



**UNIVERSIDAD DE VALPARAISO  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y RECURSOS NATURALES  
INGENIERIA CIVIL OCEANICA**

**DISEÑO DE DEFENSAS COSTERAS,  
UNA APLICACIÓN AL PUERTO DE IQUIQUE**

**PEDRO LUIS GIUFFRA MACHUCA**

**2010**

**UNIVERSIDAD DE VALPARAISO  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y RECURSOS NATURALES  
INGENIERIA CIVIL OCEANICA  
VIÑA DEL MAR**

**“DISEÑO DE DEFENSAS COSTERAS, UNA APLICACIÓN AL PUERTO DE  
IQUIQUE”**

**PEDRO LUIS GIUFFRA MACHUCA**

<b>COMISIÓN REVISORA</b>	<b>CALIFICACIONES</b>
	Nota Firma
<b>PROFESOR GUÍA</b> SR. PATRICIO WINCKLER	_____
<b>PROFESOR INTEGRANTE</b> SR. SERGIO BIDART	_____
<b>PROFESOR INTEGRANTE</b> SR. ERNESTO GÓMEZ	_____

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL OCEANICO**

**VIÑA DEL MAR, CHILE  
2010**

## DECLARACIÓN

*Este trabajo o algunas de sus partes no han sido presentados anteriormente en la universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para su 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 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.*

Patricio Winckler Grez  
Profesor Guía

Pedro Giuffra Machuca  
Alumno Memorista

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento al Profesor Ernesto Gómez Araya, quien propuso el tema desarrollado en esta Memoria de Título y además gentilmente aportó con la mayor parte de la documentación utilizada en la elaboración de este proyecto.

Agradezco al Profesor Patricio Winckler Grez, por su buena disposición para aclarar mis dudas y guiarme en la realización de este trabajo.

A mi familia, gracias por su paciencia y apoyo incondicional.

Gracias a todos.  
Pedro Giuffra Machuca.

# CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GENERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
<b>3</b>	<b>ESTUDIO DE CONDICIONES NATURALES</b> .....	<b>14</b>
3.1	SECTOR DE ESTUDIO.....	14
3.2	BATIMETRIA .....	17
3.3	VIENTOS .....	18
3.4	MAREAS Y NIVELES.....	18
3.4.1	MAREA ASTRONOMICA .....	18
3.4.2	MAREA METEOROLÓGICA POR VARIACIONES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	19
3.4.3	MAREA METEOROLÓGICA POR EFECTO DEL VIENTO.....	21
3.4.4	NIVEL DEL MAR.....	21
3.4.5	SETUP DEL OLEAJE .....	21
3.4.6	NIVEL DE DISEÑO.....	24
3.5	OLEAJE .....	24
3.5.1	METODOLOGÍA .....	25
3.5.2	CLIMA DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS .....	25
3.5.2.1	Estadística.....	25
3.5.2.2	Clima de oleaje medio .....	26
3.5.2.3	Clima de oleaje extremo .....	29
3.5.3	TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE .....	31
3.5.3.1	Generalidades .....	31
3.5.3.2	Propagación desde aguas profundas hasta la zona de estudio.....	31
3.5.3.2.1	Marco conceptual del modelo SWAN .....	31
3.5.3.2.2	Dominio físico del estudio.....	32
3.5.3.2.3	Espectros de oleaje.....	33
3.5.3.2.4	Resultados.....	34
3.5.4	CLIMA DE OLEAJE EN EL SECTOR DE ESTUDIO .....	37
3.6	CORRIENTES.....	40
3.7	TSUNAMIS .....	40
3.8	FONDO MARINO.....	40
3.8.1	ANTECEDENTES.....	40
3.8.2	INSPECCIÓN SUBMARINA .....	42

<b>4</b>	<b>DISEÑO DE OBRAS MARITIMAS .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>BASES DE DISEÑO .....</b>	<b>43</b>
4.1.1	ESTADOS LÍMITES .....	43
4.1.2	VIDA ÚTIL, RIESGO Y PERIODO DE RETORNO .....	44
4.1.3	NIVELES .....	45
4.1.4	OLEAJE .....	45
4.1.4.1	Oleaje en las proximidades de la obra .....	45
4.1.4.2	Oleaje de diseño a pie de obra .....	45
<b>4.2</b>	<b>DISEÑO DE ESTABILIDAD .....</b>	<b>47</b>
4.2.1	CORAZA EXTERIOR .....	50
4.2.2	FILTRO PRIMARIO .....	56
4.2.3	NUCLEO .....	56
4.2.4	PARAPETO .....	57
<b>4.3</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS .....</b>	<b>58</b>
4.3.1	CORAZA EXTERIOR .....	58
4.3.2	DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO .....	60
4.3.3	DIMENSIONAMIENTO DEL NÚCLEO .....	61
4.3.4	DIMENSIONAMIENTO DEL PARAPETO .....	62
4.3.5	DISCUSIÓN SOBRE EL DISEÑO DE ESTABILIDAD .....	63
<b>4.4</b>	<b>DISEÑO HIDRÁULICO .....</b>	<b>63</b>
4.4.1	ANTECEDENTES .....	64
4.4.2	SOBREPASO ADMISIBLE .....	69
4.4.3	CÁLCULO DEL SOBREPASO .....	70
4.4.4	SOBREPASO ESPERADO .....	72
4.4.5	DISCUSIÓN DEL DISEÑO HIDRAULICO .....	75
<b>4.5</b>	<b>RESUMEN DE PESOS Y DIMENSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>4.6</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>78</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>82</b>
6.1	DOCUMENTOS RELACIONADOS CON EL PROYECTO .....	82
6.2	NORMATIVA Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO .....	83
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>84</b>
7.1	ANEXO N° 1: ANALISIS DE VALORES EXTREMOS .....	85
7.2	ANEXO N° 2: PROPAGACIÓN DE OLEAJE, RESULTADOS VISUALES .....	90
7.3	ANEXO N° 3: SALIDAS ESPECTRALES DE SWAN .....	102
7.4	ANEXO N° 4: OLEAJE DE DISEÑO A PIE DE OBRA .....	108

<b>7.5</b>	<b>ANEXO N° 5: CÁLCULO DE H2% .....</b>	<b>115</b>
<b>7.6</b>	<b>ANEXO N° 6: DIMENSIONAMIENTO DE LA CORAZA (VAN DER MEER). .....</b>	<b>118</b>
<b>7.7</b>	<b>ANEXO N° 7: DIMENSIONAMIENTO DE LA CORAZA (MELBY). .....</b>	<b>123</b>
<b>7.8</b>	<b>ANEXO N° 8: CALCULO DE SOBREPASO .....</b>	<b>128</b>
<b>7.9</b>	<b>ANEXO N° 9: ALTERNATIVAS DE DEFENSA COSTERA.....</b>	<b>147</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1: Caracterización de la marea astronómica.....	19
Tabla 3-2: Niveles del mar en Bahía de Iquique. ....	24
Tabla 3-3: Tabla de incidencia en aguas profundas, Iquique.....	27
Tabla 3-4: Alturas extremas anuales, costa afuera de Iquique. (1985-2006). ....	29
Tabla 3-5: Valores extremos de altura significativa espectral en aguas profundas.....	31
Tabla 3-6: Mallas de propagación.....	32
Tabla 3-7: Casos analizados con Swan. Oleaje en aguas profundas.....	34
Tabla 3-8: Estaciones de monitoreo.....	35
Tabla 3-9: Clima de oleaje en el sector de estudio, estación N° 1.....	38
Tabla 3-10: Clima de oleaje en el sector de estudio, estación N° 2.....	39
Tabla 3-11: Coordenadas estación de muestreo de sedimentos.....	40
Tabla 3-12: Tipos sedimentarios medianos promedio.....	41
Tabla 4-1: Niveles de diseño máximo y mínimo.....	45
Tabla 4-2: Oleaje de diseño en las proximidades de la obra. ....	46
Tabla 4-3: Oleaje de diseño a pie de obra. ....	47
Tabla 4-4: Definición de daño (S), fórmulas de Van der Meer y Melby.....	54
Tabla 4-5: Peso de los elementos de la coraza. Sección del Cabezo. ....	59
Tabla 4-6: Peso de los elementos de la coraza. Secciones del Tronco y Codo.....	60
Tabla 4-7: Peso de las secciones del parapeto $Cot\alpha=2$ .....	62
Tabla 4-8: Peso de las secciones del parapeto $Cot\alpha=3$ .....	63
Tabla 4-9: Sobrepasso admisible, de acuerdo al British Standard.....	69
Tabla 4-10: Sobrepasso admisible, de acuerdo al Coastal Engineering Manual.....	69
Tabla 4-11: Sobrepasso esperado. Sección del cabezo cota=2.....	72
Tabla 4-12: Sobrepasso esperado. Sección del codo cota=2.....	73
Tabla 4-13: Sobrepasso esperado. Sección del tronco cota=2.....	73
Tabla 4-14: Sobrepasso esperado. Sección del cabezo cota=3.....	74
Tabla 4-15: Sobrepasso esperado. Sección del codo cota=3.....	74
Tabla 4-16: Sobrepasso esperado. Sección del tronco cota=3.....	75
Tabla 4-17: Resumen de pesos y dimensiones de elementos de la defensa, cota=2.....	76
Tabla 4-18: Resumen de pesos y dimensiones de elementos de la defensa, cota=3.....	77
Tabla 4-19: Presupuesto estimado. Defensa Cota=2.....	78
Tabla 4-20: Presupuesto estimado. Defensa Cota=3.....	79



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1: Vista general del puerto de Iquique.....	14
Figura 3-2: Imagen satelital de la zona de estudio.....	15
Figura 3-3: Fotografía panorámica del molo de unión.....	15
Figura 3-4: Fotografía de detalle del sector de ampliación.....	16
Figura 3-5: Fotografía panorámica del sector de ampliación.....	16
Figura 3-6: Fotografía panorámica desde el arranque del molo de unión.....	16
Figura 3-7: Carta Náutica N° 1211, Bahía de Iquique (detalle).....	17
Figura 3-8: Presión atmosférica de Antofagasta (años 1998, 1999 y 2002).....	20
Figura 3-9: Tendencia del nivel del mar en Iquique.....	21
Figura 3-10: Cálculo del Setup de oleaje para 5 y 25 años de periodo de retorno.....	23
Figura 3-11: Área de cobertura y nodos de validación Olas Chile.....	26
Figura 3-12: Distribución de frecuencias versus periodo espectral del oleaje.....	28
Figura 3-13: Distribución de frecuencias versus dirección espectral de oleaje.....	28
Figura 3-14: Ajuste función de distribución Weibull, Dirección SW.....	30
Figura 3-15: Batimetría Iquique.....	32
Figura 3-16: Batimetría zona de estudio.....	33
Figura 3-17: Espectro de oleaje en aguas profundas.....	34
Figura 3-18: Hmo en sector de estudio, oleaje dirección SSW y $T_p=12$ [s].....	35
Figura 3-19: Hmo en sector de estudio, oleaje dirección SW y $T_p=12$ [s].....	36
Figura 3-20: Hmo en sector de estudio, oleaje dirección WSW y $T_p=12$ [s].....	36
Figura 3-21: Hmo en sector de estudio, oleaje dirección W y $T_p=12$ [s].....	37
Figura 3-22: Estación de monitoreo de sedimentos intermareales.....	41
Figura 3-23: Fotografías submarinas del sector de apoyo del pie de la defensa.....	42
Figura 4-1: Planta general de la defensa.....	48
Figura 4-2: Alternativa N° 1, defensa $\cot\alpha=2$ .....	49
Figura 4-3: Alternativa N° 2, defensa $\cot\alpha=3$ .....	49
Figura 4-4: Definición de la permeabilidad teórica (P).....	54
Figura 4-5: Relación entre la permeabilidad teórica P y $D_{50C}/D_{50Arm}$ .....	55
Figura 4-6: Recomendaciones del Coastal Engineering Manual.....	56
Figura 4-7: Diagrama de presiones sobre el parapeto Günbak et al. (1984).....	57
Figura 4-8: Imágenes de sobrepaso en sector de acceso a la Ex-Isla Serrano.....	64
Figura 4-9: Secciones con fallo estructural reportadas por el INH.....	65

Figura 4-10: Imágenes de sobrepaso en sector de acceso a la Ex-Isla Serrano.....	66
Figura 4-11: Imágenes de sobrepaso en sector Gerencia, junio 2003. ....	67
Figura 4-12: Mapas de campos de período de oleaje según modelo Wavewatch, junio 2003. ....	68
Figura 4-13: Aplicación de la Ecuación 4-7 con banda de confianza del 90% .....	70

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 4-1: Fórmula de Goda para la estimación de la altura de ola a pie de obra .....	46
Ecuación 4-2: Fórmula de Hudson (1974) para el cálculo del peso de coraza. ....	51
Ecuación 4-3: Fórmula de van der Meer (1988) para el cálculo del peso de coraza.....	52
Ecuación 4-4: Fórmula de Melby (2005) para el cálculo del peso de coraza. ....	53
Ecuación 4-5: Relación entre la permeabilidad teórica $P$ y $D_{50C}/D_{50Arm}$ .....	55
Ecuación 4-6: Dimensión nominal del material del núcleo. ....	62
Ecuación 4-7: Fórmula de estimación del sobrepaso.....	71

## RESUMEN

El presente proyecto de título denominado “Diseño de defensas costeras, una aplicación al puerto de Iquique”, contiene los estudios necesarios para desarrollar un proyecto de ingeniería, destinado a diseñar una defensa costera.

El caso en estudio, corresponde a una situación real, en el cual se pretende ganar terrenos al mar, con el objeto de habilitar un área de aproximadamente 6000 m<sup>2</sup> destinada a estacionamiento de camiones, calles de circulación y mejoramiento del acceso al puerto de Iquique. Las obras tiene el carácter de provisorias, con una vida útil no superior a 5 años.

Dado lo reducido de la vida útil de las obras, la proximidad de canteras para el suministro de material y condiciones de oleaje, en el presente estudio, sólo se analiza la posibilidad de constituir una defensa de escollera.

En primera instancia se realiza un análisis de las condiciones naturales del sector en estudio, para posteriormente desarrollar el diseño de las obras de defensa. El diseño incluye un estudio de estabilidad, destinado a definir el peso de los diferentes elementos que constituyen la defensa, en sus diferentes secciones, además de un estudio hidráulico, con el objeto de determinar los caudales de sobrepaso que se generan en la estructura, para las dos alternativas de defensa propuestas.

Finalmente se desarrolla una evaluación económica de las alternativas, con el objeto determinar cual de ellas presenta el menor costo de construcción.