los mecanismos evolutivos naturales del medio litoral. En las últimas décadas los usos desordenados y desequilibrados tienden a acentuarse, agravando el estado de las riberas. Para enfrentarse a esta situación, surge la necesidad de realizar una Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC), que se fundamenta en la racionalización de la toma de decisiones, considerando sus componentes económicos, sociales y ambientales.

Esta tesis propone un nuevo procedimiento que, partiendo de unos axiomas o postulados, identifica los agentes y sus acciones sobre el sistema, racionaliza la evaluación del estado evolutivo del sistema costero y proporciona criterios para la selección óptima de los elementos sobre los que se debe actuar y para su posterior seguimiento.

Se formula una función objetivo que optimice la calidad de vida en un medio sostenible, analizando la evolución física y económico – social en relación con sus escalas espaciales y temporales. El modelo está basado en el consumo en el territorio de suelo, agua y energía (en función de la densidad de población) y la producción de alteraciones que deben ser absorbidos por el medio. El análisis proporciona información en forma entre otros de componentes principales sobre qué actividades explican en mayor medida la evolución del sistema y sobre quién contribuye con cada porcentaje a la degradación del medio litoral.

Se establece un conjunto de principios, axiomas e hipótesis sobre el que elaborar una ciencia del litoral que permita formular, planificar, cuantificar y evaluar a corto, medio y largo plazo las diferentes estrategias de uso del territorio, para satisfacer los objetivos socioeconómicos de bienestar social y calidad de vida y los ambientales de conservación de los gradientes de sostenibilidad y de biodiversidad, considerando la limitación de los recursos básicos.

En la evolución del medio físico natural se analizan los procesos que actúan en el sistema costero. De entre ellos se analiza la evolución que en la evolución de la línea de costa tiene la variación del nivel medio del mar como agente forzador en cuanto a su configuración en los plazos medio y largo y su importancia. El conocimiento de las escalas de los forzamientos y de los tiempos de respuesta son imprescindibles para la determinación de la vida útil de las infraestructuras. La planificación

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

de los procesos socioeconómicos ha de tener en cuenta el estudio, conocimiento y aceptación de la evolución de los procesos físicos.

El objetivo de un Plan de Ordenación Territorial debe ser el desarrollo socioeconómico: incremento del bienestar social y de la calidad de vida armónico con el desarrollo medioambiental: mantenimiento del Gradiente de Sostenibilidad a través del mantenimiento de la biodiversidad.

Los objetivos pueden ser valorados a través de un análisis multicriterio de coste beneficio, esto es a través de la optimización de una función objetivo sometida a restricciones. La posibilidad de incumplimiento de los objetivos define el riesgo socioeconómico y ambiental en un tramo a lo largo de un tiempo: El riesgo se puede definir como la probabilidad e ocurrencia por las consecuencias, esto es, simulada la función a lo largo de un número de años determinado, se establece el número de ocasiones en que puede producirse la situación de fallo, su probabilidad asociada, y la valoración económica o ambiental de dicho fallo.

La variable independiente principal de evolución del sistema es la población, definida como el colectivo humano que comparte un territorio usando sus infraestructuras y servicios, energía y otros recursos. La duración de su intervalo temporal y por tanto su relación espacial y temporal con el territorio, permite identificar diferentes colectivos o subconjuntos humanos o poblacionales. La evolución de la población se define a través de una Ecuación Diferencial Ordinaria con términos de crecimiento y de reducción en función de las condiciones ambientales y socioeconómicas, e interactivos: entre los distintos grupos de población y entre los distintos tramos.

En este trabajo se consideran la estable, activa o no y la turista, ocasional o habitual. La población establece un desarrollo socioeconómico y ambiental que se puede caracterizar a través de un conjunto de indicadores: socioeconómicos: nivel de renta, mercado de trabajo, turismo, superficie edificada. . . y ambientales: erosión costera, número de turistas, zonas y espacios protegidos, y hacen uso de unos recursos, que pueden ser de sostenibilidad: suelo agua y energía o litorales: playa, línea de costa, humedales. . .

Del consumo de recursos se puede hacer una evaluación entre los costes que provoca y los ingresos que produce, y como consecuencia un balance, en su doble vertiente: económico o ambiental. El desequilibrio en los balances produce estados de fallo, que pueden ser definidos como incumplimiento de los objetivos, en forma de no recuperación de la inversión para el económico y de no disponibilidad del recurso para el ambiental.

La formulación del modelo permite iniciar la toma de datos de forma coherente y coordinada para que en unos pocos años se tenga la información necesaria para su implantación.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Summary

Throughout history Man's relationship with the sea has been both intense as well as fraught with difficulty. In this sense the sea has been and still is a source of immense riches and great potential for mankind. It offers maritime routes, which from the beginning of time have fomented commerce and communication between civilizations. On the less positive side, it has brought illnesses and epidemics, and opened the door for marauders and invasions. In this way the coast has played an important role in the history, culture, and economy of countries with coastal boundaries.

Until the middle of the Twentieth Century this relation was symbiotic. The impacts produced in the majority of cases were either reversible or absorbed by the sea. However, in recent decades, large-scale tourism, intensive fishing, and the use of the sea as a dumping area have had a negative effect on the natural evolutionary mechanisms of the coastal environment. Anarchic and unsustainable uses of the sea and its resources are becoming the rule rather than the exception, something that is causing the progressive deterioration of the coastline. One method of effectively dealing with this situation is through Integral Coastal Zone Management (ICZM), based on a rational decision-making process in which economic, social, and environmental factors are considered.

This thesis analyzes ICZM, and within this framework, proposes a new procedure, based on a series of axioms or postulates. Once the agents whose actions are identified that directly affect the coastal system, this procedure rationalizes the evaluation of the evolutionary state of the system, and provides criteria for the optimal selection of elements that must be acted upon and then monitored.

Our first objective is to identify the measures that make it possible to perform integral and integrated actions on coastal areas, and particularly to try to reconcile economic and ecological considerations. Another important objective is to establish a procedure that can help coastal resource managers as well as policy makers identify those actions best suited for integral coastal zone management, bearing in mind the possible consequences for the coastline if one type of demand is prioritized over others.

Título: Modelos espectrales y paramétricos promediados en el tiempo para pendientes porosas y playas arenosas

Autor: Francisco de los Santos Ramos

Fecha: 22 de septiembre de 2006

Directores: Miguel A. Losada y Nobuisha Kobayashi

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude. Doctorado europeo

Resumen

Esta tesis se centra en el análisis de los procesos hidrodinámicos relacionados con la interacción del oleaje con pendientes porosas e impermeables. Se han desarrollado modelos numéricos para predecir las propiedades hidrodinámicas y éstos han sido validados con datos de laboratorio. En concreto, se ha desarrollado un modelo paramétrico promediado en el tiempo para la predicción del runup y el caudal de rebase e infiltración sobre pendientes permeables, tales como revestimientos o playas de gravas, donde el efecto de la reflexión del oleaje no se ha incluido en las ecuaciones de gobierno. El modelo paramétrico ha sido extendido incluyendo el efecto de la reflexión local del oleaje, y las ecuaciones de gobierno se han expresado en forma espectral para desarrollar un modelo espectral aplicable a playas arenosas. Esta tesis se puede considerar como parte de un modelo simple basado en procesos aplicable tanto a playas arenosas como a estructuras de protección de costas.

Runup sobre pendientes permeables con oleaje irregular. En la primera parte de esta tesis se desarrolla un modelo paramétrico probabilístico promediado en el tiempo para estimar el runup sobre pendientes permeables. El modelo predice la variación transversal de la media y desviación típica de las oscilaciones de la superficie libre y las velocidades horizontales dentro y fuera de la capa porosa haciendo uso de las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento y flujo de energía promediadas en el tiempo. El valor medio y la desviación típica de los movimientos verticales de la línea de costa se estiman a partir de la media y desviación típica de las oscilaciones de la superficie libre sobre la pendiente permeable obtenidas por el modelo. Se asume que el runup sigue una distribución tipo Rayleigh donde se incluye el efecto del setup que puede ser importante en pendientes relativamente suaves. El modelo ha sido comparado con 57 tests cuyo dispositivo experimental consiste en una playa impermeable de pendiente suave donde se ha instalado una rampa permeable con pendientes de 1/2 y 1/5 en el interior de la zona de rompientes.

Rebase e infiltración del oleaje irregular sobre pendientes permeables. Se ha extendido el modelo paramétrico desarrollado para estimar el runup incluyendo el flujo de masa de agua hacia la costa debido a la infiltración y al rebase sobre la rampa permeable. Se han llevado a cabo una serie de experimentos adicionales para analizar el proceso de rebase e infiltración del oleaje sobre pendientes permeables con coronaciones anchas. La función de distribución del runup ha sido ajustada a una distribución tipo Weibull cuyo parámetro de forma aumenta con el incremento de la probabilidad de rebase. Se ha visto que el caudal de rebase unitario adimensionalizado por el flujo de masa hacia la costa en la posición de la línea de costa en

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

reposo, depende de la probabilidad de rebase y del número horizontal de piezas por encima del nivel máximo del setup. Tras el análisis del flujo de infiltración a través de la rampa porosa, que está controlado por el setup, se propone una fórmula simple para la estimación del caudal unitario de infiltración. Los resultados muestran que el modelo numérico predice razonablemente bien la variación a lo largo del perfil de la altura de ola, la velocidad horizontal media, el runup y los caudales de infiltración y rebase. Sin embargo, el modelo necesita ser evaluado usando un conjunto de datos más extenso, que incluya datos de campo.

Reflexión local del oleaje en playas. El modelo paramétrico desarrollado para la estimación del runup y el rebase sobre pendientes porosas ha sido extendido, incorporando el efecto de la reflexión y expresando las ecuaciones de gobierno en forma espectral. El efecto del desfase entre el tren incidente y el reflejado ha sido incorporado en las ecuaciones del modelo. El modelo ha sido aplicado a una playa con fondo impermeable y se ha mostrado que predice la evolución del espectro del oleaje, el coeficiente de reflexión local y las propiedades hidrodinámicas a lo largo de la zona de rompientes y de swash. La incorporación del desfase entre el tren incidente y el reflejado introduce un término oscilatorio espacial en las magnitudes hidrodinámicas a lo largo del perfil de playa. Se conjetura que el gradiente espacial del tensor de radiación y sus derivadas espaciales podrían ser un mecanismo forzador de ondas infragravitarias en la zona de rompientes.

Summary

In this thesis, wave interactions with porous and impermeable bottoms are studied and numerical models are developed to predict properties of the hydrodynamic processes. A parametric time-averaged numerical model for the prediction of wave runup, seepage and overtopping of permeable slopes is developed, where wave reflection is not included in the governing equations. Additionally, the parametric model has been extended by including local wave reflection in the governing equations to develop a spectral time-averaged numerical model for sandy beaches. This thesis represents one step in the development of a simple process-based numerical model for coastal structures and sandy beaches.

Irregular wave runup on permeable slopes. A parametric time-averaged probabilistic model is developed to predict irregular wave runup statistics on permeable slopes such as cobble beaches and revetments. The cross-shore variations of the mean and standard deviation of the free surface elevation and horizontal fluid velocities above and inside a porous layer are predicted using the time-averaged continuity, momentum and energy equations. The mean and standard deviation of the shoreline elevation measured by a runup wire are estimated from the predicted mean and standard deviation of the free surface elevation. The wave runup height above the mean water level including wave setup is assumed to be given by the

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Rayleigh distribution. The developed computationally efficient model is shown to be in fair agreement with 57 tests conducted on 1/5 and 1/2 permeable slopes situated inside surf zones on impermeable gentle slopes.

Irregular wave seepage and overtopping of permeable slopes. The parametric numerical model developed for the prediction of irregular wave runup on permeable slopes is extended to include the landward water flux due to wave seepage and overtopping. Additional experiments were conducted in a wave flume to investigate wave seepage and overtopping of permeable stone slopes with wide crests. The measured wave runup distributions are fitted to the Weibull distribution whose shape parameter increases with the increase of the wave overtopping probability. The wave overtopping rate normalized by the wave-induced water flux at the still water shoreline is shown to depend on the wave overtopping probability and the horizontal number of stones above the maximum wave setup. A simple formula for the seepage rate is proposed by analyzing the seepage flow driven by the wave setup on the seaward slope. The extended numerical model is shown to be in agreement with the measurements of the free surface elevation, cross-shore velocity, wave runup, and seepage and overtopping rates but will need to be evaluated using more extensive data sets.

Local wave reflection on sandy beaches. The parametric model for porous slopes has been extended to account for local wave reflection and a spectral time-averaged numerical model is developed. The governing equations have been expressed in spectral form and the effects of phase shifts on reflection are included. The model has been compared with existing large scale laboratory data and is shown to predict fairly well the cross-shore variation of the local reflection coefficient and related hydrodynamics. It is shown that the phase shift on reflection introduces an oscillatory term in the governing equations which modifies the cross-shore variation of the hydrodynamics magnitudes. It is conjectured that the reflection induced spatial oscillations of the cross-shore component of the radiation stress tensor could be a forcing mechanism of infragravity waves in the surf zone and might be related to the formation of rhythmic morphology.

Título: Comportamiento y evolución de la avería de los diques de abrigo frente a la acción del oleaje

Autor: M^a Izaskun Benedicto Iruñ

Fecha: 21 de diciembre de 2004

Director: Miguel A. Losada

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude. Doctorado Europeo

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Resumen

Este trabajo está dedicado al estudio del comportamiento y evolución de la avería de los diques de abrigo frente a la acción del oleaje. Los diques de abrigo son estructuras cuya principal función es la de proteger un área de la costa de la acción del oleaje y de otras dinámicas marinas. Las oscilaciones del mar solicitan al dique a lo largo de su vida útil, condicionando los niveles de seguridad, servicio y uso y explotación con los que ha sido diseñado. Por diversas razones, el dique puede perder sus propiedades resistentes (seguridad), formales (servicio) y de uso y explotación (explotación). Los modos de fallo describen los mecanismos por los que se produce esta pérdida.

Influencia de la reflexión del oleaje en la estabilidad de los diques en talud. El dique en talud es una tipología de dique de abrigo. Debido a la importancia que tiene para la seguridad del dique, uno de los modos de fallo que más se ha estudiado es la "extracción de las piezas que forman el manto principal". Una constante en las investigaciones ha sido la desviación del peso adimensional mínimo que han de tener las piezas para ser estables, peso obtenido de resultados experimentales. Losada y López, 1999 muestran que la dispersión del peso se reduce al tener en cuenta la reflexión del oleaje al interaccionar con la obra. A raíz de éstos resultados Puertos del Estado promueve un estudio, en el que intervienen los siete laboratorios de ingeniería marítima españoles y la Universidad de Granada, con el objetivo de conocer la influencia de la reflexión del oleaje en la estabilidad de las piezas del manto principal de un dique en talud. En el ámbito de dicho convenio se realizan una serie de ensayos en laboratorio. El análisis de los datos de los ensayos y sus resultados son parte del trabajo realizado en esta tesis, presentando aquí los ensayos del laboratorio de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria y los resultados obtenidos en el análisis de sus datos. Los resultados ponen de manifiesto que la trayectoria del ensayo diseñada para mantener constante el tipo de rotura de la ola en el talud (es decir, el tipo de acción sobre las piezas) e ir aumentando la altura de ola (la magnitud de la acción), no se consigue debido a la influencia de la reflexión del oleaje en el dique. Como consecuencia se hace evidente la necesidad de evaluar el comportamiento de la reflexión del oleaje en el dique como una fase previa al diseño de los ensayos de estabilidad.

Comportamiento de la reflexión del oleaje al interaccionar con un dique en talud. Con este objetivo, se realizan una serie de ensayos en el laboratorio de La Universidad de La Coruña. En una primera fase, se ensaya la reflexión del oleaje sobre el núcleo del dique y, una vez concluida esta fase, se añaden los mantos al núcleo y se ensaya la reflexión del oleaje sobre la sección completa. Este procedimiento ha permitido evaluar el comportamiento de la reflexión del oleaje al interaccionar con el dique en talud, así como la influencia de los mantos en el dicho comportamiento. Los resultados ponen de manifiesto que el coeficiente de reflexión, R , disminuye al aumentar la profundidad relativa, k_h , sobre la que se propaga el oleaje. Este

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

comportamiento es lineal con kh si $kh < 1$, y es oscilatorio con kh en caso contrario. Además si $kh < 1$ la dependencia de R con la altura de ola incidente, H_i , es despreciable; lo que no ocurre si $kh > 1$. Para el mismo valor de kh , a una mayor altura de ola incidente, H_i , le corresponde un valor menor del coeficiente de reflexión, R . La influencia de los mantos en el comportamiento de la reflexión se manifiesta en una reducción del valor del coeficiente de reflexión, R . Estudio del comportamiento de los diques en talud a través de ensayos a escala reducida. Es frecuente que el estudio de la estabilidad de los diques en talud se realice a través de ensayos en laboratorio sobre modelos a escala reducida. Para lograr la similitud dinámica de comportamiento entre modelo y prototipo se aplica la escala de Froude. El uso de esta escala es adecuado siempre que la influencia de las fuerzas viscosas sea despreciable en el comportamiento a estudiar, lo cual es cierto cuando el número de Reynolds es elevado. Para las escalas de trabajo habitualmente utilizadas en los ensayos de diques en talud, cuando se produce la interacción entre el oleaje y el dique, la viscosidad del flujo en el manto principal del dique se puede suponer despreciable. Lo mismo ocurre con el flujo en el manto secundario. Sin embargo no se puede asumir lo mismo en el caso del núcleo, donde el uso exclusivo de la escala de Froude para conseguir la similitud dinámica con el flujo en el núcleo del prototipo da como resultado un tamaño de material inferior al que sería adecuado. Como consecuencia, la permeabilidad al flujo en el núcleo del modelo es inferior a la del prototipo, produciendo lo que se conoce como 'efecto escala' en la permeabilidad. El efecto escala de la permeabilidad influye en los procesos de reflexión, transmisión y disipación del flujo y, por tanto, en los resultados que proporcionan los ensayos sobre el comportamiento del dique ante la acción del oleaje. Los métodos de análisis tradicionales no evalúan el efecto escala en todos los procesos que intervienen en el comportamiento del dique, por lo que en esta tesis se propone como método de análisis establecer el balance global del flujo de energía incidente en un volumen de control que contiene al modelo. Este método sí permite evaluar el efecto escala de todos los procesos.

Evolución de la avería de diques en talud. Los diques en talud tienen un fallo dúctil, es decir, se puede producir daño o movimiento de piezas del manto sin que se produzca la avería del dique. Conocer la evolución del daño permite diseñar los diques a estados límite de servicio, es decir, teniendo en cuenta en el diseño la deformación admisible que se puede producir en la vida útil del dique sin que éste deje de ser fiable, funcional u operativo. La configuración de un dique en talud como un sistema formado por varias capas, cada una con sus propias características de granulometría, porosidad...etc, y, por tanto, con su propia respuesta ante la acción del oleaje, condiciona la evolución de la avería. En esta tesis se estudia el comportamiento de un sistema homogéneo, es decir, considerando el dique formado por un único tipo de pieza. Con ello se espera una respuesta homogénea del sistema mecánico. El estudio se realiza por dos vías diferentes: por un lado se

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

desarrolla un modelo analítico de progreso del daño en el dique sometido a la acción de ciclos aleatorios y, por otro, se realizan unos ensayos de laboratorio a escala reducida sobre la evolución del daño en un modelo de dique homogéneo. El modelo analítico de progreso del daño en el dique se ha elaborado estableciendo una analogía con los modelos de comportamiento de algunos materiales y elementos estructurales. Para ello se ha relacionado el nivel del daño del dique con la acción del oleaje o magnitud del agente, altura y periodo, y el número de olas. Se han desarrollado dos modelos; uno lineal, que asume una relación lineal entre el nivel de deformación del dique y el número de ciclos que lo solicita, y otro que asume que dicha relación es no lineal. Ambos modelos permiten obtener la evolución de la avería en el dique cuando está sometido a ciclos aleatorios de sollicitación. Además, a partir del comportamiento de un dique en talud tradicional, y en base a los resultados de los modelos de evolución de la avería desarrollados, se obtiene la deformación media de un talud homogéneo al final de un ciclo de sollicitación, que puede ser un estado de mar, un temporal, un año o la vida útil del dique. Por otro lado, los ensayos de laboratorio a escala reducida sobre la evolución del daño en un modelo de dique homogéneo han puesto de manifiesto que:

- En un sistema granular construido con un único tipo de pieza, si el número de olas de la misma altura que actúa sobre el sistema es lo suficientemente elevado, cada altura de ola da lugar a un perfil del sistema que es estable para ella y para las alturas de ola inferiores. El perfil estable sólo se modifica si se aumenta la altura de ola.
- Los experimentos sobre sistemas con diferente condición inicial, muestran que se trata de sistemas autoorganizados, es decir, que sometidos a las acciones descritas en el párrafo anterior, se autoorganizan de forma que alcanzan perfiles geoméricamente similares y cuyo comportamiento energético en términos de las variables globales del ensayo es análogo.
- Las beach cusps que aparecen en los perfiles deformados ponen de manifiesto la transferencia de energía a modos infragravitatorios. La respuesta del sistema depende de esta transferencia de energía, por lo tanto, los resultados dependen también de ella.
- El desarrollo de formas rítmicas en el talud, beach cusps, puede ser uno de los motivos de la dispersión que muestran los resultados de la avería en los ensayos de estabilidad de diques tradicionales. En función del modo de la forma rítmica que se desarrolle (1, 2, 3...etc), la avería comienza en una zona determinada del talud, sin embargo, debido a que los ensayos se realizan con la configuración multicapa del dique, la menor resistencia de las capas inferiores a la acción del oleaje impediría observar la evolución de la forma rítmica.
- Por último, los resultados de los ensayos realizados sobre el dique homogéneo han permitido establecer una metodología de diseño de diques. La metodología es aplicable al caso ensayado, necesitando futuros ensayos para poder generalizarla.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Comportamiento geotécnico del sistema. La interacción con el terreno influye en el comportamiento de un dique de abrigo frente a la acción del oleaje, sea cual sea su tipología. Cuando el oleaje interacciona con la obra, se produce una transmisión de esfuerzos del oleaje al terreno y al dique y, a su vez, entre el dique y el terreno. Para evaluar la respuesta global del sistema es necesario conocer: a) la respuesta del terreno a la sollicitación del oleaje transformado por la presencia del dique de abrigo; b) la respuesta del dique ante la acción del oleaje y c) la interacción entre el terreno y el dique a través de su superficie de contacto, bajo la acción del oleaje. En este sentido, se ha revisado el comportamiento de diferentes tipos de suelo bajo la acción de cargas estáticas y dinámicas, proponiendo unas expresiones generales adimensionales de respuesta. Se ha revisado el comportamiento de diferentes tipos de terreno ante la acción del oleaje y así como el comportamiento ante la acción del oleaje de varias tipologías de dique que tienen un medio poroso como parte de su estructura, obteniendo el modelo analítico de comportamiento de una nueva tipología compuesta por dos capas porosas horizontales coronadas por un espaldón impermeable.

Summary

The target of this thesis is to contribute to a better understanding of breakwaters behaviour and damage evolution under the action of waves. In order to achieve that objective, several partial objectives have been defined.

Analysis of mound breakwater tests: Froude scale effect. Mound breakwater tests are usually designed by using Froude scale. For mound breakwaters, this procedure seems not to be appropriate to obtain dynamic similarity between prototype and model, mainly inside the breakwater core, being the result that the core permeability has a scale effect. The processes of transformation of the incident energy that take place in the interaction between waves and breakwater, this is, reflection, transmission and dissipation, depend on the model permeability. Therefore, all these processes are affected by the scale effect.

Since mound breakwaters stability, depends on wave reflection, transmission and dissipation, it seems that the method of analysis of experimental data has to take this scale effect into account. Traditionally, the method of analysis is based on the evolution of the hydraulic gradient inside the porous media, which can give information on the scale effect of wave transmission and dissipation through the porous media, but not of the other processes involved.

In this thesis the analysis of experimental data is done through a global balance of the incident energy flux in a control volume containing the model. This type of analysis enables us to obtain the scale effect of all the processes that are involved in the experiment and influence the breakwater stability.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Multilayer scale effect. Another scale effect in mound breakwater tests is introduced by the configuration of the model: a classical mound breakwater is a granular system of several layers with different grain sizes and, therefore, each one has its own hydrodynamic and mechanical behaviour.

This thesis studies the hydrodynamic and mechanical behaviour of mound breakwaters, with the purpose of minimizing the multilayer scale effect.

Wave reflection process on mound breakwaters. Wave reflection process is important in the stability of mound breakwaters. Therefore, one of the objectives of this work is to evaluate the behaviour of the reflection process and its influence on the slope stability using laboratory experiments.

Damage evolution: The knowledge of damage evolution of a mound breakwater allows us to design them considering the failure modes assigned to a serviceability limit state; this is, taking into account the expected deformation of the breakwater in its useful life, and limiting it to a threshold value that ensures the levels of the breakwater reliability and functionality established in the design. This work is aimed at providing new information about damage evolution of a mound breakwater in its useful life.

Wave-soil-breakwater interaction. Another important aspect related to breakwater behaviour against wave action is the wave-breakwater-soil interaction. To this respect, dimensionless parameters to evaluate the soil behaviour under static and dynamic load are established.

Título: Sobre soluciones analíticas y experimentales de flujos en régimen libre

Autor: Antonio Moñino Ferrando

Fecha: 16 de abril de 2004

Directores: M.A. Losada y J. Riera Rico

Universidad: de Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

En el campo de aplicación de la Hidráulica, un lugar destacado lo ocupa el movimiento de fluidos en régimen libre, en oposición al régimen forzado que tiene lugar en conducciones cerradas. Dentro del movimiento en régimen libre, puede ser

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

establecida una división entre fenómenos relacionados con régimen variado, y fenómenos relacionados con régimen variable. Unos y otros se encuentran representados en muy diversos aspectos de la Dinámica de Fluidos, y son objeto de estudio en el planteamiento de investigaciones y proyectos de diferente contenido. Los primeros representan procesos en los que el flujo mantiene sus magnitudes características a lo largo del tiempo, y en este sentido es clasificado como permanente según la terminología clásica. Por su parte, los segundos representan procesos en los que existe variación tanto espacial como temporal de las magnitudes que caracterizan el estado dinámico del fluido.

El trabajo se centra en dos procesos, cada uno encuadrado en uno de los tipos de régimen indicados: el desagüe sobre un vertedero, y el control del oleaje y su reflexión mediante una pala ranurada.

La primera parte del trabajo desarrolla el estudio de la influencia de la geometría de inicio del perfil de vertido en los parámetros de flujo asociados a la descarga. Con carácter general, el diseño de perfiles de vertido estrictos se fundamenta en estudios experimentales de descarga de venas libres sobre vertederos en pared delgada, bajo diversas condiciones de aproximación y carga sobre la cresta. Cuando la geometría del perfil sufre alteraciones con respecto a la forma teórica, el proceso de vertido puede verse modificado de manera significativa. Las alteraciones geométricas encuentran su origen tanto en una incorrecta interpretación del formalismo clásico de cálculo y diseño, como en una ejecución material inadecuada; en otros casos, en fin, el deterioro propio de las estructuras en servicio puede conducir a una situación semejante. Comenzando con un planteamiento analítico adimensionalizado del problema con identificación de las variables de gobierno, se continúa con un estudio experimental de la influencia en el desagüe de la forma del perfil, para finalizar con una comprobación de límites fundamentales y operativos de riesgo.

La segunda parte del trabajo considera ha sido considerado el mecanismo de generación de oleaje y control de la reflexión por medio de una estructura permeable. El control de la reflexión en procesos asociados a la propagación del oleaje ha sido objeto de estudio durante largo tiempo. La reflexión es, junto con los fenómenos de refracción y difracción, uno de los aspectos más importantes vinculados a la interacción de trenes de onda con diques de abrigo y zonas de resguardo en dársenas y otras estructuras costeras. La utilización de elementos porosos estáticos como dispositivos de absorción de la reflexión ha sido ampliamente utilizada tanto a nivel teórico como práctico. Cuando a las características mismas del elemento poroso se añade el movimiento, la capacidad para absorber o forzar el movimiento ondulatorio generado se ve ampliada, en función de las condiciones mecánicas y geométricas. Basándose en una clasificación elemental de los elementos de disipación y control de la energía del oleaje en tres tipos, móviles permeables, elementos con generación de corriente y elementos con cámaras de presión, el trabajo se ha enfocado sobre la generación de un tren de onda monocromático y el

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

control de la reflexión mediante el primero de los tipos descrito, una pala ranurada móvil, investigándose su capacidad para forzar o atenuar la señal producida. Partiendo de una formulación lineal del proceso, se resuelve el problema analíticamente y se compara con la información experimental obtenida en canal de generación de oleaje. La investigación avanza, además, en el conocimiento de las técnicas de generación en laboratorio por medio de la utilización de un dispositivo de estas características.

Summary

Free flow regime is a milestone in Hydraulics, as opposite to confined flow regime, such as pipe flow. Free flow regime can be divided into steady and non steady, say, processes in which flow characteristics are preserved in time at each point inside the flow field, and processes in which variables are not conservative, neither space nor time. Both steady and non steady phenomena are widely represented in Fluid Dynamics, involving case studies in research projects of different nature.

The aim of the study is focused on two processes, each one corresponding to one of the prescribed regimes: flow discharge over a spillway, and wave generation by a slotted wavemaker.

The first part of the work is applied to the analysis of influence of the spillway geometry on the discharge process, with special attention to the definition of the ascending branch of the spillway section. As a general rule, spillway geometry design is based on experimental criteria derived from research on free flow over sharp crested weirs, under a wide range of flow conditions. When the spillway geometry so defined, is modified in some way, the flow discharge might be noticeably affected. Geometric changes regarding original design, may arise either from a wrong interpretation of the classical design guidelines, or from a bad construction technique; in other situations, the ageing and weathering of old structures during long time service, can lead to the same result. Starting from a theoretical problem formulation in terms of Dimensional Analysis, it follows an experimental study on the influence of the geometry on the discharge characteristics, and an identification of safety and operational limits.

The second part of the work deals with the wave generation and reflection control mechanism by means of a slotted paddle. Reflection control, along with refraction and diffraction phenomena, is one of the main aspects concerning wave interaction with breakwaters, ports and coastal structures in general; in that sense, the use of porous static elements as reflection absorption devices has been widely accepted throughout theoretical and practical focussing. If the porous device is set into motion according to a prescribed frame, its capacity to either force or dissipate the wave motion is increased depending on the motion parameters. The work starts from an elemental classification of dissipative elements – porous and mobile, waves and current generators, and pressurized chambers, and centres the interest on the monochromatic wave generation and

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

reflection control by means of a slotted paddle, and its ability to force or attenuate the wave propagation. The problem is solved analytically on the basis of a linear formulation, and the results are compared with the results of a test program conducted in a wavemaker flume. The research also advances in the subject of wave generation techniques by using devices other than standard paddles.

Título: Fiabilidad y optimización en ingeniería marítima

Autor: M^a Carmen Castillo Sánchez

Fecha: 16 de abril de 2004

Directores: E. Castillo Ron y M.A. Losada

Universidad: de Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

Esta tesis propone nuevos planteamientos para la resolución de los problemas que se presentan en ingeniería marítima incorporando los últimos avances en técnicas de optimización y probabilistas. La tesis se estructura en dos grandes bloques. La primera parte consiste en replantear los procesos que gobiernan la morfodinámica de la zona de rompientes y expresarlos en términos de columna de agua. El objetivo de esta primera parte consiste en analizar si es posible predecir, localmente, en la zona de rompientes y en un estado de mar, las características de las oscilaciones que constituyen la columna de agua, la probabilidad de rotura y los estadísticos de variables como la celeridad, el undertow y el tensor de radiación, conocidas las características del perfil de playa y de las oscilaciones offshore. Para ello, se propone un modelo estadístico local de análisis de las oscilaciones del mar (marea astronómica, marea meteorológica, onda larga y onda corta) que constituyen la columna de agua en la zona de rompientes. Se realiza una descripción estadística de cada una de las oscilaciones mencionadas en diferentes escalas temporales como el estado de mar, el temporal y el largo plazo, detallando especialmente el estado de mar como referencia básica del análisis. Se plantea, igualmente, un nuevo criterio de rotura en términos de columna de agua. Esto permite obtener, a partir de las características de las oscilaciones aleatorias, la probabilidad de que se produzca la rotura en un estado de mar así como definir los sucesos de rotura. El modelo estadístico propuesto de predicción se valida con datos del proyecto SUPERTANK.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

La segunda parte de la tesis, teniendo en cuenta los inconvenientes que pueden presentar los métodos de nivel I y II, propone la incorporación de las técnicas de optimización al diseño de obras marítimas. La importancia de incorporar técnicas de optimización al diseño de obras marítimas u otras actuaciones de ingeniería marítima y costera reside en que permite obtener una mejor (óptima) solución a los problemas que se planteen. Estas técnicas se han aplicado a diferentes tipologías de diques que han sido implementados en GAMS (General Algebraic Modelling System) para su resolución. La metodología propuesta presenta numerosas ventajas entre las que cabe destacar:

La solución que se obtiene es la óptima ya que minimiza el coste constructivo o de construcción y Reparación.

La dualidad de los modelos estadísticos empleados, en el sentido que proporcionan un doble control sobre la seguridad de la estructura bien a través de coeficientes de seguridad y probabilidades de fallo o bien por medio de tasas de fallo y coeficientes de seguridad. Existe la posibilidad de obtener, de manera fácil y gratuita, la sensibilidad del coste, como función objetivo, a pequeñas variaciones de los factores de proyecto que permiten analizar, por ejemplo, qué efecto tienen sobre el coste total de la estructura los pequeños incrementos en la resistencia de los materiales.

Título: Procesos morfodinámicos en la proximidad de diques de abrigo y su influencia en la operatividad portuaria

Autor: Elena Sánchez Badorrey

Fecha: 16 de abril de 2004

Director: M.A. Losada

Universidad: de Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude. Doctorado Europeo

Resumen

Hasta la fecha, los grupos de olas se han analizado fundamentalmente como agente forzador de la hidrodinámica de la zona de rompientes y de oscilaciones excesivas en puertos y canales de acceso. Sin embargo, su influencia en el transporte de sedimentos y en la morfodinámica del fondo en la plataforma continental no es bien conocida. Así mismo, tampoco se ha

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

analizado su influencia en la operatividad de los canales de acceso a puerto y en las necesidades de dragado de los mismos. En esta Tesis se han analizado estos dos aspectos. En particular:

- Los procesos inducidos en la capa límite de fondo fuera de la zona de rompientes por los grupos de olas regulares y las ondas largas asociadas a los mismos en presencia de reflexión.
- La influencia de dichos procesos en la operatividad de los canales de acceso de una vía teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a su ocurrencia y distribución espacial, así como la incertidumbre asociada a las condiciones de navegación durante el tránsito de un barco por el canal.

Summary

The Thesis faces two main objectives:

- To improve the knowledge on the hydrodynamics and sedimentary processes induced by reflected wave groups and the related long waves, out of the breaking zone;
- To quantify the influence of such processes in the entrance channel operativity taking into account the variability and uncertainty related with the random variables involved.

The Thesis consists on two main parts. In the first one, it is analyzed the bottom boundary layer (BBL) processes (hydrodynamics and morphodynamics) induced by the interaction of regular wave groups with oblique incidence in a longshore, uniform and reflective structure. It is described an analytical model for the BBL dynamics based on the “natural” time and space scales of the problem. The model probes that the presence of a reflective structure (natural or man-made) can modify the hydrodynamics and sediment transport mechanisms in front of the structure. The significance of the free long waves contributions on the BBL hydrodynamics and potential sediment transport is also analyzed. The model can be extended to the case of irregular wave groups and to higher order Stokes theory.

In the second part, it is proposed a methodology for the real time calculation of the probability of potential grounding induced by these processes during the passage of a vessel through one-way entrance channels. The model provides quantitative information regarding the stoppage probability along the passage in real time. The results can be used for the management of entrance channels in order to guarantee safety and operativity levels that minimize the risk of accidents as well as to optimize the use and exploitation of the infrastructure.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Título: Procesos hidrodinámicos y sedimentarios en formas litorales de gran escala

Autor: Miguel Ortega Sánchez

Fecha: 16 de abril de 2004

Directores: M.A. Losada

Universidad: de Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude. Doctorado Europeo

Resumen

La Ingeniería de Costas tiene como objetivo primordial describir la evolución de la línea de costa, bien en condiciones naturales o con presencia de estructuras artificiales, para lo que es necesario conocer los procesos que tienen lugar en un tramo de costa. Es frecuente encontrar que estos tramos presentan formas litorales de gran escala, como flechas, barras longitudinales o formas arqueadas en playas. Para poder modelar dichos tramos es necesario analizar los procesos que intervienen en la formación, crecimiento y desarrollo de dichas formas.

En el marco de la Ingeniería de Costas, el objetivo general de esta Tesis Doctoral fue profundizar en el conocimiento de los procesos que actúan en contornos móviles (e.g. puntas de avance, flechas litorales, etc.), estudiando los casos de dos formas litorales de gran escala espacial: la Flecha de El Rompido (Huelva) y la Playa de Carchuna (Granada).

La flecha de El Rompido, situada en la desembocadura del río Piedras, es una formación arenosa de unos 15 km de longitud aproximadamente paralela a la línea de costa, que da lugar a un canal que sirve de entrada a un puerto pesquero y varios deportivos. Es conocido que crece a un ritmo anual de unos 40 m debido a la fuerte corriente longitudinal, pero no se conocen a fondo cuáles son los procesos en la punta, responsables del característico crecimiento en forma de escamas y del posible cierre del canal.

La playa de Carchuna está caracterizada por la existencia de unas puntas naturales de distintas dimensiones, que penetran en el mar y no están periódicamente espaciadas. Esta zona presenta una gran riqueza económica debido a la agricultura intensiva, lo que motiva la preocupación por la futura posición de la línea de costa. Las formas cuspidales rítmicas en playas han sido estudiadas a fondo, pero las características de las formas de Carchuna hacen que éstas sean novedosas y requieran de un estudio exhaustivo.

Conforme a la descripción anterior, los objetivos específicos de la Tesis se concretaron en: (i) describir los procesos en la punta de la flecha; (ii) analizar la formación y evolución de las formas arqueadas en la playa de Carchuna.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

i) Tras analizar los procesos que dominan en las distintas zonas de la flecha, se concluyó que en su tramo final dominan la corriente de marea, la corriente longitudinal, el oleaje y las interacciones entre ellos. Por ello, mejorar en el conocimiento de los procesos implica describir adecuadamente las características del flujo asociado a la marea, a la corriente longitudinal y cómo éstos interactúan con el oleaje.

Las características de la corriente de marea asociada a la vaciante así como la corriente longitudinal en la punta de la flecha permiten describir sus propiedades mediante una estructura de flujo similar a un chorro de descarga. Así, en el Capítulo 2 de la tesis se describieron las características generales de un chorro de descarga y, tras introducir los modelos clásicos e identificar las carencias en el estado del arte de la cuestión, se desarrolló un modelo analítico integral que permite describir tanto las características geométricas como los parámetros del flujo asociados a un chorro de descarga. Se consideró el caso geométrico de fondo plano y fondo en pendiente, centrando la atención en el comportamiento del flujo según los distintos valores de la pendiente y la fricción.

Posteriormente, se estudió el fenómeno de la interacción ola-corriente, con el objetivo principal de obtener un nuevo sistema de ecuaciones de gobierno en las que se tenga en cuenta el efecto mutuo del oleaje en la corriente y viceversa. Así, en esta Tesis se describió físicamente el problema y se diferenciaron los distintos casos de interacción, tras lo que se obtienen dichas ecuaciones. Después, se realizó su análisis dimensional con objeto de diferenciar distintas situaciones según la fuerza relativa entre el oleaje y la corriente. Dichas ecuaciones se compararon con las de otros modelos, mostrando las diferencias y justificando la mejor aplicabilidad de las ecuaciones desarrolladas a las condiciones de interacción. Finalmente, se resolvieron dos casos simples como paso previo a la resolución del problema completo.

ii) Para el análisis de las formas de la playa de Carchuna se realizó, en primer lugar, una descripción física de la zona de estudio, con el objeto de excluir las características geológicas como elementos responsables de la morfología de la playa. Posteriormente, se estudiaron los distintos agentes que se considera que pueden intervenir en la formación, crecimiento y mantenimiento de las formas cuspidales: (1) patrones de propagación del oleaje (zonas de convergencia y divergencia del flujo de energía); (2) sistemas circulatorios asociados a las corrientes de rotura (y su interacción con la morfología); (3) influencia del ángulo de incidencia del oleaje en la evolución de las formas; (4) existencia y propagación de ondas infragravitatorias. Tras este análisis se concluyó que si bien los patrones de refracción del oleaje sobre los valles fluviales sumergidos parecen ser el principal agente responsable de la formación de las puntas, otros elementos, como la existencia de ondas de borde, pueden contribuir a su mantenimiento y desarrollo.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es



Hidráulica Ambiental
máster universitario
Máster oficial UGR-UCO-UMA

Finalmente, la instalación de una estación de monitorización costera en el faro de Sacratif en Noviembre de 2002 permitió la toma de datos en tiempo real y la validación de algunas hipótesis teóricas, constituyendo una de las principales futuras líneas de trabajo.

Título: Predicción de la evolución de sistemas costeros a gran escala, basada en soluciones analíticas del modelo de una línea

Autor: Andrés Payo García

Fecha: 16 de abril de 2004

Directores: M.A. Losada y A. Baquerizo

Universidad: Granada

Calificación: Sobresaliente Cum Laude

Resumen

En el contexto de las tareas de la Gestión Integral de las Zonas Costeras, la incertidumbre acerca de la evolución a largo plazo (años a décadas) de la extensión superficial de grandes tramos de playa (decenas de kilómetros), juega un papel determinante durante la fase de planificación. Particularmente cuando deben de ser tomadas decisiones secuenciales que a su vez pueden generar un impacto en la zona costera.

La incertidumbre sobre el régimen de energía al que estará sometido el sistema costero es la principal fuente de incertidumbre. La propiedad acumulativa de la evolución costera junto con las condiciones ambientales estocásticas hace de la predicción un proceso complejo. Actualmente esta complejidad solo puede ser afrontada mediante los modelos de tendencia de evolución.

La correlación entre las variables costeras y su influencia sobre las propiedades estadísticas de las formas costeras hacen que hasta la fecha que no sea posible estimar la incertidumbre asociada a las distintas formas en planta del sistema costero.

En este trabajo se demuestra como a partir de una base de datos de posibles formas en planta de la playa, la técnica de las componentes principales permiten estimar como productorio de probabilidades marginales esta incertidumbre. Esta base de datos es generada a partir de registros históricos de clima marítimo en la región de estudio. La historia de clima marítimo es discretizada en estados de temporal y de no temporal, y simulada mediante la técnica de Monte Carlo. Estas historias son

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es





Hidráulica Ambiental
máster universitario

Máster oficial UGR-UCO-UMA

introducidas en un modelo de tendencia, donde la propiedad acumulativa de la evolución de la costa se tiene en cuenta al considerar la salida del modelo en cada estado como la condición inicial del siguiente.

Sin embargo los modelos de tendencia existentes no permiten recoger la variabilidad estocástica de las condiciones de contorno, la no homogeneidad del régimen de energía así como los tiempos de relajación entre estados. Por ello se ha desarrollado una nueva formulación del modelo tradicional de una línea, que si recoge estas propiedades y se ha encontrado su solución de forma casi analítica como un desarrollo en serie de autofunciones. La rápida convergencia de la solución, la convierte en más robusta frente a soluciones numéricas para llevara a cabo una simulación de Monte Carlo.

Programa Oficial de Posgrado *Dinámica de Flujos Ambientales y sus Aplicaciones*
Máster Oficial en Hidráulica Ambiental.
Universidades de Granada, Córdoba y Málaga
www.hidraulicaambiental.es

