



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**DISEÑO DE DEFENSA COSTERA Y MEJORAMIENTO  
BORDE COSTERO, DESDE CALETA SAN PEDRO HASTA  
PLAYA LA BOCA, CONCÓN, CHILE**

**JOSÉ ANDRÉS ZAMORA ESCOBAR**

Abril 2016

**DISEÑO DE DEFENSA COSTERA Y MEJORAMIENTO BORDE COSTERO, DESDE CALETA SAN PEDRO HASTA PLAYA LA BOCA, CONCÓN, CHILE**

José Andrés Zamora Escobar

**COMISIÓN REVISORA**

**NOTA**

**FIRMA**

Cristian Flores Pérez  
Profesor guía

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Mauricio Molina Pereira  
Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Matías Alday González  
Docente

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **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.*

Cristian Flores Pérez  
Profesor Guía

José Zamora Escobar  
Alumno Memorista

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que me acompañaron en este arduo proceso. En especial a mis padres, que me dieron la oportunidad de estudiar, dándome las fuerzas para llegar a mis objetivos. Gracias por los retos, consejos y motivación.

A mi hermana Reina, que me apoyo principalmente en la difícil etapa de mi recuperación. Gracias por tu dedicación.

A mi novia Lía, que sin duda alguna fue la persona que me potenció a terminar este proceso, dándome las energías cada vez que la necesitaba. Te agradezco por tu apoyo incondicional y por creer siempre en mí.

También mencionar a mi nona, abuela, padrino, Familia PolancoMorales y Familia Zamora Escobar, que siempre tuvieron una palabra de aliento. Gracias por sus consejos, preocupación y por sus buenos deseos.

Agradecer a mi profesor guía, Cristian Flores, por su aporte en el desarrollo de este proyecto título, transmitiéndome sus diversos conocimientos y por la disposición de resolver mis consultas, cada vez que la requería.

La disposición de revisión de los profesores Matías Alday, Mauricio Molina.

En general, a mis amigos y compañeros de Universidad.

# **CONTENIDOS**

1	Introducción .....	1
2	Objetivos .....	3
2.1	Objetivo General .....	3
2.2	Objetivos Específicos .....	3
3	Fundamentación del Problema.....	4
4	Alcances .....	9
5	Marco Teórico .....	10
5.1	Oleaje .....	11
5.1.1	Definición y Clasificación de Oleaje .....	11
5.1.2	Oleaje Regular .....	12
5.1.3	Oleaje Irregular .....	16
5.1.4	Propagación y Rotura de Oleaje .....	21
5.1.5	Modelo Numérico SWAN .....	27
5.1.6	Metodologías de Transferencia Espectral .....	28
5.2	Marea.....	30
5.2.1	Marea Astronómica .....	30
5.2.2	Marea Meteorológica .....	32
5.3	Determinación de Altura de ola al pie de la obra .....	34
5.4	Planificación y Normas Urbanas .....	36
5.4.1	Vereda .....	36
5.4.2	Barandas .....	37
5.4.3	Ciclovía .....	38
5.5	Diseño de Obras Costeras .....	40
5.5.1	Tipologías de Defensa Costera.....	40
5.5.2	Bases de Diseño .....	44
5.5.3	Interacción olas-Estructura.....	46
5.5.4	Diseño Hidráulico .....	49
5.5.5	Diseño Estructural.....	54
6	Metodología de Estudio.....	66
6.1	Generalidades.....	66
6.1.1	Bases de Diseño .....	66
6.2	Caracterización de Oleaje .....	67
6.2.1	Clima de Oleaje medio u Operacional en aguas profundas.....	68

6.2.2	Clima extremo en aguas profundas.....	68
6.2.3	Transferencia Espectral de Oleaje .....	68
6.3	Marea.....	72
6.3.1	Marea Astronómica .....	72
6.3.2	Marea Meteorológica .....	72
6.3.3	Niveles de Diseño .....	74
6.4	Determinación de altura de ola al pie de la Obra.....	75
6.5	Sedimento.....	76
6.6	Topografía.....	77
7	Resultados .....	79
7.1	Generalidades.....	79
7.1.1	Bases de Diseño .....	79
7.2	Caracterización de Oleaje .....	80
7.2.1	Clima de oleaje medio en aguas profundas.....	80
7.2.2	Clima de Oleaje Extremo en Aguas Profundas .....	86
7.2.3	Transferencia Espectral de Oleaje .....	90
7.3	Marea.....	99
7.3.1	Marea Astronomica .....	99
7.3.2	Marea Meteorológica .....	99
7.4	Determinación de altura de ola al pie de la obra .....	103
7.5	Sedimento.....	108
7.6	Topografía.....	110
8	Propuesta de Ingeniería Básica .....	111
8.1	Condiciones de Diseño de Oleaje y Marea.....	111
8.2	Diseño en Planta.....	112
8.3	Análisis de Alternativas .....	113
8.3.1	Generalidades.....	113
8.3.2	Variables de Selección.....	113
8.3.3	Evaluación de Alternativas .....	114
8.4	Sobrepaso Admisible .....	117
8.5	Defensa Costera – Escollera Multicapa con Muro Parapeto.....	120
8.5.1	Diseño Hidráulico .....	120
8.5.2	Diseño Estructural.....	125
8.6	Defensa Costera – Muro Gravitacional.....	140
8.6.1	Diseño Hidráulico .....	140

8.7	Presupuesto y Elección de Estructura .....	142
9	Discusión .....	144
10	Conclusiones .....	146
11	Recomendaciones .....	148
12	Referencias .....	149
13	Anexo A.....	152
14	Anexo B.....	153
15	Anexo C.....	163
16	Anexo D.....	188
17	Anexo E.....	190
18	Anexo F .....	205
19	Anexo G .....	209
20	Anexo H.....	215
21	Anexo I .....	217
22	Anexo J .....	229
23	Anexo K.....	246

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Ubicación de Concón .....	1
Figura 2: Ubicación de zona de interés .....	2
Figura 3: Desprendimiento de material de muro mampostería .....	5
Figura 4: Socavación en acceso peatonal .....	5
Figura 5: Ancho máximo de acceso peatonal.....	6
Figura 6: Ancho mínimo de acceso peatonal.....	6
Figura 7: Erosión en talud del terreno .....	7
Figura 8: Desplazamiento de peatones .....	8
Figura 9: Desplazamiento de ciclistas y peatones .....	8
Figura 10: Distribución energética de las ondas oceánicas .....	10
Figura 11: Parámetros asociados a la onda. ....	11
Figura 12: Comparación de Ondas según la teoría .....	13
Figura 13: Rangos de idoneidad para distintas teorías .....	16
Figura 14: Desnivelación de un estado de mar.....	17
Figura 15: Eventos Extremos en una serie de tiempo .....	19
Figura 16: Espectro de Frecuencia.....	20
Figura 17: Espectro Direccional de energía.....	20
Figura 18: Esquema de ola refractada.....	22
Figura 19: Esquema de Difracción de Oleaje .....	23
Figura 20: Tipos de rotura según el número de Iribarren.....	26
Figura 21: Esquema de las diferentes posiciones de la Luna y el Sol respecto a la Tierra ...	30
Figura 22: Esquema de las posiciones de la tierra respecto al Sol y la Luna.....	31
Figura 23: Esquema de Defensa Costera.....	40
Figura 24: Estructura de Tablestaca.....	41
Figura 25: Estructura de Gaviones .....	42
Figura 26: Muro Gravitacional .....	42
Figura 27: Muro cajones de hormigón .....	43
Figura 28: Muro de contención Geotextil .....	43
Figura 29: Esquema de Run-up y Run-down.....	47
Figura 30: Sobrepasso en una estructura .....	47
Figura 31: Transmisión de oleaje sobre la estructura .....	49
Figura 32: Sobrepasso Muro Vertical 1 .....	51
Figura 33: Sobrepasso Muro Vertical 2 .....	52
Figura 34: Sobrepasso Muro Vertical 3 .....	52
Figura 35: Sobrepasso muro vertical con verteolas.....	53
Figura 36: Coeficiente de permeabilidad - van der Meer 1988 .....	56
Figura 37: Recomendaciones para el peso de elementos de filtro y núcleo .....	57



Figura 38: Distribución de presiones propuesta por el método Martín 1995 .....	59
Figura 39: Cálculo de Au y Bu .....	60
Figura 40: Valores ajustados de $\lambda$ .....	61
Figura 41: Valores ajustados de $\mu_1$ .....	61
Figura 42: Representación de ángulos $\beta_1$ , $i$ .....	64
Figura 43: Distribución de fuerzas sobre un muro contención – Caso Estático.....	64
Figura 44: Distribución de fuerzas sobre un muro contención – Caso Sísmico.....	65
Figura 45: Ubicación del nodo NOAA de Valparaíso .....	67
Figura 46: Esquemas grillas de batimetría .....	70
Figura 47: Ubicación de 6 nodos en la bahía de Concón .....	71
Figura 48: Esquema sobrelevación del nivel del mar por efectos de viento .....	73
Figura 49: Área de estudio sedimentológico.....	76
Figura 50: Esquema de nivelación de muro.....	77
Figura 51: Esquema de Metodología.....	78
Figura 52: Transferencia de oleaje operacional - 3 <sup>er</sup> cuadrante .....	91
Figura 53: Transferencia de oleaje extremo - 3 <sup>er</sup> cuadrante.....	93
Figura 54: Transferencia de oleaje operacional - 4 <sup>to</sup> cuadrante .....	95
Figura 55: Transferencia de oleaje extremo - 4 <sup>to</sup> cuadrante.....	97
Figura 56: Inspección en la zona de estudio .....	109
Figura 57: Propuesta en planta Defensa Costera.....	112
Figura 58: Comunicado de Prensa Aviso Especial de Marejadas.....	118
Figura 59: Cierre por marejadas de Avenida Perú, Viña del mar.....	119
Figura 60: Entrevista a usuarios del acceso peatonal “Caleta San Pedro, Concón” .....	152
Figura 61: Propagación de oleaje – Malla General - Hmo=7.46 [m]; Tp= 11[s]; Dirp= 210[°] ....	163
Figura 62: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado - Hmo=7.46 [m]; Tp= 11[s]; ..... Dirp=210[°].....	164
Figura 63: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado - Hmo=7.46 [m]; Tp=11[s]; ..... Dirp=210[°].....	164
Figura 64: Propagación de oleaje – Malla General - Hmo=7.46 [m]; Tp= 11[s]; Dirp= 230[°] ....	165
Figura 65: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado - Hmo=7.46 [m]; Tp= 11[s]; ..... Dirp=230[°].....	165
Figura 66: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=7.46 [m]; Tp= 11[s]; ..... Dirp=230[°].....	166
Figura 67: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=7.46 [m]; Tp= 15[s]; Dirp= 210[°] .....	166
Figura 68: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=7.46 [m]; Tp= 15[s]; ..... Dirp=210[°].....	167
Figura 69: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=7.46 [m]; Tp= 15[s]; ..... Dirp=210[°].....	167

Figura 70: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=7.46 [m]; Tp= 15[s]; Dirp= 230[°] .....	168
Figura 71: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=7.46 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=230[°] .....	168
Figura 72: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=7.46 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=230[°] .....	169
Figura 73: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=5.2 [m]; Tp= 15[s]; Dirp= 290[°] .....	170
Figura 74: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=290[°] .....	170
Figura 75: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=290[°] .....	171
Figura 76: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=5.2 [m]; Tp= 15[s]; Dirp= 310[°] .....	171
Figura 77: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=310[°] .....	172
Figura 78: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=310[°] .....	172
Figura 79: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=5.2 [m]; Tp= 17[s]; Dirp= 290[°] .....	173
Figura 80: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 17[s]; Dirp=290[°] .....	173
Figura 81: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 17[s]; Dirp=290[°] .....	174
Figura 82: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=5.2 [m]; Tp= 17[s]; Dirp= 310[°] .....	174
Figura 83: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 17[s]; Dirp=310[°] .....	175
Figura 84: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=5.2 [m]; Tp= 17[s]; Dirp=310[°] .....	175
Figura 85: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=9.5 [m]; Tp= 15[s]; Dirp= 220[°] .....	176
Figura 86: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=220[°] .....	176
Figura 87: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=220[°] .....	177
Figura 88: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=9.5 [m]; Tp= 15[s]; Dirp= 240[°] .....	177
Figura 89: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=240[°] .....	178
Figura 90: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 15[s]; Dirp=240[°] .....	178
Figura 91: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=9.5 [m]; Tp= 18[s]; Dirp= 220[°] .....	179

Figura 92: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 18[s]; ..... Dirp=220[°].....	179
Figura 93: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 18[s]; ..... Dirp=220[°].....	180
Figura 94: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=9.5 [m]; Tp= 18[s]; Dirp= 240[°]..... .....	180
Figura 95: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 18[s]; ..... Dirp=240[°].....	181
Figura 96: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=9.5 [m]; Tp= 18[s]; ..... Dirp=240[°].....	181
Figura 97: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=6.4 [m]; Tp= 11[s]; Dirp= 275[°]..... .....	182
Figura 98: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 11[s]; ..... Dirp=275[°].....	182
Figura 99: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 11[s]; ..... Dirp=275[°].....	183
Figura 100: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=6.4 [m]; Tp= 14[s]; Dirp= 275[°]..... .....	183
Figura 101: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 14[s]; ..... Dirp=275[°].....	184
Figura 102: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 14[s]; ..... Dirp=275[°].....	184
Figura 103: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=6.4 [m]; Tp= 11[s]; Dirp= 310[°]..... .....	185
Figura 104: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 11[s]; ..... Dirp=310[°].....	185
Figura 105: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 11[s]; ..... Dirp=310[°].....	186
Figura 106: Propagación de oleaje – Malla General- Hmo=6.4 [m]; Tp= 14[s]; Dirp= 310[°]..... .....	186
Figura 107: Propagación de oleaje – Malla Primer Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 14[s]; ..... Dirp=310[°].....	187
Figura 108: Propagación de oleaje – Malla Segundo Anidado- Hmo=6.4 [m]; Tp= 14[s]; ..... Dirp=310[°].....	187

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1: Profundidades relativas del oleaje .....	12
Tabla 2: Parámetros geométricos de ciclovía .....	39
Tabla 3: Vidas Útiles Mínimas para obras .....	44
Tabla 4: Riesgos Máximos Admisibles .....	45
Tabla 5: Valores Críticos de sobrepaso.....	48
Tabla 6: Valores de Factor de Rugosidad ( $\gamma_f$ ).....	50
Tabla 7: Valor de Kd para $H=H_{1/10}$ .....	55
Tabla 8: Nivel de daño "S".....	55
Tabla 9: Coeficiente $k\Delta$ según la unidad de coraza .....	57
Tabla 10: Listado de Cartas Náuticas.....	69
Tabla 11: Coordenadas de nodos en Concón .....	71
Tabla 12: Niveles de Diseño.....	74
Tabla 13: Incidencia altura de ola por periodo - 3 <sup>er</sup> y 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas .....	81
Tabla 14: Incidencia altura de ola por periodo, 3 <sup>er</sup> cuadrante en aguas profundas.....	82
Tabla 15: Incidencia altura de ola por dirección, 3 <sup>er</sup> cuadrante en aguas profundas.....	83
Tabla 16: Incidencia periodo por dirección, 3 <sup>er</sup> cuadrante en aguas profundas.....	83
Tabla 17: Incidencia altura de ola por periodo, 4 <sup>to</sup> cuadrante aguas profundas .....	84
Tabla 18: Incidencia altura de ola por dirección, 4 <sup>to</sup> cuadrante aguas profundas .....	85
Tabla 19: Incidencia de periodo por dirección, 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas.....	85
Tabla 20: Análisis Extremo Valparaíso en aguas profundas del 3 <sup>er</sup> cuadrante.....	87
Tabla 21: Análisis Extremo Valparaíso en aguas profundas del 4 <sup>to</sup> cuadrante.....	89
Tabla 22: Casos propagados desde el 3 <sup>er</sup> cuadrante.....	90
Tabla 23: Casos propagados desde el 4 <sup>to</sup> cuadrante.....	90
Tabla 24: Resultados de oleaje operacional -3 <sup>er</sup> cuadrante .....	92
Tabla 25: Resultados de oleaje extremo - 3 <sup>er</sup> cuadrante.....	94
Tabla 26: Resultados de oleaje operacional – 4 <sup>to</sup> cuadrante .....	96
Tabla 27: Resultados de oleaje extremo - 4 <sup>to</sup> cuadrante.....	98
Tabla 28: Planos Mareales de Valparaíso .....	99
Tabla 29: Registros de Presión Atmosférica.....	99
Tabla 30: Registros Extremos de Viento .....	100
Tabla 31: Parámetros para cálculo de sobreelevación por setup.....	101
Tabla 32: Nivel Máximo de Diseño – Condición Operacional .....	102
Tabla 33: Nivel Máximo de Diseño – Condición Extremo .....	102
Tabla 34: Resultados altura de ola pie de la obra – condición operacional – 3 <sup>er</sup> cuadrante .....	104
.....	104
Tabla 35: Resultados altura de ola pie de la obra – condición operacional – 4 <sup>to</sup> cuadrante .....	105
.....	105

Tabla 36: Resultados altura de ola pie de la obra – condición extrema – 3 <sup>er</sup> cuadrante.....	106
Tabla 37: Resultados de altura ola pie de la obra – condición extrema – 4 <sup>to</sup> cuadrante.....	107
Tabla 38: Parámetros sedimentológicos en zona de anteplaya.....	108
Tabla 39: Parámetros sedimentológicos en zona de rompiente .....	108
Tabla 40: Nivel de Marea Valparaíso - 8 Noviembre 2015.....	110
Tabla 41: Nivelación altimétrica de coronamiento muro .....	110
Tabla 42: Parámetros de oleaje al pie de la obra en condición operacional .....	111
Tabla 43: Parámetros de oleaje al pie de la obra en condición extremo .....	111
Tabla 44: Escala de Evaluación .....	114
Tabla 45: Análisis de alternativas de Estructura Costera.....	115
Tabla 46: Sobrepasso Esperado para la condición operacional.....	124
Tabla 47: Sobrepasso Esperado para la condición extremo.....	124
Tabla 48: Peso y Dimensiones de Escollera - Talud cot 2– Hudson.....	125
Tabla 49: Peso y Dimensiones de Escollera - Talud cot 1.75– Hudson .....	125
Tabla 50: Peso y Dimensiones de Escollera - Talud cot 2 – Van der Meer 1988.....	126
Tabla 51: Peso y Dimensiones de Escollera - Talud cot 1.75 – Van der Meer 1988.....	126
Tabla 52: Peso y Dimensiones de Escollera - Talud cot 2 – van Gent.....	127
Tabla 53: Peso y Dimensiones de Escollera - Talud cot 1.75 – van Gent.....	127
Tabla 54: Combinaciones de carga muro parapeto – Alternativa 1.....	130
Tabla 55: Factor de Seguridad – Comb4.....	130
Tabla 56: Factor de Seguridad – Comb 4 .....	131
Tabla 57: Factor de Seguridad – Comb 2 – Condición Dinámica.....	131
Tabla 58: Factor de Seguridad – Comb 2 – Condición Pseudohidrostáticas .....	131
Tabla 59: Combinaciones de carga muro parapeto – Alternativa 2.....	135
Tabla 60: Factor de Seguridad – Comb 2.....	136
Tabla 61: Factor de Seguridad Comb 2.....	136
Tabla 62: Factor de Seguridad - Comb 2.....	136
Tabla 63: Sobrepasso Operacional – Muro Gravitacional .....	140
Tabla 64: Sobrepasso Extremo – Muro Gravitacional .....	140
Tabla 65: Presupuesto Alternativa 1 .....	142
Tabla 66: Presupuesto Alternativa 2.....	143
Tabla 67 Eventos extremos de Valparaíso en aguas profundas del 3 <sup>er</sup> cuadrante.....	159
Tabla 68: Eventos extremos de Valparaíso en aguas profundas del 4 <sup>to</sup> cuadrante.....	161
Tabla 69: Marea Meteorológica efectos de viento .....	188
Tabla 70: Sobrepasso esperado defensa costera con escollera - condición operacional .....	205
3 <sup>er</sup> cuadrante .....	205
Tabla 71: Sobrepasso esperado defensa costera con escollera - condición operacional .....	206
4 <sup>to</sup> cuadrante .....	206

Tabla 72: Sobrepasso esperado defensa costera con escollera - condición extremo..... 3 <sup>er</sup> cuadrante .....	207
Tabla 73: Sobrepasso esperado defensa costera con escollera - condición extremo..... 4 <sup>to</sup> cuadrante .....	208
Tabla 74: Cálculo de escollera rocas – Hudson – V:H =1:1.75 .....	209
Tabla 75: Cálculo de escollera rocas – Hudson – V:H = 1:2 .....	210
Tabla 76: Cálculo de escollera rocas – van der Meer (1988)– V:H =1:1.75 .....	211
Tabla 77: Cálculo de escollera rocas – van der Meer (1988) – V:H = 1:2 .....	212
Tabla 78: Cálculo de escollera rocas – van Gent (2004) – V:H = 1:1.75.....	213
Tabla 79: Cálculo de escollera rocas – van Gent (2004) – V:H = 1:2.....	214
Tabla 80: Distribución de Fuerzas sobre muro .....	215
Tabla 81: Distribución de Fuerzas de Oleaje .....	216
Tabla 82: Sobrepasso esperado condición operacional - muro vertical 1 - 3er cuadrante .....	229
Tabla 83: Sobrepasso esperado condición operacional - muro vertical 1 – 4to cuadrante .....	229
Tabla 84: Sobrepasso esperado condición extremo - muro vertical 1 – 3er cuadrante.....	230
Tabla 85: Sobrepasso esperado condición extremo - muro vertical 1 – 4to cuadrante .....	230
Tabla 86: Sobrepasso esperado condición operacional - muro vertical 2 – 3er cuadrante .....	234
Tabla 87: Sobrepasso esperado condición operacional - muro vertical 2 – 4to cuadrante ...	234
Tabla 88: Sobrepasso esperado condición extremo - muro vertical 2 – 3er cuadrante.....	235
Tabla 89: Sobrepasso esperado condición extremo - muro vertical 2 – 4to cuadrante .....	235
Tabla 90: Sobrepasso esperado condición operacional muro vertical 3 – 3er cuadrante .....	239
Tabla 91: Sobrepasso esperado condición operacional - muro vertical 3 – 4to cuadrante ...	240
Tabla 92: Sobrepasso esperado condición extremo - muro vertical 3 – 3er cuadrante.....	241
Tabla 93: Sobrepasso esperado condición extremo - muro vertical 3 – 4to cuadrante .....	242
Tabla 94: Análisis de Precios Unitarios .....	246

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Sobreelevación en la costa con pendiente uniforme .....	33
Gráfico 2: Diagrama de evaluación de coeficiente de Shoaling .....	34
Gráfico 3: Setup a la orilla de la costa con pendiente uniforme .....	73
Gráfico 4: Rosa de oleaje - 3 <sup>er</sup> y 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas .....	80
Gráfico 5: Rosa de Oleaje - 3er cuadrante en aguas profundas .....	82
Gráfico 6: Rosa de Oleaje - 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas .....	84
Gráfico 7: Distribución de Probabilidad 3 <sup>er</sup> cuadrante - Weibull .....	86
Gráfico 8: Análisis Extremo Valparaíso en aguas profundas del 3 <sup>er</sup> cuadrante .....	87
Gráfico 9: Distribución de Probabilidad de 4 <sup>to</sup> cuadrante- Weibull .....	88
Gráfico 10: Análisis Extremo Valparaíso en aguas profundas del 4 <sup>to</sup> cuadrante .....	89
Gráfico 11: Perfil Batimétrico de la Bahía de Concón .....	100
Gráfico 12: Marea Meteorológica por efectos de viento .....	101
Gráfico 13: Curva granulométrica en litoral arenoso .....	108
Gráfico 14: Sobrepaso Esperado - Cond Operacional - Sector Sur .....	120
Gráfico 15: Sobrepaso Esperado - Cond Operacional - Sector Centro .....	121
Gráfico 16: Sobrepaso Esperado - Cond Operacional - Sector Norte .....	121
Gráfico 17: Sobrepaso Esperado - Cond Extremo - Sector Sur .....	122
Gráfico 18: Sobrepaso Esperado - Cond Extremo - Sector Centro .....	123
Gráfico 19: Sobrepaso Esperado - Cond Extremo - Sector Norte .....	123
Gráfico 20: Comparación de Peso y Dimensión Escollera - Hudson .....	126
Gráfico 21: Comparación de Peso y Dimensión Escollera - Van der Meer .....	127
Gráfico 22: Comparación de Peso y Dimensión Escollera – van Gent 2004 .....	128
Gráfico 23: Rosa de periodo – dirección -3 cuadrante en aguas profundas .....	153
Gráfico 24: Histograma Altura de ola - 3 cuadrante en aguas profundas .....	154
Gráfico 25: Histograma periodo - 3 cuadrante en aguas profundas .....	154
Gráfico 26: Histograma dirección - 3 cuadrante en aguas profundas .....	155
Gráfico 27: Rosa periodo con dirección – 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas .....	156
Gráfico 28: Histograma altura de ola - 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas .....	157
Gráfico 29: Histograma periodo – 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas .....	157
Gráfico 30: Histograma dirección – 4 <sup>to</sup> cuadrante en aguas profundas .....	158
Gráfico 31: Ajuste de probabilidad 3 <sup>er</sup> cuadrante – Gumbel - Gringorten .....	160
Gráfico 32: Ajuste probabilidad 3 <sup>er</sup> cuadrante – Weibull –Petrauskas k=1 .....	160
Gráfico 33: Ajuste de probabilidad 4 <sup>to</sup> cuadrante – Gumbel - Gringorten .....	162
Gráfico 34: Ajuste de probabilidad 4 <sup>to</sup> cuad - Weibull- Petrauskas k=1.4 .....	162
Gráfico 35: Serie de tiempo, planos mareales y niveles de diseño .....	189

## SIMBOLOGÍA

$a_H$	Aceleración horizontal	[m/s <sup>2</sup> ]
$a_v$	Aceleración vertical	[m/s <sup>2</sup> ]
$A'$	Marea	[mNRS]
$A_c$	Francobordo de la coronación de la coraza	[m]
$\alpha$	Ángulo de la pendiente del dique	[°]
$\alpha_1$	Parámetro de método de cálculo para parapeto (Martín 1995)	[°]
$\alpha_2$	Ángulo de la pendiente del terreno	[°]
$\alpha_3$	Factor de escala asociado a la energía total del espectro Jonswap	[°]
$b_i$	Anchura de la berma de pie	[m]
$b_s$	Anchura de la berma de coronación	[m]
$B$	Anchura del espaldón	[m]
$B'$	Distancia vertical desde superficie de agua hasta coronamiento muro mampostería	[m]
$\beta$	Ángulo de incidencia del oleaje, respecto a la línea del dique	[°]
$\beta_1$	Ángulo de inclinación del respaldo interno del muro respecto a un eje vertical	[°]
$\beta_2$	Ángulo de incidencia del viento, respecto a la línea del dique	[°]
$\gamma_\beta$	Coefficiente de ángulo de incidencia del oleaje, respecto a la línea del dique	
$\gamma_f$	Coefficiente de rugosidad de la escollera	
$\gamma_1$	Factor de forma del espectro Jonswap	
$C$	Celeridad o velocidad de propagación la onda	[m/s]
$C_g$	Celeridad de grupo de propagación de onda	[m/s]
$d$	Profundidad del mar	[m]
$d_b$	Profundidad del mar cuando la ola rompe	[m]
$D_{n50}$	Longitud equivalente de cubo mediana de la roca	[m]
$\delta$	Ángulo de fricción entre el relleno y el muro	[°]
$\zeta$	Aumento del nivel del mar por gradiente de presión atmosférica	[m]
$\xi$	Número de Iribarren	
$f$	Frecuencia local del espectro	
$F$	Largo del Fetch	[m]
$F_b$	Diferencia entre la coronación del espaldón y la cresta de la coraza	[m]
$g$	Aceleración de gravedad	[m/s <sup>2</sup> ]
$h_c$	Altura de la cresta de la berma de la coraza desde el fondo	[m]
$h_p$	Francobordo de la base del espaldón	[m]
$h_s$	Profundidad de agua al pie de la obra	[m]
$h_t$	Profundidad de la cresta de la berma de pie	[m]
$H$	Altura de ola	[m]
$H_b$	Altura de ola en rotura	[m]
$H_m$	Altura de ola promedio de la serie de tiempo	[m]
$H_{max}$	Máximo de todas las alturas de olas	[m]



$H_{mo}$	Altura significativa espectral	[m]
$H_{MU}$	Altura total del muro parapeto	[m]
$H_s$ o $H_{1/3}$	Altura significativa, que corresponde al promedio del tercio de las alturas de olas más altas	[m]
$H_0$	Altura de ola en aguas profundas	[m]
$H_{1/10}$	Promedio del 10% de las olas más altas	[m]
$H_{2\%}$	Altura de ola que excede en 2% la altura significativa	[m]
$i$	Ángulo de inclinación del relleno respecto a un eje horizontal	[°]
$k$	Número de onda	[1/m]
$k_h$	Coeficiente horizontal debido a aceleración horizontal	
$k_v$	Coeficiente vertical debido a aceleración vertical	
$k_\Delta$	Coeficiente de capa de escollera	
$k_1$	Coeficiente que depende de las características de la bahía	
$K_A$	Coeficiente de empuje activo	
$K_{AE}$	Coeficiente dinámico activo	
$K_P$	Coeficiente de empuje Pasivo	
$K_d$	Coeficiente de Difracción	
$K_D$	Coeficiente de estabilidad de la escollera	
$K_r$	Coeficiente de Refracción	
$K_s$	Coeficiente de asomeramiento	
$\lambda$	Parámetro de método de cálculo para parapeto (Martín 1995)	
$L$	Longitud de onda	[m]
$L_f$	Vida útil de la estructura	[años]
$L_{om}$	Longitud de onda en aguas profundas correspondientes al periodo medio de onda	[m]
$M_{50}$	Masa de la mediana de la roca	[ton]
$\mu$	Coeficiente de roce	
$\mu_1$	Parámetro de método de cálculo para parapeto (Martín 1995)	
$N_Z$	Número de olas de tormentas	
$n$	Número de elementos de escollera	
$N_{od}$	Número de elementos desplazados en la capa del pie de apoyo de la estructura	
$\eta$	Desnivelación de la onda	[m]
$\eta_0$	Aumento del nivel del mar por efectos de viento	
$\phi$	Función potencial	
$\phi_1$	Ángulo de fricción interna del relleno	[°]
$P$	Coeficiente de Permeabilidad (van der Meer)	
$P_A$	Empuje activo de terreno	[ton/m]
$P_{AE}$	Empuje activo total del terreno	[ton/m]
$\Delta P_{AE}$	Empuje activo dinámico	[ton/m]
$P_d$	Presión Dinámica sobre parapeto	[ton/m]
$P_h$	Presión Pseudohidrostática sobre parapeto	[ton/m]
$P_P$	Empuje pasivo de terreno	[ton/m]
$P_{PP}$	Empuje pasivo dinámico	[ton/m]
$P_{SC}$	Empuje de terreno debido a la sobrecarga	[ton/m]
$\rho_b$	Densidad boyante del relleno	[ton/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{hum}$	Densidad del relleno húmedo	[ton/m <sup>3</sup> ]

$\rho_s$	Densidad de masa de rocas	[ton/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{sat}$	Densidad del relleno saturado	[ton/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	Densidad de agua	[ton/m <sup>3</sup> ]
q	Caudal de agua que sobrepasa la estructura	[m <sup>3</sup> /s/m]
R	Riesgos Admisibles de la estructura	
R <sub>c</sub>	Francobordo desde el nivel de agua hasta la coronación del muro parapeto	[m]
R <sub>D</sub>	Run-down	[m]
R <sub>U</sub>	Run-up	[m]
S	Nivel de daño (van der Meer 1988)	
$S(f)$	Energía Espectral	
$s_1$	Anchura de lámina de agua	[m]
$s_m$	Pendiente de ola ( $H_s/L_{om}$ )	
ta, tu, tf	Espesores del mando, submanto y filtros	[m]
T	Periodo de la ola	[s]
T <sub>m</sub>	Periodo medio de la ola	[s]
T <sub>p</sub>	Periodo de onda correspondiente al pico del espectro de oleaje	[s]
T <sub>R</sub>	Periodo de retorno	[años]
u	Velocidad horizontal de las partículas de agua	[m/s]
U	Velocidad del viento a una altura de 19.5 metros sobre la superficie del mar	[m/s]
U <sub>10</sub>	Velocidad del viento a una altura de 10 metros sobre la superficie del mar	[m/s]
U <sub>19.5</sub>	Velocidad del viento a una altura de 19.5 metros sobre la superficie del mar	[m/s]
w	Velocidad vertical de las partículas de agua	[m/s]
$\omega$	Frecuencia angular de la onda	[1/s]
W	Peso de elemento de escollera	[ton]
$\Delta P$	Diferencia de presión atmosférica	

## **RESUMEN**

El presente informe, denominado “Diseño de Defensa Costera y Mejoramiento de Borde Costero, desde caleta San Pedro hasta playa La Boca, Concón, Chile”, tiene como objetivo diseñar alternativas de protección costera, que permitan realizar una proyección de terreno hacia el mar con la finalidad de realizar un paseo costero, que posibilite el desplazamiento de manera segura de peatones y ciclistas.

Se consideró la elaboración de estudios de ingeniería oceánica, que permitió caracterizar las condiciones naturales, tomando en cuenta las variables marítimas, las cuales se refieren al estudio de oleaje en condiciones extremas, para analizar las acciones máximas que puede estar sometida la estructura costera; y la marea astronómica – meteorológica (presión atmosférica, viento, set-up oleaje) que contribuyen al nivel del mar. De igual modo, las variables morfológicas aluden a la batimetría, topografía y el tipo de sedimento en la zona de interés.

Dichos estudios, permitieron establecer criterios y parámetros, para el posterior diseño hidráulico, en la determinación del sobrepaso esperado en la obra marítima, y el diseño estructural destinado a definir el peso de los elementos de la capa exterior, intermedia y núcleo, como también la estabilidad del muro parapeto.

La propuesta de ingeniería básica, consiste en una defensa costera compuesta por una escollera de rocas de 3.6 [ton] – 6.3[ton] en talud 1:2 (V-H) con una capa de filtro 0.3 [ton] – 0.6 [ton] y núcleo de 2 [kg] – 22 [kg]; un muro parapeto con una cota de coronamiento de +6 [mNRS] a lo largo del tramo, la cual se estima un sobrepaso esperado en condición operacional menor a 0.1 [lt/s/m] y en condición extremo menor a 5 [lt/s/m]. Dicha estructura, permite la proyección de un acceso peatonal de ancho variable, cuyo mínimo es de 2.5 [m], y una ciclovía bidireccional de 2 [m].

El costo de las obras recién descritas tiene un valor de \$2.874.172.157 con IVA incluido.