

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

