

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS Y ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	15
CAPÍTULO 1. OLEAJE	17
1.1 CLASIFICACIÓN DEL OLEAJE	19
1.1.1 Oleaje local o SEA	20
1.1.2 Oleaje distante o SWELL	20
1.2 CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE	20
1.2.1 Descripción física del oleaje	20
1.2.2 Descripción matemática del oleaje.....	21
1.2.3 Descripción estadística del oleaje.....	21
1.2.3.1 El oleaje como proceso estocástico	22
1.2.3.2 El oleaje como proceso estacionario	23
1.2.3.3 El oleaje como proceso ergódico	23
1.3 FUNDAMENTOS DE HIDRODINÁMICA	23
1.3.1 Ecuaciones fundamentales	24
1.3.1.1 Ecuación de continuidad	24
1.3.1.2 Ecuación de Laplace	24
1.3.1.3 Ecuación de Navier-Stokes	24
1.3.1.4 Ecuaciones de Euler	25
1.3.1.5 Ecuación de Bernoulli.....	25
1.3.2 Flujo sobre fondo impermeable	25
1.3.2.1 Condiciones de contorno	25
1.3.2 Teoría lineal de ondas sobre fondo impermeable	26
1.4 TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE EN LA ZONA COSTERA	27
1.4.1 Someramiento	28

1.4.2 Refracción	28
1.4.3 Difracción	28
1.4.4 Reflexión	28
1.4.5 Rotura	29
1.5 CORRIENTES MARINAS.....	30
1.5.1 Corrientes inducidas por el oleaje	30
CAPÍTULO 2. ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN DE LA PLAYA.....	31
2.1 PLAYAS DE ARENA	31
2.1.1 Morfología de las playas	31
2.1.1.1 Forma en perfil de las playas	31
2.1.1.2 Forma en planta de las playas.....	34
2.1.1.3 Morfología a largo plazo de las playas: Playas en equilibrio.....	34
2.1.2 Transporte de sedimentos	36
2.1.2.1 Transporte longitudinal de sedimentos	36
2.1.2.2 Transporte transversal de sedimentos.....	37
2.1.3 Problema de erosión en las playas	37
2.2 ALTERNATIVAS PARA LA PROTECCIÓN DE LA PLAYA.....	38
2.2.1 Tipos y funciones de las obras para la protección de la playa.....	38
2.2.1.1 Relleno de playas	38
2.2.1.2 Espigones	40
2.2.1.3 Rompeolas.....	42
2.2.1.4 Seawalls.....	45
2.2.1.5 Revestimientos.....	45
2.2.1.6 Drenado de playas	46
CAPÍTULO 3. MODELO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS.....	47
3.1 RELACIÓN DE DISPERSIÓN.....	50
3.2 SOLUCIÓN A LA ECUACIÓN MODIFICADA DE LA PENDIENTE SUAVE.....	50
3.2.1 Condiciones de frontera.....	50

3.2.1.1 Condición de frontera abierta.....	51
3.2.1.2 Condición de frontera parcialmente reflejante	51
3.2.2 Generación del sistema de ecuaciones	51
3.2.2.1 Ecuación de gobierno.....	51
3.2.2.2 Ecuación para la frontera abierta.....	51
3.2.2.3 Determinación del oleaje en una frontera con fondo variable	52
3.2.2.4 Determinación del ángulo local	52
3.2.3 Solución del sistema de ecuaciones a través de un método Gaussiano.	52
3.3 PROGRAMA COMPUTACIONAL MWAPO_V4	53
3.3.1 Descripción de archivos de entrada.....	53
3.3.1.1 Ejemplo de archivo de entrada con una lista de casos	53
3.3.1.2 Ejemplo de archivo con las condiciones generales	54
3.3.1.3 Criterio para establecer la dirección del oleaje incidente.....	55
3.3.1.4 Descripción del archivo de entrada con los datos batimétricos	55
3.3.2 Descripción de los archivos de salida.....	56
3.3.2.1 Archivo de resultados con la amplitud máxima	56
3.3.2.2 Archivo de resultados con la superficie libre instantánea	57
4.1 DESARROLLO KANAI	59
4.2 ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN	61
4.2.1 Evaluación del funcionamiento de las estructuras de protección	62
4.2.1.1 Escenario 1. Posición original con estructuras coronadas al NMM	64
4.2.1.2 Escenario 2. Estructuras desplazadas 50 metros hacia el mar coronadas al NMM	67
4.2.1.3 Escenario 3. Sólo la estructura central corrida 50 metros hacia el mar y coronadas al NMM	69
4.2.1.4 Escenario 4. Estructuras en posición original, coronadas 50 centímetros por debajo del NMM ...	70
4.2.1.5 Escenario 5. Estructuras en posición original, coronadas 50 centímetros por debajo del NMM, con el doble de ancho propuesto	72
4.2.1.6 Escenario 6. Estructuras en posición original, con el triple de ancho del propuesto y coronadas al NMM	74
4.2.2 Propuesta de diseño estructural	75
4.2.2.1 Diseño estructural de las protecciones, con pendiente 1:1.5.....	75
4.2.2.2 Diseño estructural de las protecciones, con pendiente 1:2.....	83
4.2.2.3 Comentarios sobre el diseño estructural	85
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	87
CONCLUSIONES.....	87

FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	88
ANEXOS	89
ANEXO DIGITAL.....	89
A. ARCHIVOS DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA WAPO_V4 CON LAS DIFERENTES CONDICIONES DE OLEAJE	89
BIBLIOGRAFÍA	103

Lista de figuras

Figura 1. 1 Características de la onda.....	18
Figura 1. 2 Periodo-energía de las ondas (Kinsman, 1965)	19
Figura 1. 3. Oleaje tipo SEA (izq.) y oleaje tipo SWELL (der.).....	20
Figura 1. 4 Tipos de rotura del oleaje.....	29
Figura 2. 1 Zonificación y partes del perfil de playa. Modificado de USACE (1984)	32
Figura 2. 2 Perfil dinámico de la playa.....	34
Figura 2. 3 Relleno de playa por bombeo de arena.....	39
Figura 2. 4 Función de un espigón, visto en planta	40
Figura 2. 5 Espigones en Sitges, España (izq.) y comportamiento típico de un grupo de espigones (der.).....	41
Figura 2. 6 Espigón de material rocoso (izq.), espigón de madera (der.)	41
Figura 2. 7 Estructuras rompeolas.....	42
Figura 2. 8 Formación de tómbolos en rompeolas.....	43
Figura 2. 9 Gánguil.....	44
Figura 2. 10 Corte transversal de rompeolas	44
Figura 2. 11 Seawall, Japón	45
Figura 2. 12 Revestimiento de playa, utilizando material rocoso	46
Figura 3. 1 Croquis del problema de propagación en fondo variable	47
Figura 3. 2 Ejemplo de archivo de entrada con lista de casos.....	54
Figura 3. 3 Ejemplo de archivo con condiciones de entrada.....	55
Figura 3. 4 Estructura de archivo de batimetría	56
Figura 3. 5 Estructura de archivo de resultados con amplitud máxima	57
Figura 3. 6 Estructura de archivo de resultados con la superficie libre instantánea.....	57
Figura 4. 1 Localización del desarrollo Kanai.....	59
Figura 4. 2 Perfil de relleno de playa	60
Figura 4. 3 Perfil de relleno de playa y duna artificial	60
Figura 4. 4 Sección transversal de estructura de protección	61
Figura 4. 5 Batimetría de cálculo.....	62
Figura 4. 6 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1	64
Figura 4. 7 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta.....	65
Figura 4. 8 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 1 con sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta.....	66
Figura 4. 9 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 2	67
Figura 4. 10 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 2 con sobre-elevación de 2 metros por marea de tormenta.....	68
Figura 4. 11 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 3	69
Figura 4. 12 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 4	70
Figura 4. 13 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 4 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta	71
Figura 4. 14 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 5	72
Figura 4. 15 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 5 con sobre-elevación de 1 metro por marea de tormenta	73
Figura 4. 16 Ejemplo de superficie libre (izq.) y altura de ola (der.) para el escenario 6	74
Figura 4. 17 Localización, en planta, de los diferentes sectores de un dique sumergido.	75

Figura 4. 18 Secciones transversales de las propuestas de diseño estructural. Con pendiente 1:2 (arriba) y 1:1.5 (abajo)	86
Figura A. 1 Archivo de entrada KA01WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)	89
Figura A. 2 Archivo de entrada KA02WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)	90
Figura A. 3 Archivo de entrada KA03WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)	90
Figura A. 4 Archivo de entrada KA04WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)	91
Figura A. 5 Archivo de entrada KA05WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s).....	91
Figura A. 6 Archivo de entrada KA06WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 12 (s).....	92
Figura A. 7 Archivo de entrada KA07WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s).....	92
Figura A. 8 Archivo de entrada KA08WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 12 (s).....	93
Figura A. 9 Archivo de entrada KA09WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 10 (s).....	93
Figura A. 10 Archivo de entrada KA10WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 12 (s).....	94
Figura A. 11 Archivo de entrada KA11WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 10 (s).....	94
Figura A. 12 Archivo de entrada KA12WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 12 (s).....	95
Figura A. 13 Archivo de entrada KA13WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 10 (s).....	95
Figura A. 14 Archivo de entrada KA14WAP.INP, H= 2 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 12 (s).....	96
Figura A. 15 Archivo de entrada KA15WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 10 (s).....	96
Figura A. 16 Archivo de entrada KA16WAP.INP, H= 4 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 12 (s).....	97
Figura A. 17 Archivo de entrada KA17WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 10 (s)	97
Figura A. 18 Archivo de entrada KA18WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = -22.5^\circ$, T= 12 (s)	98
Figura A. 19 Archivo de entrada KA19WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 10 (s).....	98
Figura A. 20 Archivo de entrada KA20WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 0^\circ$, T= 12 (s).....	99
Figura A. 21 Archivo de entrada KA21WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 10 (s).....	99
Figura A. 22 Archivo de entrada KA22WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 22.5^\circ$, T= 12 (s).....	100
Figura A. 23 Archivo de entrada KA23WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 10 (s).....	100
Figura A. 24 Archivo de entrada KA24WAP.INP, H= 1 (m), $\theta = 45^\circ$, T= 12 (s).....	101

Lista de tablas

Tabla 1. 1 Clasificación de las ondas por su periodo (Johnson <i>et al</i> , 1978).....	18
Tabla 1.2 Características de los parámetros adimensionales para las distintas teorías de ondas	21
Tabla 1. 3 Valores del número de Iribarren para los diferentes tipos de rotura según Batjes (1974)	30
Tabla 4. 1 Volúmenes de mortero para construcción de protecciones.....	61
Tabla 4. 2 Resumen de los casos modelados	63
Tabla 4. 3 Parámetros de ajuste de las curvas (4.3), para el diseño del talud exterior.....	77
Tabla 4. 4 Parámetros de ajuste de las curvas (4.8), para el diseño de la coronación	79
Tabla 4. 5 Parámetros de ajuste de las curvas (4.10), para el diseño del talud interior	80
Tabla 4. 6 Parámetros de ajuste de las curvas (4.13) y (4.14), para el diseño del morro.....	82