

Estudio Numérico-Experimental de la Dinámica
de la Zona Cercana a la Costa

César Mösso Aranda

Joan Pau Sierra
Agustín Sánchez-Arcilla

Mayo, 2004

Agradecimientos

Resultaría prácticamente imposible mencionar a todas aquellas personas e instituciones a quien debo un profundo y sincero agradecimiento... sé que al mencionar a algunos y olvidarme de otros es un poco feo de mi parte. No obstante, creo necesario hacer una mención, sin que por el hecho de que algún nombre no quede aquí, signifique que es menos importante. En primer lugar quiero agradecer el apoyo que toda mi familia me ha brindado durante este largo camino. En particular quiero agradecer a mis padres, Arturo y Catalina, a mis hermanos (aunque en realidad, mis padres los recogieron del bote de la basura), a mis abuelos Luis y Maria Elena[†], Pablo y Catalina[†] (una mujer extraordinaria a quien recordaré siempre con todo cariño), a mi golpiza Lucero, la Dra. Mabobo, mis sobrin@s y al resto de ti@s y prim@s. También quiero agradecer a mis directores de tesis, Agustín Sánchez-Arcilla y en particular a Joan Pau Sierra por su ayuda, la confianza depositada en mi, pero sobre todo por su amistad. Pau, eres como un hermano para mí. A la Sra. Shehadi, que ocupa un lugar más importante del que posiblemente ella se imagina. A Eduardo de Neira por decirme que en España se comía mejor que en Inglaterra. Al CONACYT que me otorgó la beca y a los proyectos del programa MAST de la Unión Europea: FANS (MAST3-CT95-0037), coordinado por Agustín Sánchez-Arcilla y COAST 3D (MAST3-CT97-0086), coordinado por Richard Soulsby, por su apoyo para este trabajo. A Andrés Rodríguez (que me embaucó en todo esto), José Antonio Jiménez y José Manuel Redondo por sus consejos y ayuda en distintas fases de esta tesis. A Javier Pineda por su apoyo en todo momento. A Genoveva (la directora), por sus regañones, collejas y buen rollo. A Marisol y Emilia, por hacer el trabajo de Javier. A Quim Sospedra, Joan Puigdefábregas, Xavi Gironella, Vicenç Gracia, Manolo Espino, Federico Jerez, Jesús Gómez, Oscar Galego y Ricardo Torres (con quienes he tenido el privilegio de colaborar y que sin duda, todo esto funciona gracias a ustedes...). A Marquitos por... pues no se porque, al igual que a Biel, mi compadre. A Margarita Diez, María Garcies, Fernando Nieto, August Corrons, Belén Mercader, Daniel González, Marta Gascón, Herminia Valdemoro, Iván Cáceres, José María Alsina, Augusto Maidana, Anna Rubio, Mar Flexas, Erica Saavedra, David Vergés, Rodolfo Bolaños, Francisco López, Tonatiuh Mendoza, Jorge Brenner, Roberto Martínez, Jorrrrge Cateura, el Sr. Potter y todas aquellas gratas personas que han pasado por el LIM y a quienes he tenido el privilegio de conocer. A quienes ocupan un lugar muy importante en mi vida: Delia, Edgar, Rocío, Eric, Juanillo, Valentina, Rafa, Zavalamandra, Octavio, Mariana, Lety (tú en particular), Modesto, Ronald, Moni, Ofe, Lesvia, Sofía, Monte Marshall y a Edie, Dennis y Jesse Ondrusek entre otros grandes amigos. A la familia Clarós Gimeno, en particular a Celia y Salvador, a Toni Valls y familia (Toni, simplemente no hay palabras...) y finalmente y de manera muy especial, a Marta, que me ha acompañado durante lo mas difícil de este camino. A todos ustedes, Muchísimas Gracias!

Llegara una época en la que una investigación diligente y prolongada sacara a la luz cosas que hoy están ocultas. La vida de una sola persona, aunque estuviera toda ella dedicada a ello, sería insuficiente para investigar una materia tan vasta.

Por lo tanto este conocimiento solo se podrá desarrollar a lo largo de sucesivas edades. Llegara una época en la que nuestros descendientes se asombraran de que ignoráramos cosas que para ellos son tan claras.

Muchos son los descubrimientos reservados para las épocas futuras, cuando se haya borrado el recuerdo de nosotros. Nuestro universo seria una cosa muy limitada si no ofreciera a cada época algo que investigar.

La naturaleza no revela sus misterios de una vez para siempre.

SENECA, Cuestiones naturales, libro 7, siglo primero.

Lo conocido es finito, lo desconocido infinito; desde el punto de vista intelectual estamos en una pequeña isla en medio de un océano ilimitable de inexplicabilidad. Nuestra tarea en cada generación es recuperar algo más de tierra.

T. H. Huxley, 1887.

Resumen

En la actualidad, las decisiones en la ingeniería de costas y la gestión costera se apoyan, cada vez más, en los modelos numéricos predictivos de los procesos costeros, que por otra parte, se basan en modelos conceptuales simplificados que no reproducen de manera adecuada todos los procesos físicos relacionados en la dinámica costera. Buena parte de este problema se debe a la gran cantidad de incertidumbres que a día de hoy siguen existiendo en lo referente a la complejidad de la hidrodinámica, la transferencia de energía del oleaje a distintas escalas hidrodinámicas, la interacción de los flujos con el fondo marino y el transporte de sedimento y evolución del fondo resultantes. A pesar de esto y de su creciente demanda, raramente estos modelos se comparan (y validan) con datos de campo reales tomados en la zona de interés. Sin la adecuada calibración, la utilización de los resultados del modelado numérico de los procesos hidromorfodinámicos y de evolución costera a situaciones reales es, como mínimo, ambiguo y en ciertos casos podría ser hasta contraproducente.

Para mejorar los planteamientos conceptuales de los modelos, es necesario realizar medidas de campo para mejorar el conocimiento de los procesos hidromorfodinámicos y que a su vez, sirvan para validar las predicciones numéricas. Dado que la mayor parte de los datos de campo disponibles se han tomado en playas en Estados Unidos, su utilidad para calibrar modelos en playas de otras partes del mundo es limitada. Para cubrir esta carencia, recientemente se han realizado importantes esfuerzos de investigación en este campo en Europa. En ésta tesis se presentan tres campañas de campo a nivel Europeo encaminadas, por una parte, a mejorar el conocimiento de los procesos físicos hidrodinámicos (Delta'93 y Delta'96 en el Delta del Ebro), y por otra, a la obtención de información esencial para la simulación numérica de los procesos morfodinámicos (Egmond, Holanda). El análisis de los datos obtenidos de las campañas Delta'93 y Delta'96 se ha centrado en la separación de las distintas escalas hidrodinámicas presentes en la zona cercana a la costa, la cuantificación de la transferencia de energía del oleaje a dichas escalas, la caracterización de la estructura vertical de las corrientes inducidas por la rotura del oleaje, la fricción con el fondo y la evolución batimétrica resultante. Los datos obtenidos de la campaña de Egmond se han utilizado para la calibración y validación del campo de oleaje, corrientes inducidas por la rotura y la evolución del perfil de playa predichas por un modelo hidromorfodinámico desarrollado en el LIM-UPC.

1	Introducción	1.1
1.1	<i>Objetivos.....</i>	<i>1.4</i>
1.2	<i>Estructura del trabajo.....</i>	<i>1.5</i>

2.- Hidrodinámica Costera.....	2.1
2.1.- <i>Introducción</i>	2.1
2.2.- <i>Rotura del oleaje</i>	2.3
2.2.1.- Criterios de rotura.....	2.4
2.2.2.- Tipo de rompientes.....	2.7
2.2.3.- Decaimiento de la altura del oleaje en la zona de <i>surf</i>	2.10
2.2.4.- Modelos de disipación de la energía del oleaje.....	2.12
2.2.4.1.- Modelo de Battjes & Janssen (1978).....	2.13
2.2.4.2.- Modelo de Thornton & Guza (1983).....	2.15
2.2.4.3.- Modelo de Battjes & Stive (1984).....	2.19
2.2.5.- <i>Setup</i> , <i>Setdown</i> y Tensor de radiación.....	2.21
2.3.- <i>Oscilaciones de baja frecuencia en la zona cercana a la costa</i>	2.29
2.4.- <i>Turbulencia</i>	2.37
2.4.1.- Origen de la turbulencia. Viscosidad.....	2.38
2.4.2.- Intensidades y energía turbulentas.....	2.40
2.4.3.- Escalas características de la turbulencia.....	2.41
2.4.4.- Turbulencia en la zona de rompientes.....	2.44
2.4.4.1.- Difusión horizontal.....	2.46
2.4.4.2.- Definición de la macroturbulencia producida por la rotura del oleaje.....	2.49
2.5.- <i>Corrientes en la zona cercana a la costa</i>	2.51
2.5.1.- Corrientes inducidas por oleaje oblicuo.....	2.52
2.5.2.- Corrientes de retorno y circulación en celdas.....	2.63
2.5.3.- Corriente de resaca (<i>Undertow</i>).....	2.73
2.5.4.- Corrientes debidas a la combinación de oleaje oblicuo y variaciones longitudinales de <i>setup</i>	2.74

3.- Transporte de Sedimentos	3.1
3.1.- <i>Introducción</i>	3.1
3.2.- <i>Factores que regulan la variación de la morfología de playas</i>	3.2
3.3.- <i>Escalas de los procesos costeros</i>	3.3
3.4.- <i>Mecanismos de transporte de sedimentos</i>	3.10
3.5.- <i>Interacción Fluido-Sedimento</i>	3.13
3.5.1.- <i>Relación entre la hidrodinámica y los mecanismos de transporte</i>	3.16
3.5.2.- <i>Naturaleza de los flujos en la zona cercana a la costa</i>	3.17
3.5.3.- <i>Definición de tensiones de corte y capa límite</i>	3.19
3.6.- <i>Corrientes</i>	3.25
3.6.1.- <i>Perfil de velocidades y rugosidad del fondo</i>	3.30
3.6.2.- <i>Fuerzas del flujo sobre el sedimento</i>	3.35
3.6.2.1.- <i>Fuerzas de arrastre y sustentación</i>	3.35
3.6.2.2.- <i>Coefficiente de fricción</i>	3.36
3.6.2.3.- <i>Coefficiente de Chézy</i>	3.38
3.6.2.4.- <i>Tensiones de corte totales asociadas a una corriente</i>	3.42
3.7.- <i>Oleaje</i>	3.45
3.7.1.- <i>Perfil de velocidades del oleaje cerca del fondo</i>	3.46
3.7.2.- <i>Grosor de la capa límite del oleaje</i>	3.50
3.7.2.1.- <i>Factor de fricción del oleaje (f_w) en fondos no rugosos</i>	3.52
3.7.2.2.- <i>Factor de fricción del oleaje (f_w) en fondos rugosos</i>	3.54
3.7.2.3.- <i>Evaluación del factor de fricción</i>	3.56
3.7.2.4.- <i>Tensiones de corte totales del oleaje</i>	3.59
3.7.3.- <i>Perfil de velocidades del oleaje fuera de la capa límite</i>	3.60
3.8.- <i>Flujos combinados de olas y corrientes</i>	3.62
3.8.1.- <i>Modelo de Madsen</i>	3.63
3.8.1.1.- <i>Perfil de velocidades para flujos combinados de olas y corrientes</i>	3.66
3.8.1.2.- <i>Tensiones de corte para flujos combinados de olas y corrientes</i>	3.66
3.8.2.- <i>Modelo de Fredsøe</i>	3.66
3.8.2.1.- <i>Caso 1.- El oleaje y la corriente se propagan en la misma dirección</i>	3.67
3.8.2.1.1.- <i>Perfil de velocidades fuera de la capa límite del oleaje</i>	3.68
3.8.2.1.2.- <i>Perfil de velocidades dentro de la capa límite del oleaje</i>	3.69
3.8.2.2.- <i>Caso 2.- El oleaje y la corriente se propagan con un ángulo β</i>	3.70
3.8.3.- <i>Modelo de Bijker</i>	3.71
3.8.4.- <i>Modelo de Soulsby</i>	3.73
3.9.- <i>Umbral de inicio de movimiento</i>	3.74
3.9.1.- <i>Inicio del movimiento. Parámetro de Shields</i>	3.78
3.9.2.- <i>Diagrama modificado de Shields</i>	3.81
3.10.- <i>Formas geométricas y rugosidad del fondo</i>	3.86
3.10.1.- <i>Generación de formas del fondo por acción del oleaje</i>	3.88
3.10.2.- <i>Generación de ripples</i>	3.90
3.10.3.- <i>Geometría de los ripples</i>	3.91
3.10.4.- <i>Rugosidad del fondo en presencia de ripples</i>	3.91

4.- Estudios experimentales	4.1
4.1.- <i>Introducción</i>	4.1
4.1.1.- Motivación.....	4.3
4.1.2.- Procesos hidro-morfodinámicos en la zona cercana a la costa.....	4.3
4.2.- <i>Antecedentes de estudios experimentales hidro-morfodinámicos en la zona cercana a la costa</i>	4.5
4.2.1.- Campañas Británicas.....	4.6
4.2.2.- Campañas Canadienses.....	4.6
4.2.3.- Campañas Españolas.....	4.7
4.2.4.- Campañas Holandesas.....	4.8
4.2.5.- Campañas Japonesas.....	4.9
4.2.6.- Campañas Norteamericanas.....	4.10
4.2.7.- Campañas Rusas y de países ex-soviéticos.....	4.14
4.2.8.- Campañas Australianas.....	4.15
4.2.9.- Campañas Sudafricanas.....	4.15
4.2.10.- Campañas Francesas.....	4.16
4.2.11.- Campañas Polacas.....	4.17
4.2.12.- Otras campañas.....	4.17
4.2.13.- Experimentos de gran escala más recientes.....	4.18
4.3.- <i>Campaña UPC Delta'93</i>	4.19
4.3.1.- Metodología desarrollada.....	4.20
4.3.2.- Datos obtenidos durante la campaña Delta'93.....	4.22
4.3.3.- Proceso de datos.....	4.23
4.3.4.- Análisis de la metodología desarrollada.....	4.24
4.4.- <i>Diseño experimental Delta'96</i>	4.25
4.4.1.- Introducción.....	4.25
4.4.2.- Objetivos y planificación de la campaña Delta'96.....	4.27
4.4.3.- Zona de Estudio.....	4.27
4.4.4.- Equipo de medición. Diferencias y mejoras respecto a la campaña Delta'93.....	4.30
4.4.4.1.- Trineo.....	4.30
4.4.4.2.- Correntímetros electromagnéticos.....	4.31
4.4.4.3.- Sensor de altura de ola.....	4.33
4.4.4.4.- Estación meteorológica.....	4.33
4.4.4.5.- Compás.....	4.34
4.4.4.6.- Turbidímetros y correntímetros acoplados del equipo ruso.....	4.35
4.4.4.7.- Vídeo.....	4.35
4.4.4.8.- Tetrápodo.....	4.38
4.5.- <i>Diseño experimental en el proyecto COAST3D</i>	4.40
4.5.1.- Descripción de los experimentos en Egmond aan Zee.....	4.41
4.5.2.- Descripción de las campañas de Egmond.....	4.43
4.5.3.- Descripción de la campaña de Teignmouth.....	4.47

5.- Resultados experimentales hidromorfodinámicos en la zona costera del Delta del Ebro.....	5.1
5.1.- Descripción de la campaña Delta'96.....	5.1
5.2.- Innovaciones y mejoras con respecto a la campaña Delta'93.....	5.6
5.2.1.- Variables ambientales durante la campaña Delta'96.....	5.10
5.2.2.- Escalas de análisis	5.12
5.2.3.- Post-proceso de datos.....	5.15
5.3.- Turbulencia.....	5.15
5.3.1.- Antecedentes de la separación de escalas hidrodinámicas	5.16
5.3.2.- Método de separación de escalas propuesto por Rodríguez (1997)	5.17
5.3.3.- Metodología propuesta para la separación de escalas hidrodinámicas.	5.18
5.3.4.- Filtrado de la serie de velocidades	5.21
5.3.5.- Análisis de Resultados.....	5.23
5.3.6.- Análisis Temporal y Espacial.....	5.26
5.3.6.1.- Escala temporal de la turbulencia	5.26
5.3.6.2.- Escala espacial de la turbulencia	5.29
5.3.6.3.- Comparación de resultados.....	5.33
5.3.7.- Intensidades Macroturbulentas.....	5.33
5.3.8.- Energía cinética turbulenta.....	5.35
5.3.9.- Disipación	5.43
5.3.10.- Tensiones Macroturbulentas.....	5.44
5.4.- Transformación del espectro del campo de oleaje y transferencia de energía a distintas escalas hidrodinámicas en la zona cercana a la costa del Delta del Ebro.....	5.45
5.4.1.- Proceso de Datos.....	5.46
5.4.1.1.- Método de Grace.....	5.48
5.4.1.2.- Método MLFM	5.49
5.4.2.- Análisis espectral del oleaje en la zona de rompientes	5.52
5.4.3.- Análisis de la línea de orilla	5.55
5.4.4.- Transferencia de energía a distintas escalas hidrodinámicas	5.57
5.4.4.1.- Análisis de las series temporales de altura de ola	5.57
5.4.4.1.1.- Filtrado de las series de altura de ola	5.58
5.4.4.1.2.- Análisis espectral de las series de altura de ola	5.58
5.4.4.2.- Análisis de las series temporales de velocidades.....	5.65
5.4.4.2.1.- Elección del correntímetro	5.67
5.4.4.2.2.- Proyección de las componentes	5.67
5.4.4.2.3.- Filtrado de las series de velocidades.....	5.70
5.4.4.2.4.- Análisis espectral de las series de velocidades.....	5.70
5.5.- Corrientes longitudinales.....	5.79
5.5.1.- Datos experimentales	5.81
5.5.2.- Análisis de Resultados.....	5.82
5.6.- Evolución batimétrica a corto término en la Barra del Trabucador (Delta del Ebro) en condiciones de baja energía.....	5.91
5.6.1.- Análisis de la hidrodinámica durante las campañas Delta'93 y Delta'96.....	5.92
5.6.1.1.- Delta'93	5.92
5.6.1.1.1.- Características del viento.....	5.93
5.6.1.1.2.- Características del oleaje en la boya	5.94
5.6.1.1.3.- Características del oleaje y velocidades en el trineo	5.96
5.6.1.2.- Delta'96	5.103
5.6.1.2.1.- Características del viento.....	5.104
5.6.1.2.2.- Características del oleaje en la boya	5.105
5.6.1.2.3.- Características del oleaje y velocidades en el trineo.....	5.107
5.6.2.- Análisis de los cambios Batimétricos durante las campañas Delta'93 y Delta'96.....	5.114
5.6.2.1.- Delta'93	5.114
5.6.2.2.- Delta'96	5.125
5.7.- Discusiones y Conclusiones de los Resultados Experimentales.....	5.138

5.7.1.- Campañas de campo en la barra del Trabucador en el Delta del Ebro	5.138
5.7.2.- Turbulencia	5.141
5.7.2.1.- Medidas	5.141
5.7.2.2.- Metodología y Postproceso.....	5.141
5.7.2.3.- Resultados	5.142
5.7.3.- Transformación del Espectro del campo de oleaje y transferencia de energía a distintas escalas hidrodinámicas	5.145
5.7.3.1.- Medidas	5.145
5.7.3.2.- Metodología y Postproceso: Análisis Espectral	5.145
5.7.3.3.- Resultados.- Oleaje en la zona cercana a la costa	5.146
5.7.3.4.- Resultados- Imágenes de video.....	5.146
5.7.3.5.- Transferencia de energía a distintas escalas hidrodinámicas	5.148
5.7.3.5.1.- Medidas	5.148
5.7.3.5.2.- Metodología y Postproceso	5.148
5.7.3.5.3.- Resultados.....	5.148
5.7.4.- Corrientes longitudinales.....	5.149
5.7.4.1.- Medidas	5.149
5.7.4.2.- Resultados	5.150
5.7.5.- Evolución batimétrica a corto término en la Barra del Trabucador bajo condiciones de baja energía	5.151
5.7.5.1.- Mecanismos impulsores en Delta'93 y Delta'96.....	5.151
5.7.5.1.1.- Viento	5.151
5.7.5.1.2.- Oleaje	5.151
5.7.5.1.3.- Corrientes.....	5.152
5.7.5.2.- Variaciones batimétricas	5.153

6.- Analisis comparativo, simulación numérica y observaciones.....	6.1
6.1.- <i>Introducción</i>	6.1
6.2.- <i>Estudio comparativo de los modelos de disipación de energía por rotura de oleaje irregular</i> ...	6.4
6.2.1.- Datos disponibles.....	6.6
6.2.2.- Aplicación de los modelos de disipación.....	6.8
6.2.2.1.- Modelo de Battjes & Janssen (1978)	6.8
6.2.2.2.- Modelo de Battjes & Stive (1984)	6.15
6.2.2.3.- Modelo de Thornton & Guza (1983)	6.21
6.2.2.3.1.- Mejor ajuste del modelo con los parámetros γ - B libres	6.22
6.2.2.3.2.- Mejor ajuste del modelo con el parámetro B libre y $\gamma = 0.42$ (fijo).....	6.28
6.2.3.- Análisis de resultados	6.34
6.2.3.1.- Parámetros de los modelos de disipación.....	6.35
6.2.3.2.- Precisión de los modelos analizados	6.35
6.2.3.3.- Predicción del decaimiento de la altura de ola en la zona de rompientes	6.37
6.3.- <i>Incertidumbres del modelado numérico hidromorfodinámico en la zona cercana a la costa</i>	6.40
6.3.1.- Análisis de sensibilidad de los parámetros hidrodinámicos.....	6.41
6.3.1.1.- Efecto del ángulo de propagación del oleaje.....	6.42
6.3.1.2.- Efecto del período del oleaje.....	6.44
6.3.1.3.- Efecto del parámetro α	6.45
6.3.1.4.- Efecto del parámetro γ	6.47
6.3.1.5.- Efecto del nivel del mar	6.49
6.3.1.6.- Efecto del flujo de masa.....	6.50
6.3.1.7.- Efecto de la disipación por fricción de fondo	6.51
6.3.1.8.- Efectos de la viscosidad turbulenta (eddy viscosity)	6.53
6.3.2.- Análisis de la influencia de diversos parámetros en la morfodinámica	6.54
6.3.2.1.- Efectos de Δt	6.55
6.3.2.2.- Efecto del diámetro del sedimento.....	6.56
6.3.2.3.- Efecto del parámetro A_w	6.57
6.3.2.4.- Efecto del parámetro A_c	6.58
6.3.2.5.- Efecto del parámetro ϵ	6.59
6.3.3.- Análisis combinado de la influencia de parámetros hidrodinámicos y morfodinámicos....	6.61
6.3.3.1.- Variación del fondo en función del parámetro α	6.61
6.3.3.2.- Variación del fondo en función del parámetro γ	6.62
6.3.3.3.- Variación de la viscosidad turbulenta (eddy viscosity)	6.63
6.3.3.4.- Combinación de α y γ	6.64
6.3.3.5.- Combinación del parámetro γ y la viscosidad turbulenta.....	6.65
6.3.3.6.- Combinación de γ y ϵ	6.66
6.3.3.7.- Combinación de γ y A_w	6.67
6.3.3.8.- Combinación de la viscosidad turbulenta y ϵ	6.68
6.3.3.9.- Combinación de la viscosidad turbulenta y A_w	6.69
6.4.- <i>Modelado 2DV de perfiles de playa. Resultados y limitaciones</i>	6.71
6.4.1.- Evolución Morfodinámica.....	6.71
6.4.1.1.- Comparación con datos de campo (Experimento principal de Egmond)	6.72
6.5.- <i>Evaluación de la corriente longitudinal en la playa de la barra del Trabucador</i>	6.79
6.5.1.- Herramientas y métodos	6.81
6.5.2.- Modelado hidrodinámico	6.84
6.5.3.- Comparación entre simulaciones numéricas y medidas de campo	6.85
6.5.3.1.- Niveles del agua.....	6.85
6.5.3.2.- Decaimiento de la altura de ola.....	6.85
6.5.4.- Evaluación de las tensiones de corte en el fondo.....	6.86
6.5.5.- Análisis de resultados	6.87
6.5.5.1.- Escala de rugosidad del fondo k_n	6.89
6.5.5.2.- Ángulo entre olas y corrientes	6.90
6.5.5.3.- Factor de fricción	6.91

6.5.5.4.- Mezcla Lateral	6.91
6.6.- <i>Discusiones y Conclusiones de los Resultados Numéricos</i>	6.93
6.6.1.- Estudio comparativo de los modelos de disipación de energía por rotura del oleaje irregular	6.93
6.6.2.- Incertidumbres del modelado numérico hidromorfodinámico en la zona cercana a la costa	6.95
6.6.3.- Modelado 2DV de perfiles de playa. Resultados y limitaciones	6.98
6.6.4.- Evaluación numérico-experimental de la corriente longitudinal en la playa de la Barra del Trabucador	6.99

7.- Conclusiones generales y perspectivas futuras	7.1
<i>7.1.- Conclusiones generales</i>	<i>7.1</i>
7.1.1.- Diseño experimental	7.1
7.1.2.- Observaciones realizadas	7.3
7.1.3.- Observaciones vs Modelado	7.5
<i>7.2.- Perspectivas futuras</i>	<i>7.6</i>

A 1.- Modelo Numérico Hidro-Morfodinámico	A1.1
<i>A 1.1.- Introducción.....</i>	<i>A1.1</i>
<i>A 1.2.- Descripción del Modelo.....</i>	<i>A1.7</i>
A 1.2.1.- Propagación del oleaje.....	A1.8
A 1.2.2.- Circulación en la zona cercana a la costa.....	A1.11
A 1.2.3.- Módulo Morfodinámico.....	A1.14
A 1.2.3.1.- Transporte de Sedimento.....	A1.15
A 1.2.3.2.- Ecuación de transporte de Watanabe	A1.17
A 1.2.3.3.- Ecuación de continuidad del sedimento	A1.18

A 2.- Teoría de oleaje	A2.1
A 2.1.1.- Teoría lineal o de Airy	A2.2
A 2.1.2.- Teorías de onda de orden superior	A2.7
A 2.1.3.- Olas de viento y grupos de olas	A2.12
A 2.1.3.1.- Definiciones estadísticas de los parámetros del oleaje.....	A2.15
A 2.1.3.2.- Descripción espectral del oleaje.....	A2.16
A 2.1.3.3.- Fundamentos teóricos del análisis espectral.....	A2.17
A 2.1.3.3.1.- Eliminación de la tendencia	A2.18
A 2.1.3.3.2.- Ventana de datos	A2.18
A 2.1.3.3.3.- Transformada de Fourier	A2.19
A 2.1.3.3.4.- Filtrado	A2.19
A 2.1.3.3.5.- Estimación de la densidad de energía.....	A2.20
A 2.1.3.3.6.- Corrección de la profundidad	A2.22
A 2.1.3.3.7.- Parámetros espectrales	A2.22
A 2.1.3.3.8.- Valores para el análisis espectral.....	A2.23
A 2.1.3.4.- Relación entre parámetros estadísticos y espectrales	A2.24
<i>A 2.1.- Olas en aguas someras</i>	<i>A2.26</i>
A 2.1.4.- <i>Shoaling</i>	A2.26
A 2.1.5.- Refracción.....	A2.28
A 2.1.6.- Difracción	A2.30
A 2.1.7.- Reflexión	A2.31

