



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

ZONA DE PROTECCIÓN LITORAL: VALIDEZ FÍSICO-ESTADÍSTICA.

Carmina Noelia Muen Quintana

Octubre 2017

ZONA DE PROTECCIÓN LITORAL: VALIDEZ FÍSICO-ESTADÍSTICA

Carmina Noelia Muen Quintana

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
ALDO FEDELE ALIAGA Profesor guía	_____	_____
LORENA ÁLVAREZ SÁNCHEZ Revisor	_____	_____
FELIPE CASSELLI BENAVENTE Revisor	_____	_____

III 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.

IV TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	10
1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. ALCANCES Y LIMITACIONES	21
4. MARCO TEÓRICO	22
4.1 LAS OLAS	22
4.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS OLAS	23
4.1.2 TEORIAS DE LAS OLAS.....	25
4.1.3 TRANSFORMACIÓN DE OLEAJE	25
4.1.4 LA ROTURA.....	26
4.1.5 CRITERIOS DE ROTURA	27
4.1.6 INFLUENCIA DE LA ROTURA EN LA DISTRIBUCIÓN DE ALTURA DE OLA EN AGUAS PROFUNDAS.....	30
4.1.7 LAS CORRIENTES LITORALES	31
4.1.8 SWAN, UN MODELO MATEMÁTICO DE PROPAGACIÓN DE OLEAJE 32	
4.2 ESTADO DEL ARTE DE LA NORMA DE EMISIÓN EN SU APLICACIÓN MARINA	33
4.2.1 BREVE HISTORIA DE LA CONTAMINACIÓN DEL BORDE COSTERO CHILENO.....	33
4.2.2 GENESIS DE LA ZONA DE PROTECCIÓN LITORAL	35
4.2.3 DISCUSIONES DE LA DEFINICIÓN DE LA ZPL.....	38
4.2.4 PROMULGACIÓN DEL DECRETO SUPREMO 90	40
4.2.5 BASES TÉCNICAS SOBRE REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA DETERMINACIÓN DE ZPL Y DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS.....	43
4.2.6 HITOS DE LA NORMA DE EMISIÓN Y CÁLCULO DE H_b MEDIANTE FÓRMULA DE KOMAR Y GAUGHAN CON MODIFICACIONES DE RATTANAPITIKON Y SHIBAYAMA.....	47

4.2.7	COMENTARIOS, AJUSTES Y MODIFICACIONES A LA NORMA	49
4.2.8	ESTABLECIMIENTO DEL FACTOR "P" EN LA FÓRMULA DE LA ZPL 53	
5.	METODOLOGÍA	60
	DIAGRAMA DE FLUJO METODOLÓGICO	60
5.1.1	METODOLOGÍA DE TRANSFERENCIA DE OLEAJE	62
6.	MATERIALES	64
7.	RESULTADOS	66
7.1	CÁLCULO DE PARÁMETROS	66
7.2	CALCULO DE ZPL AGUAS PROFUNDAS (NORMATIVA VIGENTE)	68
7.3	ANALISIS EN AGUAS PROFUNDAS	70
7.3.1	CARACTERIZACIÓN DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS.....	70
7.3.2	ANALISIS DE PROBABILIDAD DE OLEAJE EN ROTURA EN AGUAS PROFUNDAS	78
7.3.3	ANALISIS DE FACTOR "P" EN AGUAS PROFUNDAS.....	83
7.3.4	ANALISIS OLEAJE EN ROTURA MEDIANTE DE SERIES DE TIEMPO Y FRECUENCIAS EN AGUAS PROFUNDAS MEDIANTE CRITERIOS TIPO II.	87
7.3.5	ANALISIS COMPARATIVO ZPL MEDIANTE DE CRITERIOS TIPO II	107
7.4	ANALISIS EN AGUAS SOMERAS	112
7.4.1	CARACTERIZACIÓN DE OLEAJE EN AGUAS SOMERAS	112
	ANALISIS DE FACTOR "P" EN AGUAS SOMERAS.	135
7.4.2	ANALISIS OLEAJE EN ROTURA MEDIANTE SERIES DE TIEMPO Y FRECUENCIAS EN AGUAS PROFUNDAS MEDIANTE CRITERIOS TIPO I. ...	146
7.4.3	ANALISIS COMPARATIVO ZPL MEDIANTE DE CRITERIOS TIPO I .	166
8.	DISCUSION.....	171
9.	CONCLUSIONES	173
10.	LINEAS DE INVESTIGACION FUTURA	175
11.	GLOSARIO	176
11.1	LISTADO DE ABREVIATURAS Y ACRONIMOS	176
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181
13.	ANEXO	184
13.1	Norma de emisión.....	184
13.2	Caracterización de oleaje en aguas profundas	193
13.3	Caracterización de oleaje en aguas someras	198

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Cálculo de anchos de ZPL dado diferentes pendientes y alturas rompientes.	37
Tabla 2: Tabla número 4 del D.S 90/2000 de límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral.....	41
Tabla 3: Tabla número 5 del D.S 90/2000 de límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos fuera de la zona de protección litoral.....	42
Tabla 4 Cuadro de cálculos de ancho de ZPL dada diferentes pendientes y alturas de olas rompientes en condición de invierno y verano.....	44
Tabla 5 Cuadro de cálculos de alturas rompientes ‘Hb’	48
Tabla 6 Cuadro de cálculo de pendiente ‘m’	48
Tabla 7 Factor P, para diferentes sectores a lo largo del litoral nacional.....	55
Tabla 8 Coordenadas UTM de mallas gruesas	62
Tabla 9 Coordenadas UTM de mallas finas	62
Tabla 10 Parámetros para propagación Semi-purista	63
Tabla 11 Detalle de cartas náuticas electrónicas	65
Tabla 12 Coordenadas UTM de ubicación de bahía en estudio	66
Tabla 13 Pendiente y pendiente promedio de bahías	67
Tabla 14 Factor P asociado a latitud.....	67
Tabla 15 Cálculo de ZPL [m].....	68
Tabla 16 Ubicación de nodos en aguas profundas	70
Tabla 17 Estadígrafos para bahía Caldera.....	74
Tabla 18 Estadígrafos para bahía Coquimbo.....	76
Tabla 19 Estadígrafos para bahía Concepción y Coronel	78
Tabla 20 Resultados de tablas de datos puros del ECWMF y tablas de post proceso de aplicación de criterios de Stokes, Dean y Ochi & Tsai - nodo de aguas profundas – Caldera.....	80
Tabla 21 Resultados de tablas de datos puros del ECWMF y tablas de post proceso de aplicación de criterios de Stokes, Dean y Ochi & Tsai - nodo de aguas profundas - Coquimbo.	81
Tabla 22 Resultados de tablas de datos puros del ECWMF y tablas de post proceso de aplicación de criterios de Stokes, Dean y Ochi & Tsai nodo de aguas profundas - San Vicente.....	82
Tabla 23 Parámetros de ajuste, distribución Gamma.....	86
Tabla 24 Excedencias.....	86
Tabla 25 Criterios de rotura tipo II.....	87
Tabla 26 Tabla de resumen	95
Tabla 27 Nomenclatura para gráficos	96
Tabla 28 Excedencia de eventos - Caldera.....	104
Tabla 29 Excedencia de eventos - Concepción	104
Tabla 30 Excedencia de eventos - Coquimbo.....	105
Tabla 31 Excedencia de eventos - Coronel.....	105
Tabla 32 Coordenadas UTM de puntos de extracción de información de oleaje.....	114

Tabla 33 tabla de resumen factor P – Aguas Someras	145
Tabla 34 Criterios tipo I.....	147
Tabla 35 Tabla de resumen	156
Tabla 36 Nomenclatura de gráficos	157
Tabla 37 Excedencia de eventos – Caldera.....	164
Tabla 38 Excedencia de eventos – Coquimbo	164
Tabla 39 Excedencia de eventos – Concepción.....	165
Tabla 40 Excedencia de eventos – Coronel.....	165
Tabla 41 Valores característico de establecimiento emisor.....	184
Tabla 42: Tabla número 1 del D.S. N°90/2000, de límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales.....	185
Tabla 43: Tabla número 2 del D.S90/2000 de límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor.....	186
Tabla 44: Tabla número 3 del D.S. N°90/2000 de límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres.	187
Tabla 45 Fuente Emisora "Valor Característico"	188
Tabla 46 Fuente Emisora "Carga Contaminante".....	189
Tabla 47 Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos, dentro del ancho de la zona de protección litoral.	191
Tabla 48 Límites máximos de concentración para descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos, fuera del ancho de la zona de protección litoral.	192
Tabla 49 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo - Mwd’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Profundas.	193
Tabla 50 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo -Tp’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Profundas.	193
Tabla 51 Tabla de incidencia bivariada ‘Tp - Mwd’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Profundas.	193
Tabla 52 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo-Mwd’ - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Profundas.	194
Tabla 53 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo-Tp’ - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Profundas.	194
Tabla 54 Tabla de incidencia bivariada ‘Tp-Mwd’ - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Profundas.	194
Tabla 55 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo - Mwd’ - Bahía San Vicente - Condición Aguas Profundas.	195
Tabla 56 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo -Tp’ - Bahía San Vicente - Condición Aguas Profundas.	195
Tabla 57 Tabla de incidencia bivariada ‘Tp - Mwd’ - Bahía San Vicente - Condición Aguas Profundas.	195
Tabla 58 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo - Mwd’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Someras-veril 10 [m]......	198
Tabla 59 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo - Mwd’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Someras-veril 15 [m]......	198
Tabla 60 Tabla de incidencia bivariada ‘Hmo - Mwd’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Someras-veril 20 [m]......	198

Tabla 61 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Someras-veril 10 [m].	199
Tabla 62 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Someras-veril 15 [m].	199
Tabla 63 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Someras-veril 20 [m].	199
Tabla 64 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Concepción - Condición Aguas Someras-veril 10 [m].	200
Tabla 65 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Concepción - Condición Aguas Someras-veril 15 [m].	200
Tabla 66 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Concepción - Condición Aguas Someras-veril 20 [m].	200
Tabla 67 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Coronel - Condición Aguas Someras-veril 10 [m].	201
Tabla 68 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Coronel - Condición Aguas Someras-veril 15 [m].	201
Tabla 69 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo - Mwd' - Bahía Coronel - Condición Aguas Someras-veril 20 [m].	201
Tabla 70 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Caldera - Condición Someras – Veril 10 [m].	202
Tabla 71 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Caldera - Condición Someras – Veril 15 [m].	202
Tabla 72 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Caldera - Condición Someras – Veril 20 [m].	202
Tabla 73 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Coquimbo - Condición Someras – Veril 10 [m].	203
Tabla 74 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Coquimbo - Condición Someras – Veril 15 [m].	203
Tabla 75 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Coquimbo - Condición Someras – Veril 20 [m].	203
Tabla 76 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Concepción - Condición Someras – Veril 10 [m].	204
Tabla 77 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Concepción - Condición Someras – Veril 15 [m].	204
Tabla 78 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Concepción - Condición Someras – Veril 20 [m].	204
Tabla 79 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Coronel - Condición Someras – Veril 10 [m].	205
Tabla 80 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Coronel - Condición Someras – Veril 15 [m].	205
Tabla 81 Tabla de incidencia bivariada 'Hmo -Tp' - Bahía Coronel - Condición Someras – Veril 20 [m].	205
Tabla 82 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Caldera - Condición Someras – Veril 10 [m].	206
Tabla 83 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Caldera - Condición Someras – Veril 15 [m].	206

Tabla 84 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Caldera - Condición Someras – Veril 20 [m].	206
Tabla 85 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Coquimbo - Condición Someras – Veril 10 [m].	206
Tabla 86 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Coquimbo - Condición Someras – Veril 15 [m].	207
Tabla 87 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Coquimbo - Condición Someras – Veril 20 [m].	207
Tabla 88 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Concepción - Condición Someras – Veril 10 [m].	207
Tabla 89 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Concepción - Condición Someras – Veril 15 [m].	207
Tabla 90 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Concepción - Condición Someras – Veril 20 [m].	208
Tabla 91 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Coronel - Condición Someras – Veril 10 [m].	208
Tabla 92 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Coronel - Condición Someras – Veril 15 [m].	208
Tabla 93 Tabla de incidencia bivariada 'Tp - Mwd' - Bahía Coronel - Condición Someras – Veril 20 [m].	209

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Transformación de las olas oceánicas al aproximarse a la costa	22
Figura 2 Estructura básica de una ola.....	23
Figura 3 Peralte de una ola.....	24
Figura 4 Serie de tiempo de alturas de olas (m).....	24
Figura 5 Relación entre coeficiente K_{kg} y la pendiente de fondo.	30
Figura 6 Deriva litoral y las corrientes litorales	32
Figura 7 Experimento de Komar en 1973, para calcular el ancho de la zona de corrientes litorales.....	36
Figura 8 Resoluciones ZPL a Mayo del 2016.....	49
Figura 9 Zona de Protección Litoral desde Punta Puga al sur de Chile.....	59
Figura 10 Diagrama de flujo metodológico.....	61
Figura 11 Ubicación de veriles en Bahía Caldera	66
Figura 12 Ubicación de veriles en Bahía Coquimbo.....	66
Figura 13 Ubicación de veriles en Bahía Concepción	66
Figura 14 Ubicación de veriles en Bahía Coronel	66
Figura 15 Mapa de evolución latitudinal de ancho de ZPL. Las barras de color negro corresponden a proposiciones aprobadas por DIRECTEMAR y en líneas de color estimación de ZPL en función de la normativa vigente	69
Figura 16 Nodo aguas profundas - Caldera	70
Figura 17 Nodo aguas profundas - Coquimbo	71
Figura 18 Nodo aguas profundas - Concepción y Coronel.....	71
Figura 19 Serie de tiempo de altura significativa espectral en nodo de aguas profundas de Caldera. Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 20 Serie de tiempo de periodo <i>peak</i> espectral en nodo de aguas profundas de Caldera.....	72
Figura 21 Serie de tiempo de dirección media espectral en nodo de aguas profundas de Caldera.....	73
Figura 22 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral en nodo de aguas profundas de Caldera.....	73
Figura 23 Serie de tiempo de altura significativa espectral en nodo de aguas profundas de Coquimbo	74
Figura 24 Serie de tiempo de periodo <i>peak</i> espectral en nodo de aguas profundas de Coquimbo	74
Figura 25 Serie de tiempo de dirección media espectral en nodo de aguas profundas de Coquimbo	75
Figura 26 Rosa de oleaje de altura significativa espectral y dirección media espectral en nodo de aguas profundas de Coquimbo.	75
Figura 27 Serie de tiempo de altura significativa espectral en nodo de aguas profundas de San Vicente	76
Figura 28 Serie de tiempo de periodo espectral en nodo de aguas profundas de San Vicente	76
Figura 29 Serie de tiempo de dirección media espectral en nodo de aguas profundas de San Vicente	77

Figura 30 Rosa de oleaje de altura significativa espectral y dirección media espectral en nodo de aguas profundas de San Vicente.	77
Figura 31 Diagrama de flujo de algoritmo utilizado en selección de estados de mar según criterios de rotura Stokes, Dean, Ochi & Tsai	79
Figura 32 Serie de tiempo de factor P en nodo de aguas profundas en bahía Caldera	83
Figura 33 Frecuencia relativa y acumulada del factor P en nodo de aguas profundas en bahía Caldera Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 34 Serie de tiempo de factor P en nodo de aguas profundas en bahía Coquimbo	84
Figura 35 Frecuencia relativa y acumulada del factor P en nodo de aguas profundas en bahía Coquimbo Fuente: Elaboración propia	84
Figura 36 Serie de tiempo de factor P en nodo de aguas profundas en bahía San Vicente	85
Figura 37 Frecuencia relativa y acumulada del factor P en nodo de aguas profundas en bahía San Vicente	85
Figura 38 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Le Méhauté & Koh (1967).....	89
Figura 39 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Komar & Gaughan (1972).....	90
Figura 40 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Sunamura & Horikawa (1974)..	91
Figura 41 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Rattanapikon & Shibayama (2000).	92
Figura 42 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Simgamsetii & Wind (1960).	93
Figura 43 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Gourlay (1992).	94
Figura 44 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Le Méhauté & Koh (1967).....	97
Figura 45 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Komar & Gaughan (1972).....	98
Figura 46 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Sunamura & Horikawa (1974)	99
Figura 47 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Simgamsetti & Wind (1980). .	100
Figura 48 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Gourlay (1992).....	101
Figura 49 Comparación de frecuencias Hmo y Hb de Rattanapikon & Shibayama (2000).	102
Figura 50 Diagrama de flujo de algoritmo de sobrepaso	103
Figura 51 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Caldera.....	108
Figura 52 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Coquimbo ..	109
Figura 53 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Concepción	110
Figura 54 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Coronel.....	111
Figura 55 Detalle de puntos de extracción en bahía Caldera.	112
Figura 56 Detalle de puntos de extracción en bahía Coquimbo.	113
Figura 57 Detalle de puntos de extracción en bahía Concepción.....	113
Figura 58 Detalle de puntos de extracción en bahía Coronel.	114
Figura 59 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 10 [m].....	115
Figura 60 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 15 [m].....	115
Figura 61 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 20 [m].....	116

Figura 62 Serie de tiempo de periodo peak espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo	116
Figura 63 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 10 [m]	117
Figura 64 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 15 [m]	118
Figura 65 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 20 [m]	119
Figura 66 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 10 [m]	120
Figura 67 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 15 [m]	120
Figura 68 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 20 [m]	120
Figura 69 Serie de tiempo de periodo peak espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo	121
Figura 70 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 10 [m]	122
Figura 71 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 15 [m]	123
Figura 72 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 20 [m]	124
Figura 73 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 10 [m].....	125
Figura 74 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 15 [m].....	125
Figura 75 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 20 [m].....	125
Figura 76 Serie de tiempo de periodo peak espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción	126
Figura 77 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 10 [m].....	127
Figura 78 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 15 [m].....	128
Figura 79 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 20 [m].....	129
Figura 80 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 10 [m].....	130
Figura 81 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 15 [m].....	130
Figura 82 Serie de tiempo de altura significativa espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 20 [m].....	130
Figura 83 Serie de tiempo de periodo peak espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel.....	131
Figura 84 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 10 [m]	132

Figura 85 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 15 [m]	133
Figura 86 Rosa de oleaje de dirección media espectral y altura de ola espectral - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 20 [m]	134
Figura 87 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera - Veril 10 [m]	135
Figura 88 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 10 [m].....	136
Figura 89 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera - Veril 15 [m]	136
Figura 90 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 15 [m].....	136
Figura 91 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera - Veril 20 [m]	137
Figura 92 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Caldera -Veril 20 [m].....	137
Figura 93 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo - Veril 10 [m]	138
Figura 94 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 10 [m].....	138
Figura 95 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo - Veril 15 [m]	138
Figura 96 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 15 [m].....	139
Figura 97 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo - Veril 20 [m]	139
Figura 98 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coquimbo -Veril 20 [m].....	140
Figura 99 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 10 [m]	140
Figura 100 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 10 [m]	140
Figura 101 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 15 [m].....	141
Figura 102 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 15 [m]	141
Figura 103 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 20 [m].....	142
Figura 104 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Concepción -Veril 20 [m]	142
Figura 105 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel - Veril 10 [m]	143
Figura 106 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 10 [m].....	143
Figura 107 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel - Veril 15 [m]	144

Figura 108 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 15 [m].....	144
Figura 109 Serie de tiempo de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel - Veril 20 [m]	144
Figura 110 Frecuencia relativa y acumulada de factor P - Condición Aguas Someras – Bahía Coronel -Veril 20 [m].....	145
Figura 111 Serie de tiempo de Hmo - Hb de Battjes & Janssen (1978).....	149
Figura 112 Serie de tiempo de Hmo - Hb de Collins & Weir (1969).....	150
Figura 113 Serie de tiempo de Hmo - Hb de Galvin (1969).....	151
Figura 114 Serie de tiempo de Hmo - Hb de Goda (1970).	152
Figura 115 Serie de tiempo de Hmo - Hb de Madsen (1976).	153
Figura 116 Serie de tiempo de Hmo - Hb de Ostendorf & Madsen (1979).	154
Figura 117 Serie de tiempo de Hmo - Hb de Rattanapitikon & Shibayama (2000). ...	155
Figura 118 Comparación de frecuencias de Hmo - Hb de Battjes & Janssen (1978)	158
Figura 119 Comparación de frecuencias de Hmo - Hb de Collins & Weir (1969).	159
Figura 120 Comparación de frecuencias de Hmo - Hb de Galvin (1969).....	160
Figura 121 Comparación de frecuencias de Hmo - Hb de Goda (1970).....	161
Figura 122 Comparación de frecuencias de Hmo - Hb de Madsen (1976).	162
Figura 123 Comparación de frecuencias de Hmo - Hb de Rattanapikon & Shibayamma (2000). Fuente: Elaboración Propia	163
Figura 124 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Caldera....	167
Figura 125 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Coquimbo	168
Figura 126 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Concepción	169
Figura 127 Comparación de anchos de ZPL, con criterios tipo II – Bahía Coronel....	170
Figura 128 Frecuencia relativa y acumulada ‘Hmo’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Profundas.	196
Figura 129 Frecuencia relativa y acumulada ‘Hmo’ - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Profundas	196
Figura 130 Frecuencia relativa y acumulada ‘Hmo’ - Bahía San Vicente - Condición Aguas Profundas.	196
Figura 131 Frecuencia relativa y acumulada ‘Tp’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Profundas.	197
Figura 132 Frecuencia relativa y acumulada ‘Tp’ - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Profundas	197
Figura 133 Frecuencia relativa y acumulada ‘Tp’ - Bahía San Vicente - Condición Aguas Profundas.	197
Figura 134 Frecuencia relativa y acumulada ‘Hmo’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Someras – Veril 10 [m]	209
Figura 135 Frecuencia relativa y acumulada ‘Hmo’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Someras – Veril 15 [m].	209
Figura 136 Frecuencia relativa y acumulada ‘Hmo’ - Bahía Caldera - Condición Aguas Someras – Veril 20 [m].	210
Figura 137 Frecuencia relativa y acumulada ‘Hmo’ - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Someras – Veril 10 [m].	210

Figura 138 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Someras – Veril 15 [m].	210
Figura 139 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Coquimbo - Condición Aguas Someras – Veril 20 [m].	211
Figura 140 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Concepción - Condición Aguas Someras – Veril 10 [m].	211
Figura 141 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Concepción - Condición Aguas Someras – Veril 15 [m].	211
Figura 142 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Concepción - Condición Aguas Someras – Veril 20 [m].	212
Figura 143 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Coronel - Condición Aguas Someras – Veril 10 [m].	212
Figura 144 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Coronel - Condición Aguas Someras – Veril 15 [m].	212
Figura 145 Frecuencia relativa y acumulada 'Hmo' - Bahía Coronel - Condición Aguas Someras – Veril 20 [m].	213

RESUMEN

La presente memoria trata sobre los procedimientos sugeridos por la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (DGTM Y MM) para fijar anchos de zonas de protección litoral (ZPL) en las costas de Chile.

La ZPL es un ámbito territorial que corresponde a la franja de playa, agua y fondo de mar adyacente a la costa continental o insular, delimitada por una línea superficial imaginaria, medida desde la línea de baja marea de sicigia, que se orienta paralela a esta y que se proyecta hasta el fondo del cuerpo de agua, fijada por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (Artículo primero de norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, DS N° 90/2000, numeral 3.13).

El Estado de Chile ha establecido dicha franja litoral con el fin de proteger y asegurar de manera especial la calidad de las aguas utilizadas para el desarrollo de diversas actividades (Párrafo 4.1, del DS N° 90/2000), como por ejemplo vertimientos de aguas servidas o con contenidos de aceites o grasas, aguas con residuos de Plomo, Cianuro, Arsénico, Tolueno, entre otros.

Para fijar el ancho o franja de ZPL, se utiliza la siguiente fórmula

$$A = \left[\frac{[1.28 \times H_b]}{m} \right] \times 1.6$$

Donde

m : Pendiente de fondo.

A : Ancho de zona de protección litoral.

Hb : Altura media rompiente, basada en criterio de Rattanapitikon & Shibayama (2000)

Según a antecedentes históricos, la arquitectura matemática de dicha fórmula ha traído un sinnúmero de confusiones conceptuales y que a fin de ser presentados se elaboró un compendio desde la gestación de la fórmula hasta sus últimas modificaciones publicadas.

El compendio tiene el objetivo de investigar todos los criterios utilizados para la gestación de la fórmula y discutir la aplicabilidad que posee como instrumento de protección costera sobre un receptor marino expuesto al oleaje.

Para analizar los resultados que arroja el aplicar dicha fórmula en un receptor marino se simuló el cálculo de ZPL para cuatro bahías de Chile seleccionadas en función de su medio ambiente industrial.

Con la finalidad de identificar las variables o parámetros de mayor influencia en el cálculo de ZPL, se realizó análisis de sensibilidad mediante dos métodos. El primero relacionado con la sensibilidad de altura de ola rompiente, profundidad y pendiente de playa, mediante la comparación del criterio de ola rompiente propuesto por DIRECTEMAR y otros criterios de oleaje rompiente pertenecientes a dos clasificaciones de oleaje: aguas profundas y aguas someras.

Posteriormente, se realizaron los cálculos relacionados con la altura de ola rompiente (H_b) y factor "P" asociado y finalmente se realiza una comparación de los anchos de ZPL para las cuatro bahías calculados con el método convencional y método propuesto.

Para medir la certeza de los resultados, se utilizaron métodos estadísticos de series de tiempo, probabilidades de ocurrencia, excedencia, ajuste de distribución, entre otros.

Finalmente, mediante los análisis se determinó la dimensión que poseen todos los anchos de ZPL aprobados por DIRECTEMAR en Chile.