



Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL ANCHO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LITORAL

Marco Antonio Gallegos Jeria

Marzo 2016

**METODOLOGÍA PARA DETERMINAR
EL ANCHO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LITORAL**
Marco Antonio Gallegos Jeria

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

FELIPE CASELLI B.
Profesor guía

MARIO HERRERA A.
Revisor

JORGE ROJAS A.
Revisor

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 de 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.

DEDICATORIA

*A Claudia, Isaac, Valentina, Pablo y
Marco Antonio, por ser la inspiración de
este proyecto.*

*Padre mar, ya sabemos como te llamas, todas las gaviotas reparten tu
nombre en las arenas: Ahora, pórtate bien, no sacudas tus crines, no
amenaces a nadie, no rompas contra el cielo tu bella dentadura, déjate
por un rato de gloriosas historias, danos a cada hombre, a cada mujer y a
cada niño, un pez grande o pequeño cada día.*

“Oda al mar” (extracto), Pablo Neruda.

CONTENIDOS

TÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. HIDRÁULICA MARÍTIMA.....	4
2.1.1. HIDRODINÁMICA EN LA ZONA DE ROMPIENTES.....	4
2.1.2. ROTURA DE OLEAJE.....	4
2.2. ANÁLISIS MEDIO Y EXTREMAL DEL OLEAJE.....	7
2.2.1. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL RÉGIMEN MEDIO.....	7
2.2.2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL RÉGIMEN EXTREMAL.....	9
2.2.3. PERÍODO DE RETORNO.....	11
3. OBJETIVOS.....	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS PARA DETERMINAR LA ZPL.....	14
4.1. OBTENCIÓN DE DATOS.....	14
4.2. ESQUEMA METODOLÓGICO.....	15
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	19
5.1. REGIMEN MEDIO DE OLEAJE.....	19
5.2. REGIMEN EXTREMAL DE OLEAJE.....	21
6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	23
6.1. DE LA ZPL Y SU CÁLCULO.....	23
6.2. SUGERENCIAS.....	25
7. REFERENCIAS.....	27
8. ANEXOS.....	30
8.1. ASPECTOS TEÓRICOS.....	30
8.1.1. TEORÍA LINEAL DEL OLEAJE.....	30
8.1.2. TRANSFORMACIONES DEL OLEAJE.....	35
8.1.2.1. TIPOS DE ROMPIENTE.....	39
8.1.2.2. CONVERSIÓN DATOS DE VIENTO.....	40
8.1.3. MORFOLOGÍA COSTERA.....	42
8.2. ASPECTOS LEGALES.....	44
8.2.1. RESUMEN DEL DS 90/2000.....	44
8.2.2. RESUMEN DE LA CIRCULAR A-53/004.....	49
8.2.3. NORMATIVA INTERNACIONAL.....	52

8.2.4.	OBSERVACION A LOS INFORMES.....	60
8.2.5.	CUMPLIMIENTO DE LA NORMA	61
8.3.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	64
8.3.1.	ANÁLISIS DE CLIMA MEDIO SECTOR CALETA CURIN	64
8.3.2.	ANÁLISIS DE CLIMA EXTREMAL SECTOR BAHIA VALPARAÍSO	67
8.4.	APÉNDICES.....	72

LISTA DE FIGURAS

<u>TÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
FIGURA 2.1.- PARÁMETROS DE LA OLA DE ROMPIENTE.....	6
FIGURA 2.2.- DESCRIPCIÓN DEL OLAJE SEGÚN SUS PARÁMETROS CARACTERÍSTICO..	7
FIGURA 2.3.- GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE OLAJE.	8
FIGURA 2.4.- SERIE ANUAL Y PARCIAL DE DATOS.....	9
FIGURA 4.1.- DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CÁLCULO DE LA ZPL.	18
FIGURA 6.1.- ANÁLISIS FODA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	24
FIGURA 6.1.- ANÁLISIS FODA DE LA CIRCULAR A-53/004.....	24
FIGURA 8.1.- ONDA SINUSOIDAL ELEMENTAL.	30
FIGURA 8.2.- VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE UNA ONDA SINUSOIDAL.	31
FIGURA 8.3.- DESPLAZAMIENTO EN AGUAS SOMERAS Y PROFUNDAS.	32
FIGURA 8.4.- MOVIMIENTO DE OLAJE EN GRUPOS.....	33
FIGURA 8.5.- PERFILES DE OLAJE UTILIZANDO DIFERENTES TEORÍAS.	33
FIGURA 8.6.- OLAJE REFRACTADO Y DIFRACTADO.	35
FIGURA 8.7.- PLANOS DE MAREA.	36
FIGURA 8.8.- USO DE LA COTA.....	38
FIGURA 8.9.- EJEMPLO PRÁCTICO DEL MÉTODO CEM.	40
FIGURA 8.10.- VELOCIDAD DEL VIENTO SOBRE EL AGUA Y LA TIERRA.	41
FIGURA 8.11.- PERFIL DE PLAYA.	42
FIGURA 8.12.- MODELO DE PERFIL DE EQUILIBRIO.	43
FIGURA 8.13.- TABLAS DEL DS 90/2000.	46
FIGURA 8.14.- DUCTOS CONTROLADOS POR LA AM.	62
FIGURA 8.15.- SECTOR XIV REGIÓN DE LOS RÍOS.....	64
FIGURA 8.16.- OLAJE DE AGUAS PROFUNDAS, DATOS EN BRUTO.	65
FIGURA 8.17.- CALETA CURIN.	65
FIGURA 8.18.- OLAJE DE AGUAS PROFUNDAS, DATOS EN BRUTO.	67
FIGURA 8.19.- PERÍODOS Y ALTURA CLIMA EXTREMO.....	68
FIGURA 8.20.- SECTOR DE MUELLE BARÓN.	69

LISTA DE TABLAS

<u>CONTENIDO</u>	<u>PÁGINA</u>
TABLA 2.1.- DISTRIBUCIONES PARA OLEAJE DE CLIMA MEDIO Y EXTREMO.....	8
TABLA 2.2.- PARÁMETROS DE POSICIÓN.....	10
TABLA 4.1.- INDICADORES DE OCUPACIÓN	17
TABLA 5.1.- VALORES DE HS ENTREGADOS POR EL USUARIO MARÍTIMO.....	19
TABLA 5.2.- PENDIENTE “M” ENTREGADA POR EL USUARIO MARÍTIMO.....	20
TABLA 5.3.- VALORES DE ZPL PARA DIFERENTES DIRECCIONES DE OLEAJE.....	20
TABLA 5.4.- VALORES DE HS ENTREGADOS POR EL USUARIO MARÍTIMO.....	21
TABLA 5.5.- PENDIENTE “M” ENTREGADA POR EL USUARIO MARÍTIMO.....	21
TABLA 5.6.- ZPL EN METROS PARA DIFERENTES DIRECCIONES.....	21
TABLA 6.1.- DIFERENCIAS ENTRE METODOLOGÍAS.....	23
TABLA 8.1.- RESUMEN DE LA TEORÍA LINEAL DEL OLEAJE.....	34
TABLA 8.2.- TIPOS DE ROMPIENTE.....	39
TABLA 8.3.- CUADRO RESUMEN DS 90/2000.....	47
TABLA 8.3.- CUADRO RESUMEN DS 90/2000. PARTE 2.....	48
TABLA 8.4.- PLAZOS CON PROPUESTA.....	50
TABLA 8.5.- ALTURA DE OLA ROMPIENTE.....	51
TABLA 8.6.- TABLA DE CARACTERIZACIÓN COSTERA.....	51
TABLA 8.7.- PLAZOS SIN PROPUESTA.....	52
TABLA 8.8.- SOLICITUD DE ZPL POR EMPRESAS.....	60
TABLA 8.9.- CUMPLIMIENTO POR RUBRO A MARZO DE 2007.....	61
TABLA 8.10.- CUMPLIMIENTO POR TAMAÑO A MARZO 2007	61
TABLA 8.11.- ESTADÍSTICA DE ZPL ANUAL.....	62
TABLA 8.12.- ESTADÍSTICA POR GOBERNACIÓN MARÍTIMA.....	63
TABLA 8.13.- RESUMEN DE CÁLCULOS PARA DIFERENTES DIRECCIONES.....	66
TABLA 8.14.- ALTURA DE OLEAJE SIGNIFICATIVO SOLICITADA POR DIRECTEMAR.....	66
TABLA 8.15.- VALOR DE LA PENDIENTE APLICANDO LA CIRCULAR DE DIRECTEMAR.....	67
TABLA 8.16.- DATOS PARA ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS.....	68
TABLA 8.17.- ALTURA SIGNIFICATIVA ESPECTRAL (HMO).....	69
TABLA 8.18.- VALORES DE LA ZPL CON PENDIENTE DE 0,06.....	70
TABLA 8.19.- ALTURA DE HS APLICANDO LA CIRCULAR DE DIRECTEMAR	70
TABLA 8.20.- PENDIENTE “M” APLICANDO LA CIRCULAR DE DIRECTEMAR.....	71

RESUMEN

Este documento tiene por objetivo general desarrollar un método de cálculo suplementario al indicado por la Autoridad Marítima (AM) para la Zona de Protección Litoral (ZPL), tomando como herramienta las Recomendaciones de Obras Marítimas emitidas por el organismo público español Puertos de Estado y el Coastal Engineering Manual.

La metodología primero delimita el uso del borde costero, precisando zonas de destinación costera (recreacional, económica y administrativa), esto permite establecer qué tipo de distribución de probabilidad continua debe ser usada para calcular la altura de ola significativa (H_s), definiendo si es distribución de Weibull o Gumbel. Los datos obtenidos son usados para propagar el oleaje aplicando la fórmula de Rattanapitikon y Shibayama (2000), donde se obtiene la altura de ola en rompiente (H_r). Con este dato y la pendiente (m) del sector de interés se emplea la fórmula detallada en el Decreto Supremo 90/2000, que dispone calcular la ZPL.

La Metodología se aplicó en dos sectores; bahía de Valparaíso y Caleta Curín, donde se calculó la ZPL con el método dispuesto por la AM y la metodología de este trabajo, obteniendo un resultado más conservador de 17% y 21% respectivamente. Los parámetros de cálculo fueron la pendiente del sector (m) y la altura de ola de rompiente (H_r), que se obtiene de H_s (ola significativa) para los datos de oleaje, los que posteriormente son propagados aplicando la fórmula de Rattanapitikon y Shibayama. El segundo parámetro que corresponde a la pendiente y que tiene una relevancia particularmente importante debido a que define la menor o mayor ZPL, no es parte del análisis de este proyecto.

Se concluye que es posible calcular la ZPL utilizando criterios de uso del borde costero y las distribuciones de probabilidad continua (Gumbel y Weibull), ambos métodos de uso común en este tipo de estudios. La circular A-56/004 que dispone el cálculo no menciona esta modalidad, pero tampoco excluye su uso, por lo que su aplicación es válida para cualquier solicitud ante la AM.