



Memoria para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**“EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE MODELADO PARA DEFINIR EL
OLEAJE EN ZONAS DE DIFRACCIÓN EN AGUAS DE
PROFUNDIDAD RELATIVA INTERMEDIA, APLICADO A LA BAHÍA
DE VALPARAISO, V REGIÓN-CHILE”**

GUSTAVO ADOLFO HAFEMANN OYARZUN

Octubre 2016

“EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE MODELADO PARA DEFINIR EL OLEAJE EN ZONAS DE DIFRACCIÓN EN AGUAS DE PROFUNDIDAD RELATIVA INTERMEDIA, APLICADO A LA BAHÍA DE VALPARAISO, V REGIÓN-CHILE”

GUSTAVO ADOLFO HAFEMANN OYARZUN

COMISIÓN REVISORA

CALIFICACIONES

Nota

Firma

PROFESOR GUÍA
SR. MATÍAS ALDAY

PROFESOR REVISOR 2
SR. MAURICIO MOLINA

PROFESOR REVISOR 3
SR. MARCO MATAMALA

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados 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.

Matías Alday González
Profesor Guía

Gustavo Hafemann Oyarzún
Alumno Memorista

... El conocimiento si no se sabe aplicar es peor que la ignorancia...

Charles Bukowski (1920-1994)

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer el apoyo de mi tutor Matías Alday por su dedicación, vocación y motivación en la explotación del aprendizaje constante que estimularon mis ganas de terminar éste proceso universitario de buena manera. Por otro lado, agradezco al profesor Patricio Winckler por su tiempo para brindar observaciones y sugerencias que sirvieron para mejorar el desarrollo de la tesis.

Esta etapa de mi vida no pudo haberse llevado a cabo sin el apoyo incondicional de mis padres quienes me brindaron cariño, confianza y soporte moral durante todo el periodo académico. Sin ustedes definitivamente no lo hubiese logrado. Mil gracias por todo, los amo infinitamente y agradeceré hasta la eternidad la oportunidad y facilidad que ambos me dieron para estudiar y ser un profesional.

Quiero agradecer de forma especial a mi hermano Carlitos Andrés, quien el 2008 nos dejó para descansar y cuidarnos desde el cielo. Una persona muy importante en mi vida que seguiré admirando profundamente y que, sin duda alguna, me brindó las fuerzas y energías necesarias para culminar esta etapa con alegría y éxito. Te amo hermanito.

Gracias a mis abuelitas Lastenia y Emelina que siempre me brindaron ayuda, apoyo y cariño durante toda la vida y toda la carrera, las quiero mucho.

Gracias les doy a mis primos y tíos /as que siempre preocupados me presionaban para terminar.

Gracias también a mis amigos y compañeros que con sus palabras de aliento y apoyo aportaron a construir este camino, especialmente a Cristian Santander por su apoyo incondicional, a Juan Pablo Jorquera, a Pablo Vera y también a Francisca Araya por su paciencia y compañía. Infinitas gracias por brindar valiosa ayuda y apoyo en las distintas etapas del proceso de desarrollo de la tesis. Gracias de corazón por todo.

Para terminar, gracias a Dios por darme la oportunidad de estudiar, conocer y aprender de ésta bella carrera.

Dedicado a mi Padres
y en especial a mi hermano Q.E.P.D
con todo el amor del mundo...

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS.....	2
3	ESTADO DEL ARTE	4
3.1	OLEAJE	4
3.2	GENERACION DEL OLEAJE.....	5
3.3	CLASIFICACIÓN DEL OLEAJE	8
3.4	TEORÍAS DE OLEAJE.....	11
3.4.1	TEORÍA LINEAL DEL OLEAJE	12
3.4.2	ECUACIÓN DE GOBIERNO Y CONDICIONES DE FRONTERA.....	13
3.4.3	CONDICIONES DE BORDE	14
3.4.4	OLEAJE NO LINEAL.....	17
3.5	VALIDEZ DE LAS DISTINTAS TEORÍAS DEL OLEAJE	20
3.6	TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE EN LA PROPAGACIÓN	21
3.6.1	CONCEPTOS PREVIOS.....	21
3.6.2	REFRACCIÓN	23
3.6.3	ASOMERAMIENTO (SHOALING).....	27
3.6.4	DIFRACCIÓN.....	30
3.6.5	REFRACCIÓN – DIFRACCIÓN	37
3.7	ECUACIÓN DE LA PENDIENTE SUAVE (MSE).....	37
3.7.1	ECUACIÓN DIFERENCIAL ELÍPTICA	38
3.7.2	APROXIMACIÓN PARABÓLICA.....	39
3.7.3	ANÁLISIS DE LAS FORMULACIONES DE LA MSE.....	41
3.7.4	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA APROXIMACIÓN PARABÓLICA.....	43
3.8	MODELOS NUMÉRICOS	48
3.8.1	CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS	48
4	APLICACIÓN DE MIKE 21 SW, EMS Y PMS EN CASOS BENCKMARKS.....	54
4.1	CREACIÓN DE MALLAS BENCHMARKS	55
4.2	CONFIGURACIÓN DE MIKE 21 SW.....	57
4.3	CONFIGURACIÓN DE MIKE 21 EMS.....	61
4.4	CONFIGURACIÓN DE MIKE 21 PMS.....	63
4.5	COEFICIENTES DE DIFRACCIÓN DE WIEGEL Y JHONSON.....	65
4.6	RESULTADOS DE PROPAGACIONES EN CASOS BENCKMARKS	68
4.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA CASOS BENCHMARKS	74

5	APLICACIÓN DE MIKE 21 SW, EMS Y PMS EN LA BAHIA DE VALPARAISO	79
5.1	DETERMINACIÓN DE FRONTERAS DEL PROBLEMA	80
5.2	ANTECEDENTES GENERALES	83
5.2.1	DATOS PARA PROPAGACIONES DE OLEAJE DE AGUAS PROFUNDAS ..	83
5.2.2	DATOS DISPONIBLES PARA PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN	84
5.3	METODOLOGIA DE TRANSFERENCIA DE OLEAJE	87
5.3.1	DEFINICIÓN PARÁMETRO DE RESUMEN	87
5.3.2	TRANSFERENCIA POR MEDIO DE PARÁMETROS DE RESUMEN	88
5.4	CONFIGURACIÓN DE MIKE 21 SW	90
5.4.1	ACOPLE DE MODELOS	93
5.5	CONFIGURACIÓN DE MIKE21 EMS	94
5.6	CONFIGURACIÓN DE MIKE21 PMS	97
5.7	RESULTADOS APLICACIÓN EN BAHIA DE VALPARAISO	101
5.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN BAHIA DE VALPARAISO	111
6	CONCLUSIONES	118
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
8	ANEXOS	123
8.1	ANEXO I	124
8.1.1	ANÁLISIS DE CLIMA MEDIO PARA AGUAS PROFUNDAS	124
8.1.2	ROSAS DE OLEAJE EN LA BOYA	128
8.2	ANEXO II	129
8.2.1	COEFICIENTES DE AGITACIÓN COMBINACIÓN SUR/NORTE	129
8.2.2	RESULTADOS DE MODELOS SW EN VALPARAÍSO	131
8.2.3	RESULTADOS DE MODELOS EMS EN VALPARAÍSO	140
8.2.4	RESULTADOS DE MODELOS PMS EN VALPARAÍSO	163

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS CONFORME A LA PROFUNDIDAD RELATIVA.....	8
TABLA 2: RESUMEN FUERZAS GENERADORAS Y RESTAURADORAS DEL OLEAJE.....	9
TABLA 3: PARÁMETROS DE LA TEORÍA DE AIRY PARA AGUAS PROFUNDAS, DE TRANSICIÓN Y SOMERAS.	16
TABLA 4: CLASIFICACIÓN DE LAS EDP DE SEGUNDO ORDEN.....	42
TABLA 5: PARÁMETROS DE OLEAJE SELECCIONADO PARA SIMULACIÓN EN <i>MIKE21-EMS-PMS-SW</i>	56
TABLA 6: PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA LA SIMULACIÓN DEL CASO 1 Y 2 EN MIKE 21-SW.....	59
TABLA 7: COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE EVALUACIÓN - CASO 1 Y 2.	60
TABLA 8: PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA LA SIMULACIÓN DEL CASO 1 Y 2 EN MIKE 21-PMS.....	64
TABLA 9: TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS RECTANGULARES A POLARES CASO 1 Y 2.	65
TABLA 10: COEFICIENTES DE LOS ÁBACOS DE DIFRACCIÓN.	66
TABLA 11: RESULTADOS DE MIKE21-SW-EMS-PMS VS WIEGEL Y JHONSON.	74
TABLA 12: CÁLCULO DE ERROR RELATIVO DE MODELOS VS ÁBACOS DE DIFRACCIÓN.	75
TABLA 13: COORDENADAS BOYA S4ADW - UTM.	82
TABLA 14: DATOS ENTREGADOS POR EL SHOA PARA LA CONFECCIÓN DE GRILLA.	84
TABLA 15: DATA DE REGISTRO DE LA BOYA S4ADW.....	86
TABLA 16: SERIES DE TIEMPO APLICADO EN SIMULACIONES CON MIKE21 - SW, CASO VALPARAÍSO.	88
TABLA 17: PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE ALTURA DE OLA SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN DE GLUKHOVSKIY..	96
TABLA 18: COMPARACIÓN DE CORRELACIÓN DE ALTURAS ENTRE MODELOS VS BOYA- CASO VALPARAÍSO....	114
TABLA 19: TABLA DE INCIDENCIA PORCENTUAL ALTURA - DIRECCIÓN.....	124
TABLA 20: TABLA DE INCIDENCIA PORCENTUAL PERIODO - DIRECCIÓN.....	125
TABLA 21: TABLA DE INCIDENCIA PORCENTUAL ALTURA - PERIODO.....	125
TABLA 22: COEFICIENTES DE AGITACIÓN -COMBINACIÓN SUR/NORTE- OBTENIDOS DEL MODELO SW PARA INPUT DE MÓDULOS EMS Y PMS.....	129
TABLA 23: COEFICIENTES DIRECCIONAL -COMBINACIÓN SUR/NORTE- OBTENIDOS DEL MODELO SW PARA INPUT DE MÓDULOS EMS Y PMS.	129

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CLASIFICACIÓN DE LAS OLAS	4
FIGURA 2: ONDAS CAPILARES	6
FIGURA 3: OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS	6
FIGURA 4: OLEAJE TIPO SEA.	6
FIGURA 5: OLEAJE TIPO SWELL	7
FIGURA 6: OLEAJE LLEGANDO A LA COSTA (ZONA DE ROTURA).	7
FIGURA 7: ESPECTRO DE OLEAJE VALPARAÍSO, OLEAJE SEA & SWELL.	9
FIGURA 8: ONDA SINUSOIDAL.	10
FIGURA 9: TEORÍAS DE OLEAJE Y SUS PROFUNDIDADES DE APLICACIÓN.	11
FIGURA 10: CONDICIONES DE BORDE PARA DEFINIR LA TLO.	14
FIGURA 11: TRAYECTORIA DE PARTÍCULAS DE AGUA DE AIRY Y STOKES.	18
FIGURA 12: EJEMPLO DE APROXIMACIONES DE STOKES EN AGUAS PROFUNDAS.....	18
FIGURA 13: EJEMPLO DE APLICACIÓN DE TEORÍAS DE OLAS NO LINEALES VS LINEAL.	19
FIGURA 14: RANGO DE VALIDEZ DE LAS DIFERENTES TEORÍAS DE OLEAJE.	20
FIGURA 15: RAYOS QUE DEFINEN LA TRAYECTORIA SOBRE LA CRESTA DE LA OLA.....	22
FIGURA 16: EFECTO DE REFRACCIÓN.	23
FIGURA 17: ESQUEMA DE TEORÍA DEL RAYO SOBRE BATIMETRÍA IDEALIZADA.....	24
FIGURA 18: ESQUEMA DE LA LEY DE SNELL.	25
FIGURA 19: DEFINICIÓN DE EJES Y PARÁMETROS, INCIDENCIA OBLICUA.	25
FIGURA 20: DIVERGENCIA Y CONVERGENCIA DE LAS OLAS EN LA COSTA.	26
FIGURA 21: ESQUEMA DEL CAMBIO DE DENSIDAD DE ENERGÍA EN LA ORTOGONAL.	28
FIGURA 22: FENÓMENO DE SHOALING O ASOMERAMIENTO DEL OLEAJE.....	29
FIGURA 23: ESQUEMA DE ONDA DIFRACTADA.	30
FIGURA 24: ONDA QUE REPRESENTA LA DIFRACCIÓN AL ATRAVESAR LA RENDIJA.....	31
FIGURA 25: FENÓMENO DE DIFRACCIÓN.....	31
FIGURA 26: DIFRACCIÓN PARA UN DIQUE SEMI-INFINITO CON INCIDENCIA OBLICUA DEL OLEAJE.	34
FIGURA 27: DIAGRAMA DE JHONSON PARA CASO DE ROMPEOLAS SEPARADO POR $2L$	35
FIGURA 28: DIFRACCIÓN PARA ROMPEOLAS SEPARADO POR UN ANCHO MAYORES A $5L$ ($B/L > 5$).	36
FIGURA 29: INCIDENCIA OBLICUA DEL OLEAJE EN ROMPEOLAS SEPARADO.	36
FIGURA 30: PLAYA LARGA CON PRESENCIA DE ESPIGONES.....	40
FIGURA 31: PLAYA LARGA O ABIERTA.....	40
FIGURA 32: METODOLOGÍAS DE RESOLUCIÓN.....	47
FIGURA 33 : DIFERENCIAS DE LAS APROXIMACIONES DERIVADAS DE LA MILD SLOPE.	47
FIGURA 34: TIPOS DE MODELOS DE OLEAJE Y ECUACIONES QUE RESUELVE.	49

FIGURA 35: CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS QUE PROMEDIAN LA FASE.	50
FIGURA 36: CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS QUE RESUELVEN LA FASE.	50
FIGURA 37 MODELACIÓN UTILIZANDO MIKE 21 EMS.	51
FIGURA 38: EJEMPLO MODELO MIKE21-PMS... ..	52
FIGURA 39: EJEMPLO MODELO MIKE 21-SW.	52
FIGURA 40: BATIMETRÍA IDEALIZADA CON UN MOLO DE ABRIGO DE LONGITUD SEMI-INFINITA, CASO 1.....	55
FIGURA 41: BATIMETRÍA IDEALIZADA CON 2 MOLOS DE ABRIGO SEPARADOS EN 2 LONGITUDES DE ONDA.	56
FIGURA 42: CONDICIONES DE BORDE, TRIANGULACIÓN E INTERPOLACIÓN DE MALLA CASO 1.....	57
FIGURA 43: CONDICIONES DE BORDE, TRIANGULACIÓN E INTERPOLACIÓN DE MALLA CASO 2.....	58
FIGURA 44: PUNTOS DE SALIDA DEL MODELO SW PARA EL CASO 1 (IZQUIERDA) Y 2 (DERECHA).....	60
FIGURA 45: CAPA DE ESPONJA EN MODELO ELÍPTICO EMS PARA EL CASO 1.	62
FIGURA 46: CAPAS DE ESPONJA EN MODELO ELÍPTICO EMS PARA EL CASO2.	62
FIGURA 47: BATIMETRÍA MODELO PARABÓLICO PMS PARA EL CASO 1 CON BORDES POSITIVOS (VALOR 10). .	64
FIGURA 48: SISTEMA DE COORDENADAS POLARES.	65
FIGURA 49: DIAGRAMA WIEGEL ESCALADO EN BASE A LONGITUD DE ONDA Y COORDENADAS POLARES.....	66
FIGURA 50: DIAGRAMA JHONSON ESCALADO EN BASE A LONGITUD DE ONDA Y COORDENADAS POLARES.	66
FIGURA 51: RESULTADO MIKE 21 SW, EMS, PMS PARA EL CASO 1.	68
FIGURA 52: RESULTADO MIKE 21 SW, EMS, PMS PARA EL CASO 2.	69
FIGURA 53: ISOLÍNEAS DE LA SIMULACIÓN ELÍPTICA (IZQUIERDA) Y PARABÓLICA (DERECHA).....	70
FIGURA 54: PERFIL TRANSVERSAL DE LAS ALTURAS DE OLAJE ELÍPTICO VS PARABÓLICO.	70
FIGURA 55: PERFIL LONGITUDINAL DE LAS ALTURAS DE OLAJE ELÍPTICO VS PARABÓLICO.	71
FIGURA 56: PERFIL TRANSVERSAL PARA MODELO ESPECTRAL - CASO 2.	72
FIGURA 57: PERFIL LONGITUDINAL PARA MODELO ESPECTRAL - CASO 2.	72
FIGURA 58: ELEVACIÓN DE SUPERFICIE MIKE 21 EMS (IZQUIERDA) VS PMS (DERECHA) - CASO 2.	73
FIGURA 59: ELEVACIÓN DE SUPERFICIE MIKE 21 EMS (ABAJO) VS PMS (ARRIBA) - CASO 1.....	73
FIGURA 60: GRÁFICO DE BARRAS PARA EL CASO 1 VS WIEGEL.....	76
FIGURA 61: GRÁFICO DE BARRAS PARA EL CASO 2 VS JHONSON.	76
FIGURA 62: BAHÍA DE VALPARAÍSO, V REGIÓN CHILE.	80
FIGURA 63: PUNTA ÁNGELES - BAHÍA DE VALPARAÍSO.....	81
FIGURA 64: UBICACIÓN DE LA BOYA S4ADW- BAHÍA DE VALPARAÍSO.	82
FIGURA 65: NODO DE AGUAS PROFUNDAS DEL MODELO OLAS-CHILE II PARA VALPARAÍSO.	83
FIGURA 66: SUPERPOSICIÓN DE CARTAS NÁUTICAS Y GEBCO EN VALPARAÍSO, V REGIÓN DE CHILE.	84
FIGURA 67: SUPERPOSICIÓN DE FUENTES BATIMÉTRICAS PARA LA BAHÍA DE VALPARAÍSO.	85
FIGURA 68: SERIE DE TIEMPO DE ALTURAS DE OLA REGISTRADAS POR LA BOYA.....	86
FIGURA 69: MATRIZ CON MARCAS DE CLASE PARA PROPAGACIÓN DE SERIES DE TIEMPO.	89
FIGURA 70: METODOLOGÍA DE TRANSFERENCIA DE OLAJE DE AGUAS PROFUNDAS HACIA LA COSTA.	89

FIGURA 71: MALLA BATIMÉTRICA MIKE21-SW, BAHÍA DE VALPARAÍSO.....	90
FIGURA 72: OLEAJE INCIDENTE EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO.....	91
FIGURA 73: ZONA LÍMITE DE OLEAJE PENETRANTE EN LA BAHÍA, CASO SUR.	92
FIGURA 74: OUTPUT DEL MODELO MIKE21-SW, BAHÍA VALPARAÍSO.	92
FIGURA 75: ACOPLÉ DE MALLAS DE CÁLCULO EN MODELOS SW-EMS-PMS.	93
FIGURA 76: MALLAS BATIMÉTRICAS MIKE21-EMS, 4TO CUADRANTE. BAHÍA DE VALPARAÍSO.....	94
FIGURA 77: MALLAS BATIMÉTRICAS MIKE21-EMS, 3ER CUADRANTE. BAHÍA DE VALPARAÍSO.....	95
FIGURA 78: MALLA BATIMÉTRICA PARA DIRECCIÓN W. BAHÍA DE VALPARAÍSO.....	95
FIGURA 79: MALLA DE CÁLCULO ORIENTADA EN DIRECCIÓN OESTE PARA MÓDULO PMS.	97
FIGURA 80: SENSIBILIDAD DEL COEFICIENTE PMS CON INTERFAZ DISIPATIVO.	98
FIGURA 81: SENSIBILIDAD DEL COEFICIENTE PMS SIN INTERFAZ DISIPATIVO.	99
FIGURA 82: RESULTADO ESPECTRAL PARA CASOS DE DIRECCIONES SW-W-NW-N. T = 12[s].....	101
FIGURA 83: COMPARACIÓN DE INCIDENCIA NORTE EN MODULO SW.....	102
FIGURA 84: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA PROPAGACIÓN A PUNTO BOYA – COEF.DE AGITACIÓN. ...	103
FIGURA 85: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA PROPAGACIÓN A PUNTO BOYA –COEF.DE DIRECCIÓN.....	103
FIGURA 86: SERIE DE TIEMPO ALTURA Y PERIODO PROPAGADA SW VS BOYA - TRAMO 1.....	104
FIGURA 87: SERIE DE TIEMPO DE DIRECCIONES PROPAGADAS SW VS BOYA - TRAMO 1.....	104
FIGURA 88: SERIE DE TIEMPO ALTURA Y PERIODO PROPAGADA SW VS BOYA - TRAMO 2.....	105
FIGURA 89: SERIE DE TIEMPO DE DIRECCIONES PROPAGADAS SW VS BOYA - TRAMO 2.....	105
FIGURA 90: SERIE DE TIEMPO ALTURA Y PERIODO PROPAGADA SW VS BOYA - TRAMO 3.....	106
FIGURA 91: SERIE DE TIEMPO DE DIRECCIONES PROPAGADAS SW VS BOYA - TRAMO 3.....	106
FIGURA 92: RESULTADOS ELÍPTICOS PARA CASOS DE DIRECCIÓN SW-W-N-NW. T = 12 [s].	107
FIGURA 93: SERIE DE TIEMPO ALTURA PROPAGADA EMS VS BOYA - TRAMO 1.....	108
FIGURA 94: SERIE DE TIEMPO ALTURA PROPAGADA EMS VS BOYA - TRAMO 2.....	108
FIGURA 95: SERIE DE TIEMPO ALTURA PROPAGADA EMS VS BOYA - TRAMO 3.....	108
FIGURA 96: RESULTADOS PARABÓLICOS - CASOS DE DIRECCIONES SW-W-N-NW CON T = 12 [s].	109
FIGURA 97: SERIE DE TIEMPO ALTURA PROPAGADA PMS VS BOYA - TRAMO 1.....	110
FIGURA 98: SERIE DE TIEMPO ALTURA PROPAGADA PMS VS BOYA - TRAMO 2.....	110
FIGURA 99: SERIE DE TIEMPO ALTURA PROPAGADA PMS VS BOYA - TRAMO 3.....	110
FIGURA 100: DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO. MIKE 21SW. DIR SW Y T=12 [s]. ..	112
FIGURA 101: ELEVACIÓN DE SUPERFICIE EN MODELOS EMS (DERECHA) Y PMS (IZQ.). VALPARAÍSO.....	112
FIGURA 102: GRÁFICO DE DISPERSIÓN DE ALTURAS CASO VALPARAISO, MIKE21-SW VS BOYA.....	113
FIGURA 103: GRÁFICO DE DISPERSIÓN DE ALTURAS CASO VALPARAÍSO, MIKE21-EMS VS BOYA.....	113
FIGURA 104: GRÁFICO DE DISPERSIÓN DE ALTURAS CASO VALPARAISO, MIKE21-PMS VS BOYA.....	114
FIGURA 105: SERIES DE TIEMPO MIKE21 -SW-EMS-PMS VS BOYA PARA EL TRAMO 1.....	115
FIGURA 106: SERIES DE TIEMPO MIKE21-SW-EMS-PMS VS BOYA PARA EL TRAMO 2.....	116

FIGURA 107: SERIES DE TIEMPO MIKE21-SW-EMS-PMS vs BOYA PARA EL TRAMO 3.....	116
FIGURA 108: PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA ENTRE LOS MODELOS VERSUS LA BOYA S4ADW.....	117
FIGURA 109: ROSAS DE OLAJE PARA LOS 3 TRAMOS EN LA BOYA.....	128
FIGURA 110: COEFICIENTES DE AGITACIÓN COMO INPUT DE ENTRADA PARA MODELOS EMS Y PMS.....	130
FIGURA 111: COEFICIENTE DIRECCIONAL COMO INPUT DE ENTRADA PARA MODELOS EMS Y PMS.....	130
FIGURA 112: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	131
FIGURA 113: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	132
FIGURA 114: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	133
FIGURA 115: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	134
FIGURA 116: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	135
FIGURA 117: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	136
FIGURA 118: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	137
FIGURA 119: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	138
FIGURA 120: MODELOS DE MIKE21 SW - CASO N.....	139
FIGURA 121: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=22[s].....	140
FIGURA 122: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=20[s].....	140
FIGURA 123: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=18[s].....	140
FIGURA 124: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=16[s].....	141
FIGURA 125: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=14[s].....	141
FIGURA 126: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=12[s].....	141
FIGURA 127: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=10[s].....	142
FIGURA 128: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO N, T=8[s].....	142
FIGURA 129: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=22[s].....	142
FIGURA 130: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=20[s].....	143
FIGURA 131: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=18[s].....	143
FIGURA 132: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=16[s].....	143
FIGURA 133: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=14[s].....	144
FIGURA 134: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=12[s].....	144
FIGURA 135: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=10[s].....	144
FIGURA 136: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NNW, T=8[s].....	145
FIGURA 137: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=22[s].....	145
FIGURA 138: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=20[s].....	145
FIGURA 139: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=18[s].....	146
FIGURA 140: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=16[s].....	146
FIGURA 141: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=14[s].....	146
FIGURA 142: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=12[s].....	147

FIGURA 143: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=10[s].	147
FIGURA 144: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO NW, T=8[s].	147
FIGURA 145: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WNW, T=22[s].	148
FIGURA 146: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WNW, T=20[s].	148
FIGURA 147: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WNW, T=18[s].	148
FIGURA 148: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WNW, T=16[s].	149
FIGURA 149: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WNW, T=14[s].	149
FIGURA 150: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WNW, T=12[s].	149
FIGURA 151: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WNW, T=10[s].	150
FIGURA 152: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=22[s].	150
FIGURA 153: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=20[s].	150
FIGURA 154: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=18[s].	151
FIGURA 155: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=16[s].	151
FIGURA 156: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=14[s].	151
FIGURA 157: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=12[s].	152
FIGURA 158: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=10[s].	152
FIGURA 159: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO W, T=8[s].	152
FIGURA 160: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=22[s].	153
FIGURA 161: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=20[s].	153
FIGURA 162: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=18[s].	153
FIGURA 163: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=16[s].	154
FIGURA 164: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=14[s].	154
FIGURA 165: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=12[s].	154
FIGURA 166: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=10[s].	155
FIGURA 167: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO WSW, T=8[s].	155
FIGURA 168: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=22[s].	155
FIGURA 169: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=20[s].	156
FIGURA 170: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=18[s].	156
FIGURA 171: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=16[s].	156
FIGURA 172: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=14[s].	157
FIGURA 173: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=12[s].	157
FIGURA 174: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=10[s].	157
FIGURA 175: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SW, T=8[s].	158
FIGURA 176: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=22[s].	158
FIGURA 177: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=20[s].	158
FIGURA 178: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=18[s].	159

FIGURA 179: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=16[s].	159
FIGURA 180: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=14[s].	159
FIGURA 181: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=12[s].	160
FIGURA 182: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=10[s].	160
FIGURA 183: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO SSW, T=8[s].	160
FIGURA 184: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO S, T=22[s].	161
FIGURA 185: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO S, T=20[s].	161
FIGURA 186: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO S, T=18[s].	161
FIGURA 187: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO S, T=16[s].	162
FIGURA 188: MODELOS DE MIKE21 EMS - CASO S, T=14[s].	162
FIGURA 189: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=22[s].	163
FIGURA 190: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=20[s].	163
FIGURA 191: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=18[s].	163
FIGURA 192: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=16[s].	164
FIGURA 193: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=14[s].	164
FIGURA 194: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=12[s].	164
FIGURA 195: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=10[s].	165
FIGURA 196: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=8[s].	165
FIGURA 197: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO N, T=6[s].	165
FIGURA 198: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=22[s].	166
FIGURA 199: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=20[s].	166
FIGURA 200: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=18[s].	166
FIGURA 201: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=16[s].	167
FIGURA 202: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=14[s].	167
FIGURA 203: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=12[s].	167
FIGURA 204: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW T=10[s].	168
FIGURA 205: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=8[s].	168
FIGURA 206: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NNW, T=6[s].	168
FIGURA 207: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=22[s].	169
FIGURA 208: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=20[s].	169
FIGURA 209: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=18[s].	169
FIGURA 210: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=16[s].	170
FIGURA 211: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=14[s].	170
FIGURA 212: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=12[s].	170
FIGURA 213: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=10[s].	171
FIGURA 214: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=8[s].	171

FIGURA 215: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO NW T=6[s].	171
FIGURA 216: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WNW T=22[s].	172
FIGURA 217: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WNW T=20[s].	172
FIGURA 218: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WNW T=18[s].	172
FIGURA 219: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WNW T=16[s].	173
FIGURA 220: MODELOS DE MIKE21 PMS – CASO WNW T=14[s].	173
FIGURA 221: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WNW T=12[s].	173
FIGURA 222: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WNW T=10[s].	174
FIGURA 223: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WNW T=8[s].	174
FIGURA 224: MODELOS DE MIKE21 PMS – CASO WNW T=6[s].	174
FIGURA 225: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=22[s].	175
FIGURA 226: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=20[s].	175
FIGURA 227: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=18[s].	175
FIGURA 228: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=16[s].	176
FIGURA 229: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=14[s].	176
FIGURA 230: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=12[s].	176
FIGURA 231: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=10[s].	177
FIGURA 232: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=8[s].	177
FIGURA 233: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO W T=6[s].	177
FIGURA 234: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=22[s].	178
FIGURA 235: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=20[s].	178
FIGURA 236: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=18[s].	178
FIGURA 237: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=16[s].	179
FIGURA 238: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=14[s].	179
FIGURA 239: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=12[s].	179
FIGURA 240: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=10[s].	180
FIGURA 241: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=8[s].	180
FIGURA 242: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO WSW T=6[s].	180
FIGURA 243: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=22[s].	181
FIGURA 244: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=20[s].	181
FIGURA 245: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=18[s].	181
FIGURA 246: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=16[s].	182
FIGURA 247: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=14[s].	182
FIGURA 248: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=12[s].	182
FIGURA 249: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=10[s].	183
FIGURA 250: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=8[s].	183

FIGURA 251: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SW T=6[s].....	183
FIGURA 252: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=22[s].	184
FIGURA 253: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=20[s].	184
FIGURA 254: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=18[s].	184
FIGURA 255: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=16[s].	185
FIGURA 256: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=14[s].	185
FIGURA 257: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=12[s].	185
FIGURA 258: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=10[s].	186
FIGURA 259: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=8[s].	186
FIGURA 260: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO SSW T=6[s].	186
FIGURA 261: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=22[s].	187
FIGURA 262: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=20[s].	187
FIGURA 263: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=18[s].	187
FIGURA 264: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=16[s].	188
FIGURA 265: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=14[s].	188
FIGURA 266: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=12[s].	188
FIGURA 267: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=10[s].	189
FIGURA 268: MODELOS DE MIKE21 PMS - CASO S T=8[s].	189
FIGURA 269: MODELOS DE MIKE21 PMS – CASO S T=6[s].	189

RESUMEN

En la práctica actual, para replicar el fenómeno de difracción, asomeramiento y refracción del oleaje en su proceso de transición, son empleados generalmente modelos del tipo Boussinesq (hiperbólicos). Pese a esto, no se usa para aguas profundas debido a que las ecuaciones del modelo están limitadas por profundidad (ecuaciones débilmente no lineales) y además requiere de un alto recurso computacional. Ésta razón motiva a evaluar modelos cuyas soluciones provienen de la ecuación de la pendiente suave, que utilizan un menor recurso computacional y que no poseen límites de profundidad.

El presente trabajo se centra en la evaluación y análisis del estado del arte relativo a modelos matemáticos del software *Mike21*, en su versión espectral, elíptica y parabólica, cuyos últimos dos contienen ecuaciones que permiten ser empleados para el estudio de la difracción del oleaje. En primer lugar son aplicados a casos con batimetrías idealizadas (benchmarks) en condiciones de aguas profundas, y posteriormente a un caso práctico en la Bahía de Valparaíso - V Región de Chile, que presenta una batimetría irregular, y además se encuentra bajo la influencia de la Punta Ángeles quien domina la difracción del lugar.

Los parámetros del oleaje propagados en el caso práctico corresponden a datos del modelo Olas-Chile II, mientras que para los casos idealizados se utilizan alturas de olas unitarias.

Para analizar, comparar y validar los resultados de los casos benchmarks se utilizaron los coeficientes de difracción obtenidos de los diagramas de Wiegel y Jhonson. Mientras que para el caso de la bahía de Valparaíso se cuenta con el registro de la boya S4ADW, frente a muelle Barón, que contrarresta las simulaciones de los modelos versus la medición in situ.

Los resultados finales de los modelos evaluados presentan diferencias notables a la hora de calcular la difracción en Valparaíso cuando éste es el principal fenómeno de interés en un fondo variable. Sin embargo, para casos en donde la pendiente de la playa es escasa, como lo son los benchmarks (profundidad constante), la distribución de direcciones y alturas es mejor definida por las ecuaciones elípticas y parabólicas, mientras que el modelo espectral presenta una distribución energética menos precisa en contraste con las soluciones gráficas de Wiegel y Jhonson.