



**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA  
VALPARAÍSO**

---

**“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ABRIGO PARA MEJORAR LA  
OPERATIVIDAD DE LA CALETA DE PESCADORES BUCALEMU, VI  
REGIÓN, CHILE”**

**MARÍA JOSÉ GANGAS RAMÍREZ**

2011

**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA  
VALPARAÍSO**

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ABRIGO PARA MEJORAR LA OPERATIVIDAD  
DE LA CALETA DE PESCADORES BUCALEMU, VI REGIÓN, CHILE”

MARÍA JOSÉ GANGAS RAMÍREZ

<b>COMISIÓN EVALUADORA</b>	<b>CALIFICACIONES</b>	
	<b>Nota</b>	<b>Firma</b>
<b>PROFESOR GUÍA</b> SR. MATÍAS QUEZADA	_____	_____
<b>PROFESOR INTEGRANTE</b> SR. MAURICIO REYES	_____	_____
<b>PROFESOR INTEGRANTE</b> SR. FELIPE CASELLI	_____	_____

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO

VIÑA DEL MAR, CHILE  
2011

## 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 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 sus derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.*

Matías Quezada Labra  
Profesor Guía

María José Gangas Ramírez  
Alumna Memorista

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer a mi profesor guía Don Matías Quezada Labra, quien gentilmente respondió mis numerosas dudas cada vez que las tenía, sin su ayuda no podría haber realizado mi memoria de título.... ¡Muchas Gracias!

También quiero agradecer a la Dirección de Obras Portuarias, en especial a Don Guillermo Jaramillo, por facilitarme información para el desarrollo de esta memoria.

A mi compañero y amigo Cristian Santander, por su gran ayuda y preocupación en la realización de mi proyecto de título.

A mis amigas y amigos Nicole Escudero, Macarena Faúndez, Rosario Chesta, Pía Monreal, Celeste Bunster, Felipe Rifo y Jorge Gómez por su constante ánimo y preocupación.

A Wladimir Altamirano, por siempre estar ahí preocupado e interesado por mis asuntos, por darme todo el amor que me das y que también siento por ti, muchas gracias por hacerme tan feliz.

Gracias a mi familia, por su cariño, preocupación y apoyo a lo largo de mi carrera como también en la finalización de esta con mi memoria de título.

A mis padres, Fernando Gangas Muñoz y Ana María Ramírez Olmos, muchas gracias por todo lo que me han dado durante toda mi vida. Todos los logros que he tenido y que tendré son en forma de agradecimiento por lo mucho que he recibido por parte de ustedes, lo que mas quiero es que se sientan la mitad de orgullosos de lo que yo me siento de ustedes. Los amo.

Finalmente agradezco a todos los que han contribuido con la realización de esta memoria.

¡¡GRACIAS TOTALES!!  
María José Gangas Ramírez

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ABRIGO PARA MEJORAR  
LA OPERATIVIDAD DE LA CALETA DE PESCADORES BUCALEMU,  
VI REGIÓN CHILE

*Dedicada a mis padres, Fernando Gangas y Ana María Ramírez,  
sin su ayuda y guía no sería la persona que soy hoy.*

## CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1-1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>2-3</b>
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	2-3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2-3
<b>3</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3-4</b>
3.1	OLEAJE .....	3-4
3.1.1	DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ONDAS .....	3-4
3.1.2	ONDAS PRODUCIDAS POR VIENTO .....	3-5
3.1.3	TEORÍAS DE ONDAS.....	3-7
3.2	TRANSFERENCIA ESPECTRAL DE OLEAJE.....	3-12
3.2.1	TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE .....	3-12
3.2.2	DEFINICIÓN ESPECTRAL DEL OLEAJE.....	3-18
3.2.3	ESPECTROS DE FRECUENCIAS MÁS UTILIZADOS .....	3-20
3.2.4	METODOLOGÍAS DE TRANSFERENCIA ESPECTRAL .....	3-23
3.3	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	3-25
3.3.1	GENERALIDADES.....	3-25
3.3.2	TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS .....	3-26
3.3.3	TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS .....	3-28
3.4	OBRAS DE ABRIGO.....	3-31
3.4.1	CONCEPTO DE DIQUES.....	3-31
3.4.2	DIQUE EN TALUD .....	3-35
3.4.3	DIQUE VERTICAL .....	3-39
<b>4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO</b> .....	<b>4-41</b>
4.1	OLEAJE .....	4-41
4.1.1	GENERALIDADES.....	4-41
4.1.2	METODOLOGÍA .....	4-42
4.1.3	ANÁLISIS DE CLIMA OPERACIONAL .....	4-48
4.1.4	ANÁLISIS CLIMA EXTREMO.....	4-63
4.1.5	CONDICIONES ACTUALES DE OPERATIVIDAD.....	4-69
4.2	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA CONCEPTUAL DE LAS ROCAS DE BUCALEMU.....	4-73
4.2.1	DEFINICIONES.....	4-73
4.2.2	UTILIZACIÓN DE ROCAS.....	4-74
4.2.3	TIPO DE ROCA PRESENTE EN EL LUGAR DE ESTUDIO.....	4-74
4.3	MAREAS.....	4-77
4.3.1	COMPONENTE ASTRONÓMICA.....	4-77
4.3.2	COMPONENTE METEOROLÓGICA.....	4-78
4.4	SEDIMENTOS .....	4-81
4.4.1	GENERALIDADES.....	4-81
4.4.2	BITÁCORA DE MUESTREO .....	4-83
4.4.3	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	4-85
4.4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	4-90
4.4.5	RESULTADOS DE INDICADORES ESTADÍSTICOS .....	4-93
4.5	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	4-96
4.5.1	ANÁLISIS PREVIOS .....	4-96
4.5.2	ESTUDIO DEL TRANSPORTE LONGITUDINAL.....	4-98
4.5.3	DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DEL TRANSPORTE LONGITUDINAL .....	4-104

<b>5</b>	<b>MEJORAMIENTO CALETA BUCALEMU.....</b>	<b>5-109</b>
5.1	GENERALIDADES.....	5-109
5.1.1	DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	5-109
5.1.2	MEJORAS ESPERADAS EN EL FUNCIONAMIENTO.....	5-110
5.2	BASES DE DISEÑO.....	5-111
5.2.1	VIDA ÚTIL.....	5-111
5.2.2	RIESGO.....	5-112
5.2.3	PERIODO DE RETORNO.....	5-113
5.2.4	NIVEL DEL MAR.....	5-113
5.2.5	OLEAJE DE DISEÑO.....	5-113
5.3	DISEÑO DE LAS SECCIONES TÍPICAS.....	5-114
5.3.1	DISEÑO HIDRÁULICO.....	5-114
5.3.2	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	5-119
5.4	MODIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE AGITACIÓN.....	5-129
5.4.1	IMPLEMENTACIÓN NUMÉRICA.....	5-129
5.4.2	OPERATIVIDAD ESPERADA.....	5-132
5.5	EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	5-134
5.5.1	COSTO DE LA ESTRUCTURA.....	5-134
5.5.2	FUNCIONALIDAD DE LA ESTRUCTURA.....	5-137
5.6	DETALLES DE LA ESTRUCTURA ELEGIDA.....	5-138
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>6-140</b>
6.1	RESPECTO DE LA CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO.....	6-140
6.2	RESPECTO DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE ABRIGO.....	6-141
6.3	RECOMENDACIONES GENERALES.....	6-142
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>7-143</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>8-145</b>
8.1	ANEXO I MODELO MIKE 21 BW.....	8-146
8.1.1	ECUACIONES FUNDAMENTALES.....	8-147
8.1.2	IMPLEMENTACIÓN NUMÉRICA.....	8-149
8.1.3	PERIODO DE SIMULACIÓN.....	8-149
8.1.4	NÚMERO DE COURANT.....	8-149
8.2	ANEXO II MODELACIONES STWAVE.....	8-151
8.3	ANEXO III MAPA GEOLÓGICO VI REGIÓN, CHILE.....	8-156
8.4	ANEXO IV RESULTADOS DIQUE VERTICAL.....	8-158

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Clasificación de Ondas .....	3-4
Tabla 3-2 Recomendaciones de Pesos del Filtro para diferentes elementos .....	3-39
Tabla 3-3 Coeficientes de Reflexión .....	3-40
Tabla 4-1 Direcciones y Periodos de Propagación en Stwave.....	4-46
Tabla 4-2 Tabla de Incidencia de Oleaje v/s Periodo Offshore (Constitución).....	4-49
Tabla 4-3 Tabla de Incidencia de Oleaje v/s Dirección Off Shore (Constitución).....	4-50
Tabla 4-4 Tabla de Incidencia Dirección v/s Oleaje Off Shore (Constitución) .....	4-51
Tabla 4-5 Tabla de Incidencia de Oleaje v/s Dirección a 10 [m] de Profundidad.....	4-56
Tabla 4-6 Tabla de Incidencia de Oleaje v/s Periodo a 10 [m] de Profundidad .....	4-57
Tabla 4-7 Combinatoria a propagar en Mike 21 BW.....	4-58
Tabla 4-8 Tabla de Incidencia de Oleaje v/s Dirección a 3 [m] de Profundidad.....	4-60
Tabla 4-9 Tabla de Incidencia de Oleaje v/s Periodo a 3 [m] de Profundidad .....	4-61
Tabla 4-10 Resultados de Alturas Significativas y Bandas de Confianza de 95%.....	4-64
Tabla 4-11 Alturas, Direcciones y Periodos de Propagación en Stwave.....	4-65
Tabla 4-12 Parámetros de resumen offshore e inshore.....	4-67
Tabla 4-13 Condiciones Límite de Operación de Buques en Muelles y Pantanales .....	4-70
Tabla 4-14 Rocas Metamórficas según Roca Inicial.....	4-73
Tabla 4-15 Planos Maréales en Valparaíso, año 2010 .....	4-77
Tabla 4-16 Planos Maréales en Bucalemu, año 2010 .....	4-78
Tabla 4-17 Velocidades del viento con respecto a longitud del Fetch.....	4-79
Tabla 4-18 Datos de la carta de Superficie .....	4-79
Tabla 4-19 Corrección de los niveles de marea por efecto de presión.....	4-80
Tabla 4-20 Coordenadas Georreferenciadas de los Sectores Muestreados .....	4-84
Tabla 4-21 Clasificación según Escala Udden-Wentworth .....	4-85
Tabla 4-22 Diámetros Relevantes para Sector 1, Caleta Bucalemu .....	4-86
Tabla 4-23 Diámetros Relevantes para Sector 2, Caleta Bucalemu .....	4-86
Tabla 4-24 Diámetros Relevantes para Sector 3, Caleta Bucalemu .....	4-87
Tabla 4-25 Diámetros Relevantes para Sector 4, Caleta Bucalemu .....	4-88
Tabla 4-26 Diámetros Relevantes para Sector Estero, Caleta Bucalemu .....	4-89
Tabla 4-27 Indicadores Estadísticos, Sector 1 .....	4-93
Tabla 4-28 Indicadores Estadísticos, Sector 2 .....	4-93
Tabla 4-29 Indicadores Estadísticos, Sector 3 .....	4-94
Tabla 4-30 Indicadores Estadísticos, Sector 4 .....	4-94
Tabla 4-31 Indicadores Estadísticos, Sector Estero .....	4-95
Tabla 4-32 Análisis Estadístico Zona Sumergida Bucalemu.....	4-96
Tabla 4-33 Diámetros Relevantes Zona Sumergida Caleta Bucalemu .....	4-98
Tabla 4-34 Tabla de Incidencia en Aguas Profundas, Constitución .....	4-101
Tabla 4-35 Transporte Longitudinal Neto y Bruto por Tabla de Incidencia.....	4-102
Tabla 4-36 Transporte Longitudinal Sector 1 .....	4-103
Tabla 4-37 Transporte Longitudinal Sector 2 .....	4-103
Tabla 4-38 Transporte Longitudinal Sector 3 .....	4-103
Tabla 4-39 Transporte Longitudinal Sector 4 .....	4-103
Tabla 4-40 Transporte Longitudinal por Queens, Sector 1 .....	4-105
Tabla 4-41 Transporte Longitudinal por Queens, Sector 2 .....	4-105
Tabla 4-42 Transporte Longitudinal por Queens, Sector 3 .....	4-105
Tabla 4-43 Transporte Longitudinal por Queens, Sector 4 .....	4-105
Tabla 4-44 Transporte Longitudinal por CERC, Sector 1 .....	4-106
Tabla 4-45 Transporte Longitudinal por CERC, Sector 2 .....	4-106
Tabla 4-46 Transporte Longitudinal por CERC, Sector 3 .....	4-106
Tabla 4-47 Transporte Longitudinal por CERC, Sector 4 .....	4-106
Tabla 5-1 Datos de Entrada para calculo de Run Up .....	5-115



Tabla 5-2 Resultados de Sobrepasso para Dique Vertical .....	5-117
Tabla 5-3 Datos de Entrada Dique Vertical .....	5-124
Tabla 5-4 Downtime en zona de estudio con y sin obra .....	5-132
Tabla 5-5 Cotizaciones de Estructuras para Caleta Bucalemu .....	5-135
Tabla 5-6 Resultados de Cotizaciones por Largo Real de la estructura.....	5-136
Tabla 5-7 Datos de Entrada para cálculo de componentes del dique .....	5-138
Tabla 5-8 Resultados de Componentes del Dique en Talud.....	5-138
Tabla 8-1 Cálculos Dique Vertical.....	8-160

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Ubicación de Bucalemu .....	1-1
Figura 1-2 Ubicación de Macizo Rocosos en Caleta Bucalemu.....	1-2
Figura 3-1 Representación Onda Ideal .....	3-5
Figura 3-2 Comportamiento de Funciones Hiperbólicas .....	3-6
Figura 3-3 Aplicación de Teorías en diferentes zonas.....	3-8
Figura 3-4 Comparación de ondas en diferentes teorías .....	3-8
Figura 3-5 Representación de una onda de Airy .....	3-10
Figura 3-6 Rango de validez de las diferentes teorías de oleaje (Le Méhauté, 1976) .....	3-11
Figura 3-7 Esquema de ola refractada.....	3-12
Figura 3-8 Diagrama de Refracción .....	3-13
Figura 3-9 Esquema de Onda Difractada.....	3-14
Figura 3-10 Reflexión .....	3-15
Figura 3-11 Tipos de Rotura definidos a partir del Número de Iribarren .....	3-18
Figura 3-12 Ejemplo de Espectro de Frecuencias.....	3-19
Figura 3-13 Ejemplo de Espectro Direccional .....	3-19
Figura 3-14 Esquema de transporte longitudinal de sedimentos en una playa .....	3-26
Figura 3-15 Perfil de Verano e Invierno (Van Rijn, 1998) .....	3-29
Figura 3-16 Componentes de un Dique de Contención.....	3-31
Figura 3-17 Dique en Talud.....	3-32
Figura 3-18 Dique Vertical.....	3-32
Figura 3-19 Parámetros geométricos de una estructura en talud .....	3-33
Figura 3-20 Tipos de elementos artificiales de una obra en talud .....	3-34
Figura 3-21 Permeabilidad de una estructura en talud según Van der Meer (1993).....	3-34
Figura 3-22 Recomendación de Coastal Engineering Manual .....	3-39
Figura 4-1 Batimetría Final utilizada en Modelo Stwave.....	4-43
Figura 4-2 Ubicación nodo de estadísticas en aguas profundas.....	4-44
Figura 4-3 Malla Detalle anidada a Malla General en Modelo Stwave .....	4-46
Figura 4-4 Ubicación de punto de extracción de coeficientes, coordenadas 769715,860 E 6163756.940 S, profundidad 10 [m].....	4-47
Figura 4-5 Grilla General y Detalle Dirección 225° .....	4-52
Figura 4-6 Grilla General y Detalle Dirección 270° .....	4-53
Figura 4-7 Grilla General y Detalle Dirección 315° .....	4-54
Figura 4-8 Grilla de Batimetría del Modelo Mike 21 BW .....	4-59
Figura 4-9 Grilla General y Detalle para Altura Extremal Estimada, D 225° y T 13 [s].....	4-66
Figura 4-10 Buque pesquero estable .....	4-69
Figura 4-11 Formación Rocosa presente en la Zona de Estudio .....	4-75
Figura 4-12 Tipo de Roca en Macizo Rocosos, Bucalemu .....	4-75
Figura 4-13 Caracterización de los Sedimentos.....	4-81
Figura 4-14 Escala de Granulometría Udden-Wentworth (1992) .....	4-82
Figura 4-15 Sectores Muestreados, Caleta Bucalemu .....	4-83
Figura 4-16 Escalas de clasificación por Curtosis .....	4-90
Figura 4-17 Tipos de Curvas de Asimetría.....	4-91
Figura 4-18 Resultados físicos de resultados de desviación estándar .....	4-92
Figura 5-1 Propuesta de Layout en la Zona de Estudio en metros .....	5-109
Figura 5-2 Vidas Útiles Recomendadas.....	5-111
Figura 5-3 Riesgos Recomendados Admisibles.....	5-112
Figura 5-4 Parámetros Fórmula de Franco 1999 .....	5-116
Figura 5-5 Cálculo de Sobrepaso de Dique Vertical.....	5-116
Figura 5-6 Valores Críticos de Caudales de Sobrepaso.....	5-118
Figura 5-7 Sección Transversal Dique en Talud .....	5-123
Figura 5-8 Formula de Sainflou (1928) .....	5-124

Figura 5-9 Sección Transversal Dique Vertical .....	5-126
Figura 5-10 Sección Transversal Dique Mixto.....	5-128
Figura 5-11 Grilla con estructura en Mike 21 BW .....	5-129
Figura 5-12 Coeficientes de Reflexión .....	5-130
Figura 5-13 Resultado de altura de ola con dique en talud.....	5-131
Figura 5-14 Resultado de altura de ola con dique vertical .....	5-131
Figura 5-15 Resultado de altura de ola con dique mixto.....	5-132
Figura 5-16 Layout con Dique en Talud.....	5-139
Figura 8-1 Modelación Stwave Dirección 202.5° .....	8-152
Figura 8-2 Modelación Stwave Dirección 247.5° .....	8-153
Figura 8-3 Modelación Stwave Dirección 292.5° .....	8-154
Figura 8-4 Modelación Stwave Dirección 337.5° .....	8-155
Figura 8-5 Mapa Geológico VI Región, Chile .....	8-157
Figura 8-6 Cargas actuantes sobre un cajón .....	8-159

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1 Funciones de Transferencia Altura de ola v/s Periodo Peak .....	4-55
Gráfico 4-2 Funciones de Transferencia Dirección v/s Periodo Peak .....	4-55
Gráfico 4-3 Altura de Ola v/s Dirección Peak en profundidad 3[m] .....	4-62
Gráfico 4-4 Altura de Ola v/s Periodo Peak en profundidad 3[m].....	4-62
Gráfico 4-5 Comparación de Distribuciones de Probabilidad.....	4-63
Gráfico 4-6 Resultados de Altura Significativa con Banda de Confianza 95% .....	4-64
Gráfico 4-7 Parámetros Inshore.....	4-67
Gráfico 4-8 Altura Límite v/s Alturas de Oleaje.....	4-72
Gráfico 4-9 Curva Granulométrica para Zona Sumergida, Caleta Bucalemu .....	4-97
Gráfico 4-10 Clasificación del Sedimento para Zona Sumergida, Caleta Bucalemu .....	4-97
Gráfico 4-11 Distribución Transporte Longitudinal con Hb por Sunamura (1980) y Battjes and Stive (1985), Sector 1 .....	4-107
Gráfico 4-12 Distribución Transporte Longitudinal con Hb por Sunamura (1980) y Battjes and Stive (1985), Sector 2 .....	4-107
Gráfico 4-13 Distribución Transporte Longitudinal con Hb por Sunamura (1980) y Battjes and Stive (1985), Sector 3 .....	4-108
Gráfico 4-14 Distribución Transporte Longitudinal con Hb por Sunamura (1980) y Battjes and Stive (1985), Sector 4 .....	4-108
Gráfico 5-1 Comparación Elemento Roca Formula de Hudson .....	5-119
Gráfico 5-2 Comparación Peso de Filtro Inferior y Superior .....	5-120
Gráfico 5-3 Peso de Núcleo W/200.....	5-120
Gráfico 5-4 Pesos del Pie de Apoyo .....	5-121
Gráfico 5-5 Ancho Pie de Apoyo.....	5-121
Gráfico 5-6 Alto Pie de Apoyo .....	5-122
Gráfico 5-7 Comparación de Cotizaciones para las 3 Tipologías .....	5-136
Gráfico 5-8 Probabilidades de Excedencia para Situaciones con y sin obra.....	5-137
Gráfico 6-1 Alturas de Ola con presencia de Rompeolas en Talud v/s Alturas Límites .....	6-141

## **RESUMEN**

El presente documento consiste en el proyecto de título llamado “Diseño de Estructura de Abrigo para Mejorar la Operatividad de la Caleta de Pescadores Bucalemu, VI Región, Chile”, el cual ha sido abordado en tres puntos principales: Clima de Oleaje, Transporte de Sedimentos y por último Diseño de Estructura de Abrigo.

En el primer punto, Clima de Oleaje, se caracterizó el medio determinando las condiciones naturales existentes en el sector de estudio, para así analizar las causas que determinan la baja operatividad en la zona y proponer alternativas de solución.

En el segundo punto, Transporte de Sedimentos, se definió el tipo de grano presente en la zona y si el movimiento de material arenoso, producto del oleaje, afecta la productividad de la caleta.

Finalmente, como solución, se diseñó una estructura de abrigo para disminuir el oleaje incidente y además que cumpliera con las alturas límites de operatividad para el tipo de embarcaciones presente en la zona de estudio.