



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

MODELACIÓN DE LA RESPUESTA DEL PERFIL DE PLAYA

BENJAMÍN EDUARDO HERNÁNDEZ ALFARO

Diciembre 2012

MODELACIÓN DE LA RESPUESTA DEL PERFIL DE PLAYA

Benjamín Eduardo Hernández Alfaro

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

Matías Quezada Labra
Profesor guía

Patricio Monárdez Santander
Integrante comisión

Cristóbal Pantoja Bonati
Integrante comisión

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Autor: Benjamín Hernández Alfaro

Profesor Guía: Matías Quezada Labra

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Karina Brevis, por el tiempo y cariño invertido durante el desarrollo de esta memoria y en cada iniciativa en la cual me he embarcado. Mis pequeños logros no serían posibles sin su incondicional apoyo.

Al señor Matías Quezada, por toda la enorme ayuda entregada tanto en el presente documento, como a lo largo de toda mi formación como futuro ingeniero.

A los señores; Patricio Monárdez, Cristóbal Pantoja, Hugo Acuña, Claudio Meza y Rodrigo Muñoz, por los aportes entregados en el desarrollo de esta memoria.

A Baird & Associated por la ayuda brindada en el desarrollo de este trabajo.

Finalmente a los docentes; Pedro Espoz, Patricio Winckler, Matías Quezada, Jorge Rojas, Jaime Serrano, entre otros. Los cuales me brindaron mucha diversión durante mi aprendizaje en las materias de la ciencia e ingeniería.

A TOÑITO

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	11
1.2 MOTIVACIÓN.....	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. MARCO TEÓRICO	15
3.1 EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA EN PLAYAS.....	15
3.1.1 <i>MODELACIÓN DE LA EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA</i>	17
3.1.2 <i>MODELOS DE RESPUESTA DEL PERFIL DE PLAYA</i>	18
3.1.3 <i>PARTICULARIDADES DE LA MORFOLOGÍA EN LAS COSTAS DE CHILE</i>	23
3.2 OLEAJE.....	23
3.2.1 <i>GENERALIDADES</i>	23
3.2.1.1 DESCRIPCIÓN OLEAJE REGULAR.....	24
3.2.1.2 DESCRIPCIÓN OLEAJE IRREGULAR.....	26
3.2.2 <i>TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE</i>	31
3.2.2.1 MODELOS DE TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE.....	31
3.2.2.2 MODELACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE.....	33
3.2.3 <i>ROTURA DEL OLEAJE</i>	38
3.2.3.1 DEFINICIONES FÍSICAS DE LA ROTURA DEL OLEAJE.....	38
3.2.3.2 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL ÍNDICE DE ROTURA DEL OLEAJE.....	39
3.2.3.3 DIFERENCIAS ENTRE LA ROTURA PARA OLEAJE REGULAR E IRREGULAR.....	39
3.2.4 <i>MODELACIÓN DEL OLEAJE PARA MODELOS DE EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA</i>	40
3.2.5 <i>CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE EN LAS COSTAS DE CHILE</i>	41
3.3 CORRIENTES Y VARIACIONES DEL NIVEL MEDIO INDUCIDAS POR OLEAJE.....	43
3.3.1 <i>MOMENTO DEL OLEAJE Y TENSORES DE RADIACIÓN</i>	43
3.3.2 <i>INDUCCIÓN DE SET-UP Y SET-DOWN POR OLEAJE</i>	45
3.4 CORRIENTES.....	45
3.5 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	47
3.5.1 <i>MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS</i>	48
3.5.2 <i>MODELO ENERGÉTICO PROPUESTO POR BAILARD (1981)</i>	51
4. PLANTEAMIENTO TEÓRICO DEL MODELO	54
4.1 DOMINIO ESPACIAL DE RESOLUCIÓN Y PARÁMETROS DE ENTRADA.....	55
4.2 MÓDULO DE OLEAJE PARAMÉTRICO.....	56
4.2.1 <i>ASOMERAMIENTO Y REFRACCIÓN</i>	56
4.2.2 <i>DISIPACIÓN POR ROTURA</i>	57
4.2.2.1 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE BATTJES & JANSSEN (1978), BJ78.....	60
4.2.2.2 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE BATTJES & STIVE (1985), BS85.....	62
4.2.2.3 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE SOUTHGATE & NAIRN (1993), SN93.....	62
4.2.2.4 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE THORNTON & GUZA (1983), TG83.....	63
4.2.2.5 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE WHITFORD (1988), WH88.....	65
4.2.2.6 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE RATTANAPITIKON Y SHIBAYAMA (1998), RS98.....	65
4.2.2.7 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE RATTANAPITIKON ET AL. (2003) RK03.....	66
4.2.2.8 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE BALDOCK ET AL. (1998), BHV98.....	67
4.2.2.9 APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE RUESSINK ET AL. (2003), RWS03.....	68

4.2.2.10	APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE JANSSEN & BATTJES (2007), JB07	68
4.2.2.11	APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE TAJIMA & MADSEN (2004), TM04.....	69
4.2.2.12	APROXIMACIÓN DE DISIPACIÓN DE KURIYAMA (2012), YK12	70
4.3	MÓDULO DE OLEAJE ESPECTRAL	71
4.3.1	DISIPACIÓN POR ROTURA	72
4.3.2	INTERACCIÓN NO LINEAL OLA A OLA	73
4.4	MÓDULO INCLUSIÓN DEL ROLLER	75
4.4.1	APROXIMACIÓN DEL ROLLER DE STIVE & DE VRIEND (1994).....	75
4.4.2	APROXIMACIÓN DEL ROLLER DE LIPPMANN ET AL. (1996).....	76
4.4.3	APROXIMACIÓN DEL ROLLER DE TAJIMA & MADSEN (2004).....	76
4.4.4	APROXIMACIÓN DEL ROLLER DE KURIYAMA (2012)	78
4.5	MÓDULO DETERMINACIÓN DEL NIVEL MEDIO	79
4.6	MÓDULO DE CORRIENTES NETAS EN EL FONDO	80
4.6.1	APROXIMACIÓN DE VRIEND & STIVE (1987)	80
4.6.2	APROXIMACIÓN DE TAJIMA & MADSEN (2004).....	82
4.6.3	APROXIMACIÓN DE KURIYAMA (2010)	82
4.7	MÓDULO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	83
4.7.1	APROXIMACIÓN DE RANASINGHE ET AL. (1999).....	83
4.7.2	APROXIMACIÓN DE KURIYAMA (2012)	86
4.8	MÓDULO DE TRANSPORTE EN LA ZONA DE ASCENSO-DESCENSO	87
4.9	MÓDULO DE EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA	88
5.	VALIDACIÓN DE LOS MÓDULOS MEDIANTE DATOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.....	90
5.1	VALIDACIÓN MÓDULOS DE OLEAJE PARAMÉTRICOS.....	90
5.1.1	APROXIMACIONES BASADAS EN LA DISTRIBUCIÓN DE RAYLEIGH TRUNCADA.....	92
5.1.2	APROXIMACIONES BASADAS EN LA DISTRIBUCIÓN DE RAYLEIGH COMPLETA	95
5.1.3	APROXIMACIONES DE ENERGÍA LÍMITE	98
5.1.4	APROXIMACIONES BASADAS EN LA APLICACIÓN DE UNA FUNCIÓN DELTA DE DIRAC A LA DISTRIBUCIÓN RAYLEIGH PARA OLEAJE NO SATURADO	101
5.1.5	ANÁLISIS DEL ERROR	103
5.2	VALIDACIÓN MÓDULO DE OLEAJE ESPECTRAL	107
5.3	VALIDACIÓN MÓDULO VARIACIONES DEL NIVEL MEDIO.....	111
5.4	VALIDACIÓN MÓDULO DE CORRIENTES	116
6.	COMPARACIÓN DEL MODELO CON DATOS DE CAMPO.....	121
6.1	DESCRIPCIÓN DE LAS MEDICIONES PARA LA COMPARACIÓN.....	123
6.2	COMPARACIÓN DIRECTA CON DATOS DE CAMPO	125
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
8.	REFERENCIAS.....	135

Anexo A: Detalle de la comparación entre los datos simulados y medidos para los esquemas de disipación presentados en el módulo de oleaje paramétrico.

Anexo B: Detalle error relativo en porcentaje para los esquemas de disipación presentados en el módulo de oleaje paramétrico.

Anexo C: Comparaciones del modelo con datos de campo para los casos no considerados

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1: Resumen de las características y capacidades del modelo para su comparación realizado por Schoonees & Theron (1995).	22
Tabla 3.2: Comparación de la capacidad de los modelos para simular los procesos de transformación del oleaje.	32
Tabla 3.3: Variables calculadas por los modelos de transformación de ondas.	32
Tabla 3.4: Importancia relativa de los procesos que afectan la evolución del oleaje.....	37
Tabla 5.1: Casos validación módulo de olas	90
Tabla 5.2: Coeficientes empleados en la validación de los modelos de disipación.....	91
Tabla 5.3: Error relativo para el esquema de disipación BJ78, sin calibrar.	103
Tabla 5.4: Resumen resultados módulos paramétricos de oleaje.....	106
Tabla 6.1: Casos para las comparaciones con datos de campo.....	126
Tabla 6.2: Resumen de los errores cuadráticos medios para los casos considerados.	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1:	Comparación invierno-verano, Playa Acapulco, Viña del Mar.....	15
Figura 3.2:	Comparación variación de la porción emergida de un muro.	16
Figura 3.3:	Procesos según escalas espaciales y temporales.	17
Figura 3.4:	Esquema básico de un modelo de respuesta del perfil de playa.....	19
Figura 3.5:	Esquema mega escala de la morfología en las costas de Chile	23
Figura 3.6:	Comparación entre oleaje regular e irregular.....	24
Figura 3.7:	Descripción de oleaje regular en el espacio y en el tiempo.....	24
Figura 3.8:	Validez de las teorías de oleaje.....	25
Figura 3.9:	Descripción estadística de oleaje irregular.....	26
Figura 3.10:	Espectro de superficie de amplitud y de fase.....	28
Figura 3.11:	Esquema eje y perfil de propagación.....	33
Figura 3.12:	Análisis de refracción.	35
Figura 3.13:	Excedencia Altura Significativa media para 3 [m] en (días/años).....	42
Figura 3.14:	Estados <i>peak</i> de las tormentas más severas en los 30 últimos años en Chile..	43
Figura 3.15:	Esquema variables involucradas en los flujos asociados a la zona de surf.....	47
Figura 4.1:	Discretización dominio espacial del perfil.	55
Figura 4.2:	Esquema del bore.	58
Figura 4.3:	Esquema fundamento de modelos de energía límite.....	59
Figura 4.4:	Esquema de onda lineal equivalente	69
Figura 4.5:	Esquema del término sumidero; disipación debido a rotura inducida por la interacción con el fondo.	73
Figura 4.6:	Esquema de la forma del término fuente; interacción no lineal ola a ola mediante triadas.....	74
Figura 4.7:	Esquema de la sección transversal del <i>roller</i> de superficie.....	78
Figura 4.8:	Esquema distribución vertical de velocidades en el modelo de Kuriyama.....	78
Figura 4.9:	Esquema aplicación del transporte en la zona de lavado.	88
Figura 4.10:	Esquema derivación ecuación de conservación del sedimento.	89
Figura 5.1:	Resultados comparación perfil sin barra con BJ78, sin calibrar.	92
Figura 5.2:	Resultados comparación perfil sin barra con BJ78, calibrado.....	92
Figura 5.3:	Resultados comparación perfil con barra con BJ78, calibrado.....	93
Figura 5.4:	Resultados comparación perfil con y sin barra con BS85, sin calibrar.	94
Figura 5.5:	Resultados comparación perfil con y sin barra con SN93, sin calibrar.	94
Figura 5.6:	Resultados comparación perfil sin barra con TG83 Ex1, sin calibrar y calibrado.	95
Figura 5.7:	Resultados comparación perfil con barra para TG83 Ex1 y Ex2, calibrados.	96
Figura 5.8:	Resultados comparación perfil sin barra con WH88, sin calibrar y calibrado. ...	97
Figura 5.9:	Resultados comparación perfil sin barra con YK12, sin calibrar y calibrado.	97
Figura 5.10:	Resultados comparación perfil con barra con YK12, calibrado.	98
Figura 5.11:	Resultados comparación perfil sin barra con RS98, sin calibrar y calibrado.	99
Figura 5.12:	Resultados comparación perfil con barra con RS98, calibrado.	99
Figura 5.13:	Resultados comparación perfil con y sin barra con RK03, sin calibrar.	100
Figura 5.14:	Resultados comparación perfil con barra con TM04, sin calibrar.....	101
Figura 5.15:	Resultados comparación perfil con y sin barra con BHV98, sin calibrar.....	101
Figura 5.16:	Análisis del error para los esquemas revisados.....	105
Figura 5.17:	Ejemplo Espectro direccional de oleaje.	107
Figura 5.18:	Validación Espectral $H_s = 2.11m$ a $8m$ de profundidad.	109
Figura 5.19:	Validación Espectral $H_s = 1.35m$ a $8m$ de profundidad.	110

Figura 5.20: Comparaciones Variación Nivel Medio mediante Stive & De Vriend (1999)....	112
Figura 5.21: Comparaciones Variación Nivel Medio mediante Tajima & Madsen (2004). ...	113
Figura 5.22: Comparaciones Variación Nivel Medio mediante Y. Kuriyama (2012).	114
Figura 5.23: Comparaciones Variación Nivel Medio mediante Stive & De Vriend (1999)....	115
Figura 5.24: Comparaciones Variación Nivel Medio mediante Tajima & Madsen (2004) ...	115
Figura 5.25: Comparaciones Variación Nivel Medio mediante Y. Kuriyama (2012)	116
Figura 5.26: Comparaciones Modelos de Corrientes, Ensayo Rodríguez et al. (1994).	117
Figura 5.27: Comparaciones Modelos de Corrientes, Ensayo Roelvink & Stive (1989a) ...	118
Figura 5.28: Comparaciones Modelos de Corrientes, Ensayo Roelvink & Stive (1989b) ...	119
Figura 5.29: Comparaciones Modelos de Corrientes, Ensayo Guza & Thornton (1985)	120
Figura 6.1: Ubicación FRF.....	121
Figura 6.2: Configuración de los instrumentos empleados en los experimentos asociados a los distintos grupos de investigación.....	122
Figura 6.3: Disponibilidad espacial de datos: (1) Muestras de Sedimento, (2) Sonares para determinar profundidades, (3) Mediciones de presión, (4) Sensores de velocidad.	123
Figura 6.4: Tamaño del sedimento a lo largo del perfil.	124
Figura 6.5: Tormenta medida a 8[m] de profundidad	125
Figura 6.6: Comparación estados de mar correspondientes a las horas 01, 04 y 07.....	128
Figura 6.7: Comparación estados de mar correspondientes a las horas 10, 13 y 16.....	129
Figura 6.8: Comparación estados de mar correspondientes a las horas 19 y 22.....	130

RESUMEN

Modelar de forma numérica la respuesta del perfil transversal de una playa ante la acción de una tormenta, implica determinar los principales agentes responsables de las variaciones en la morfología. Éste documento presenta de manera extensiva la revisión, evaluación y recomendación de algunas formulaciones y aproximaciones para lograr dicho propósito.

Se determina que el agente más dominante responsable de accionar el transporte de sedimento es el oleaje, y éste debe ser determinado antes, durante y después de rotura, siendo este proceso el más importante en el decaimiento de la energía dentro de la zona de *surf*. La propagación del oleaje en el presente documento se realizó mediante dos enfoques; paramétrico y espectral.

La propagación del oleaje mediante el enfoque paramétrico se realizó implementando 13 aproximaciones para estimar la tasa de disipación por rotura, estos esquemas fueron validados con mediciones de laboratorio para un amplio rango de condiciones hidrodinámicas. Los resultados mostraron en general que para los perfiles sin presencia de barra, el error es inferior al 5% para todos los esquemas probados, mientras que los casos con barra el error está en torno al 10% para los esquemas de energía límite, aumentando para el resto de los casos. El enfoque espectral se realizó para una sola tasa de disipación y los resultados indicaron una buena correspondencia entre los espectros simulados y los medidos en terreno, de las comparaciones con mediciones de campo se concluyó como adecuada la modelación del oleaje para los datos probados mediante el enfoque paramétrico.

Se desarrolló un análisis cualitativo de algunas de las expresiones disponibles para la estimación de las variaciones del nivel medio y corrientes, además se evaluó el efecto del *roller*. Se concluyó que incluir el *roller* implica una mejora en las comparaciones con datos de laboratorio y es necesario para aumentar la precisión en la estimación de la variación del nivel medio del mar, así como también de las corrientes.

Para evaluar la efectividad en la estimación del transporte de sedimentos y los esquemas numéricos disponibles para resolver la ecuación de balance del sedimento, se probaron algunas expresiones, encontrando que estas son capaces de modelar las variaciones en la morfología producto de la acción de una tormenta. Se efectuó un análisis cuantitativo del error entre los perfiles medidos y los resultantes de la modelación, obteniéndose en el mejor de los casos un error cuadrático medio de 0.2 m, valor adecuado en este tipo de modelaciones.

Como conclusión general se determinó que la simulación de la evolución del perfil de playa ante la acción de tormentas es un proceso complejo, sin embargo, se puede representar de manera adecuada mediante un enfoque numérico si los agentes principales (oleaje, corriente, transporte de sedimentos y conservación de la cantidad de sedimentos) son bien representados.