



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 OLEAJE SEGÚN SUS PARÁMETROS CARACTERÍSTICO..	7
FIGURA 2.3.- GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE OLEAJE.	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 OLEAJE EN GRUPOS.....	33
FIGURA 8.5.- PERFILES DE OLEAJE UTILIZANDO DIFERENTES TEORÍAS.	33
FIGURA 8.6.- OLEAJE 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.- OLEAJE DE AGUAS PROFUNDAS, DATOS EN BRUTO.	65
FIGURA 8.17.- CALETA CURIN.	65
FIGURA 8.18.- OLEAJE 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

CONTENIDO	PÁGINA
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_b). 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_b), 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.

ABSTRACT

This document has the general objective to develop a method of supplemental calculation that indicated by the Maritime Authority (AM) for Coastal Protection Zone (ZPL), based in the Recommendations Marine Works issued by the Spanish public body Ports of State and Coastal Engineering Manual.

The methodology first defines the use of the coastline, specifying areas of coastal destination (recreational, economic and administrative), this allows you to set what kind of continuous probability distribution should be used to calculate the significant wave height (H_s), defining if Weibull or Gumbel distribution. The data obtained are used to propagate the wave by applying the formula Rattanapitikon and Shibayama (2000), where the breaking wave height (H_b) is obtained. With this data and the slope (m) of the sector of interest formula detailed in Supreme Decree 90/2000, which states calculate the ZPL is used.

The methodology was applied in two sectors; Valparaíso Bay and small cove Curin, where the ZPL was calculated with the method provided by the AM and methodology of this work, obtaining a more conservative result of 17% and 21% respectively. The calculation parameters were the slope of the sector (m) and wave height of break (H_b), which is obtained, from H_s (significant wave) for wave data, which are then propagated by applying the formula Rattanapitikon and Shibayama. The second parameter corresponding to the slope and has a particularly important significance because it defines the lower or higher ZPL it is not part of the analysis of this project.

It is possible to calculate the ZPL using criteria such as the use of the coastline and continuous probability distributions (Gumbel and Weibull), both methods commonly used in these studies. The normative A-56/004 that provides the calculation does not mention this mode, but does not exclude its use, so its application is valid for any request to the AM.

1. INTRODUCCIÓN

En su trabajo para el XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Jirka & Blenninger (2004) indican que las aguas del borde costero, incluyendo estuarios, pantanos, bosques de manglares y bahías, representan un recurso de enorme valor natural y económico. Estas diversas y productivas áreas, indica Jirka en su trabajo, albergan una multitud de especies importantes para la naturaleza y el hombre, siendo la población costera dependiente fuertemente de estos valores para su sustento, alimentación, salud y recreación.

Un paso importante por parte del Gobierno de Chile para la protección del borde costero y el cumplimiento a los tratados internacionales suscritos (Decretos 295 y 296 del Ministerio de Relaciones Exteriores, resumidos en el punto N°8.2.3.- de la sección Anexos) fue el Decreto Supremo 90/2000 que establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (ver punto N°8.2.1.- de la sección Anexos). Dentro de esta normativa se encuentra el cálculo de la Zona de Protección Litoral (también llamada "ZPL"), la que es solicitada por la Autoridad Marítima a las empresas cuando éstas deben realizar vertidos terrestres a aguas marinas, por lo que la comprensión y la correcta aplicación de esta norma cobra su importancia en la determinación de la zona protegida. Las especificaciones científico técnicas para este cálculo son entregadas por la Autoridad Marítima en la Circular A-56/004 (ver punto N°8.2.2.- de la sección Anexos), documento que fue sustentado por una consultoría externa (Informe Técnico Aquambiente N°1207/00, 2000) por la Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático, la que con estudios realizados en terreno y en diferentes sectores del territorio nacional propuso la fórmula para establecer la ZPL y los criterios que debería tomar la Autoridad Marítima para normar.

Respecto a la circular, esta presenta algunas imprecisiones en relación a sus conceptos, como por ejemplo:

- La Circular asocia solo las características dinámicas, como son el oleaje en rompiente y no considera las características morfodinámicas como lo recomendado por Bernabeu et al (2001), ni las relacionadas con el borde costero.
- De acuerdo a las tablas incluidas en el DS 90/2000, pueden realizarse vertidos a las aguas marinas dentro y fuera de la ZPL. Por lo anterior y existiendo zonas más sensibles que otras desde el punto de vista del vertimiento de efluentes y la dirección seguida por la pluma de dispersión, la Circular no establece un criterio diferente para estas áreas ni detalla en caso que la pluma de dispersión ingrese dentro de la ZPL.
- La Circular menciona que las mediciones e investigaciones se deben ajustar a lo dispuesto en el DS (M) N°711, (1975), no incluyendo la publicación 3201 del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, que establece las especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos.
- La Circular indica que la propuesta debe tener información sobre el oleaje promedio de invierno y verano, con lo que se está asumiendo que el oleaje tiene una distribución normal o gaussiana. Sin embargo, dicha aproximación sólo es válida en aguas relativamente profundas y cuando el oleaje no ha experimentado ningún proceso de rotura como lo demostrado por Ochi (1998).
- La circular establece (letra B número 1, letra a), numeral 4) que el oleaje debe ser refractado (con lo que obtengo la H_b) y posterior a esto se aplica la fórmula citada por

Rattanapitikon y Shibayama (2000), usando la H_0 (altura de ola en aguas profundas)) y L_0 (longitud de olas en aguas profundas) lo que determina la H_b (o sea la rompiente), generando una confusión, puesto que la refracción ya fue realizada al aplicar la fórmula de Rattanapitikon y Shibayama.

- La ZPL nace del concepto definido por el DS 90/2000 que es prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales por lo que el objeto de calcular el ancho de la ZPL es solo para el vertimiento de efluentes terrestres y no tiene una aplicación para usos turísticos, recreacionales o de otra índole como lo indicado por la Circular.
- La fórmula de ZPL tiene dos variables; H_b (oleaje de rompiente) que es directamente proporcional al valor de la ZPL y m (pendiente) que es inversamente proporcional a la ZPL. La circular afirma que el valor más alto de la H_b es la condición más desfavorable, no considerando que el sector donde se calcula la H_b , tenga diferentes pendientes lo que incida en un valor mayor o menor de ZPL. Lo anterior deja la opción de establecer una ZPL arbitraria.
- Para la H_b se emplea la fórmula propuesta por Rattanapitikon y Shibayama (2000), utilizando la H_0 y la L_0 . Para denominar el oleaje y la longitud de onda, la Circular emplea una nomenclatura poco precisa, respecto de los datos que se usan, indicando como H_s a la “Altura de ola en metros”, no definiendo a qué tipo de ola se refiere (ola en aguas profundas, ola significativa u ola máxima), la misma observación para la longitud de onda.
- La Circular indica que las pendientes superiores a 0,1 y los valores de oleaje de rompiente inferiores a 0,5 metros, restringen el uso de la ecuación, pero no son motivo de rechazo de la propuesta de ZPL, queda entonces la pregunta: ¿Qué criterio es usado cuando se autoriza una ZPL donde el oleaje no permite dilución? (H_b inferior a 0,5 metros). La Circular detalla que el cálculo de la ZPL se realiza considerando la capacidad de asimilación y la dinámica de los cuerpos receptores, donde el cálculo del oleaje de rompiente y la pendiente es fundamental.

El desarrollo de la tesis comienza en el Capítulo 2 exponiendo un marco teórico para introducir al lector en conceptos de hidráulica marítima y análisis medio y extremal de oleaje, profundizando estos temas en el Anexo 8.1. de este trabajo. Los objetivos detallados en el Capítulo 3 dan el marco para comenzar a desarrollar la metodología que se expone en el Capítulo 4, definiendo el esquema metodológico que es aplicado en el Capítulo 5 donde son analizados los resultados luego de aplicar la metodología, detallando en el Capítulo 6 las conclusiones y sugerencias.

Este estudio propone abordar técnicamente aspectos que en la Circular no están detallados, como la aplicación de factores para casos especiales, análisis de oleaje aplicando distribuciones continuas y la destinación del borde costero como base para el cálculo de la H_b , junto con esto comparar el cálculo resuelto por la Autoridad Marítima y el propuesto en este trabajo en la costa de la Región de Valparaíso y la Región de los Ríos. Lo propuesto en este trabajo viene a ser un complemento a la metodología definida por la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (en adelante DIRECTEMAR o Autoridad Marítima).

Es de suma importancia incluir en la Circular aspectos de detalles como los indicados en este trabajo de título, ya que permiten establecer claramente la fuente y los usos de los datos, apoyado por referentes destacados en el ámbito científico de la Ingeniería como Goda, Burcharth, Liu, entre otros y publicaciones como las Recomendaciones de Obras

Marítimas Españolas ROM y los estudios realizados por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria, dando con esto a la Circular la real calidad de disposiciones y procedimientos Científico - Técnicos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. HIDRÁULICA MARÍTIMA

La hidráulica dentro del contexto de la mecánica de fluidos, es una rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos y sus propiedades, que para esta definición, se considera el agua de mar como fluido. Este fluido se asume que tiene las siguientes características (Winckler, 2006):

- De régimen permanente o intermitente: Se considera la velocidad de las partículas del fluido, ya sea esta velocidad constante o no con respecto al tiempo.
- Compresible o incompresible: Se tiene en cuenta a la densidad, de forma que sea fácilmente compresible. Los líquidos tienen densidad prácticamente constante en el tiempo.
- Viscoso o no viscoso: Se llama viscoso a aquel fluido que no se desliza con facilidad, disipando energía. Viscosidad cero significa que el fluido fluye con total facilidad sin que haya disipación de energía. Los fluidos no viscosos incompresibles se denominan fluidos ideales, que es una propiedad ligada a la resistencia de un fluido al deformarse continuamente cuando es sometido a un esfuerzo de corte.
- Rotacional o irrotacional: Cuando la partícula o parte del fluido presenta movimientos de rotación y traslación. Irrotacional es cuando el fluido no cumple las características anteriores.

Una descripción más científica técnica de este tópico está detallada en el Capítulo 8 Anexos.

2.1.1. HIDRODINÁMICA EN LA ZONA DE ROMPIENTES

La zona de rompientes de las playas es uno de los medios con dinámica más activa de los existentes en la naturaleza (Winckler, 2006). En esta estrecha franja de la zona costera, la energía del oleaje se disipa parcialmente en calor a través de la turbulencia y se transforma en:

- Ondas cortas y largas que son parcialmente reflejadas de nuevo hacia el mar.
- Variaciones del nivel medio del mar.
- Corrientes de todo tipo, que colaboran, junto con los movimientos oscilatorios y turbulentos, en el transporte neto del sedimento.

Aquí es donde la teoría lineal del oleaje (ver punto N°8.1.1 de la sección Anexos) deja de ser una buena aproximación para el perfil, por lo que es necesario acudir a teorías más adecuadas para profundidades reducidas como es el caso de la Teoría Cnoidal o de onda solitaria en oleaje regular o las teorías de ondas largas no lineales y dispersivas como Boussinesq, en oleaje irregular.

2.1.2. ROTURA DE OLAJE

Cuando el tren de ondas se propaga en profundidades decrecientes, el aumento del peralte y la disminución de la celeridad de la onda hacen que el perfil de la misma vaya cambiando (Sierra y Lopresti, 1998). Cuando el peralte sobrepasa un determinado valor, la onda se hace inestable, y deja de mantener la forma, las velocidades en la cresta se aproximan a la celeridad de la onda y producto de la presión posterior a la masa de agua, esta comienza a caer en dirección del oleaje. Un detalle más técnico de este fenómeno y su descripción esta detallado en el Capítulo 8 Anexo de este trabajo.

Si la velocidad de las partículas en la parte superior de la cresta supera la celeridad de la onda, las partículas escapan de la cresta, lanzándose hacia delante, produciéndose la rotura de la onda, atrapando aire en el túnel formado por el agua y provocando una gran turbulencia. Al cabo de una determinada distancia, denominada zona de rotura, el proceso de rotura se normaliza y la onda toma la forma de un resalto hidráulico móvil (denominado también bore), con un frente casi vertical turbulento y una parte trasera casi horizontal dominada por la turbulencia.

Esta zona de rotura normalizada, graficada en la Figura 2.1.- se denomina zona de rompientes. Si la profundidad continúa disminuyendo hacia la costa, esta zona de rotura se mantiene hasta la costa. En este caso, la altura de ola disminuye gradualmente con la profundidad. Si la rotura se ha producido sobre una barra y posteriormente la profundidad aumenta de nuevo, el proceso de rotura puede detenerse, recomponiéndose el movimiento oscilatorio. En este caso se producirá una segunda rotura al disminuir de nuevo la profundidad en la propagación hacia la costa (ver punto N°8.1.2.- de la sección Anexos). El punto de rotura en este caso oscilará transversalmente, dependiendo de las características de las diferentes olas.

La altura de ola en rompiente (H_b), es el fenómeno asociado al oleaje más importante desde el punto de vista de la Ingeniería de Costas y dinámica de playas. Existe un extenso número de criterios de rotura obtenidos de forma teórica y mediante modelación física, siendo los de mayor relevancia para actuaciones prácticas en el campo de la ingeniería marítima definidos por Sierra & Lopresti (1998) y son; la rotura como función exclusiva de la profundidad o del peralte de la onda y la rotura como función de la pendiente del fondo (ver punto N°8.1.2.1- de la sección Anexos).

Para H_b como función exclusiva del peralte de la onda (para oleaje en aguas profundas), un valor de 0,142 ó $1/7$ es utilizado como máxima relación estable entre la altura de la ola y su longitud de onda. Teniendo en cuenta que no considera la pendiente, por lo que su validez es solo para ondas sobre fondos horizontales, Michell (1893) citado por Rattanapitikon & Shibayama (2000), propuso el siguiente criterio:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7}$$

Ec. 2.1.-

De acuerdo a la Figura 2.1.-, que grafica teóricamente el H_b , y lo establecido por McCowan (1894) citado por Rattanapitikon & Shibayama (2000), la rotura como función exclusiva de la profundidad tiene la siguiente relación:

$$\frac{H_b}{h_b} = A \text{ ó } \frac{d_b}{H_b} = 1,28$$

Ec. 2.2.-

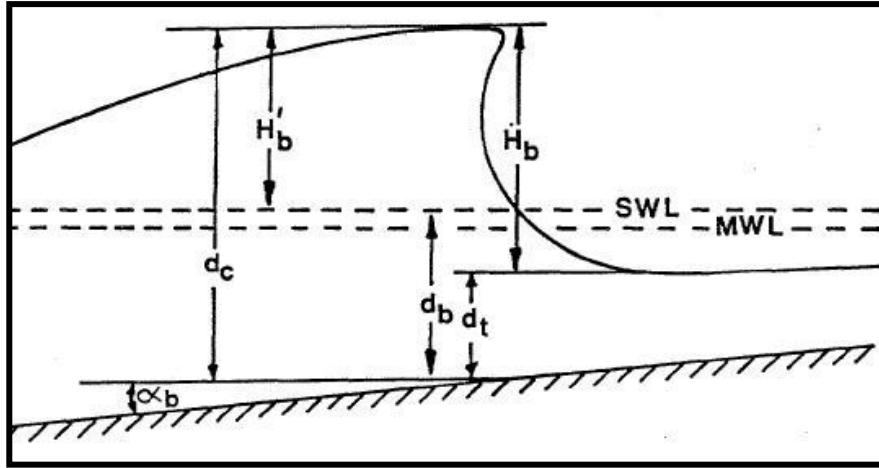


Figura 2.1.- Parámetros de la ola de rompiente.

Fuente: Balsillie, 1983.

Otra fórmula utilizada es la de Miche (1944) citada por Balsillie (1983), que presenta la forma:

$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = \frac{1}{7} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

Ec. 2.3.-

Para H_b como función de la pendiente del fondo Weggel (1972), citado por Rattanapitikon & Shibayama (2000), tiene en cuenta el efecto de la pendiente del fondo y cubre un rango teórico de $1/50 < m < 1/5$. Su expresión es:

$$\frac{H}{h} = b - a \frac{H}{gT^2}$$

Ec. 2.4.-

Donde:

$$a = 43,8(1 - e^{-19m}) \quad y \quad b = \frac{1,56}{1 + e^{-19,5m}}$$

(m es la pendiente del fondo).

Dentro de este grupo, cabe mencionar la aproximación de Goda (1975), citado por Rattanapitikon & Shibayama (2000), que a partir de un gran número de ensayos, en modelo físico, elaboró un ábaco en el que, para distintas pendientes del fondo, se encuentran relacionados los cocientes H_b/L_0 y H_b/h_b , pudiéndose determinar directamente la altura de H_b a la profundidad deseada. Otra formulación similar es la desarrollada por Ostendorf & Madsen (1979), citada por Rattanapitikon & Shibayama (2000), que proponen dos ecuaciones aproximadas en función de la pendiente y modificando la Ec. 2.3.-:

$$\frac{H_B}{L_B} = 0,14 \tanh[(1,3)2\pi \leq h_B/L_B] \quad \text{si} \quad \tan \beta \geq 0,1$$

$$\frac{H_B}{L_B} = 0,14 \tanh[(0,8 + 5 \tan \beta)2\pi h_b/L_B] \quad \text{si} \quad \tan \beta \leq 0,1$$

Ec. 2.5.-

Y por último, está la expresión desarrollada por Sunamura (1980) citada por Rattanapitikon & Shibayama (2000);

$$H_b = 1.1h_b \left(\frac{m}{\sqrt{\frac{H_o}{L_o}}} \right)^{\frac{1}{6}}$$

Ec. 2.6.-

La Directiva emitida por la AM para determinar la ZPL, usa la Ecuación 8.12 definida por Rattanapitikon y Shibayama para la propagación del oleaje, por lo que el detalle de su trabajo es importante para establecer el origen de la formulación de la ZPL.

2.2. ANÁLISIS MEDIO Y EXTREMAL DEL OLAJE

2.2.1. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL RÉGIMEN MEDIO

Las bases para el desarrollo teórico de este análisis son las descritas por Martín & Martínez (1990) y Liu & Frigaard (1999). Para la descripción a largo término del oleaje, este se puede analizar como regular o irregular, y a la vez el oleaje irregular se subdivide en estadístico y espectral, como lo muestra la Figura 2.2.-.

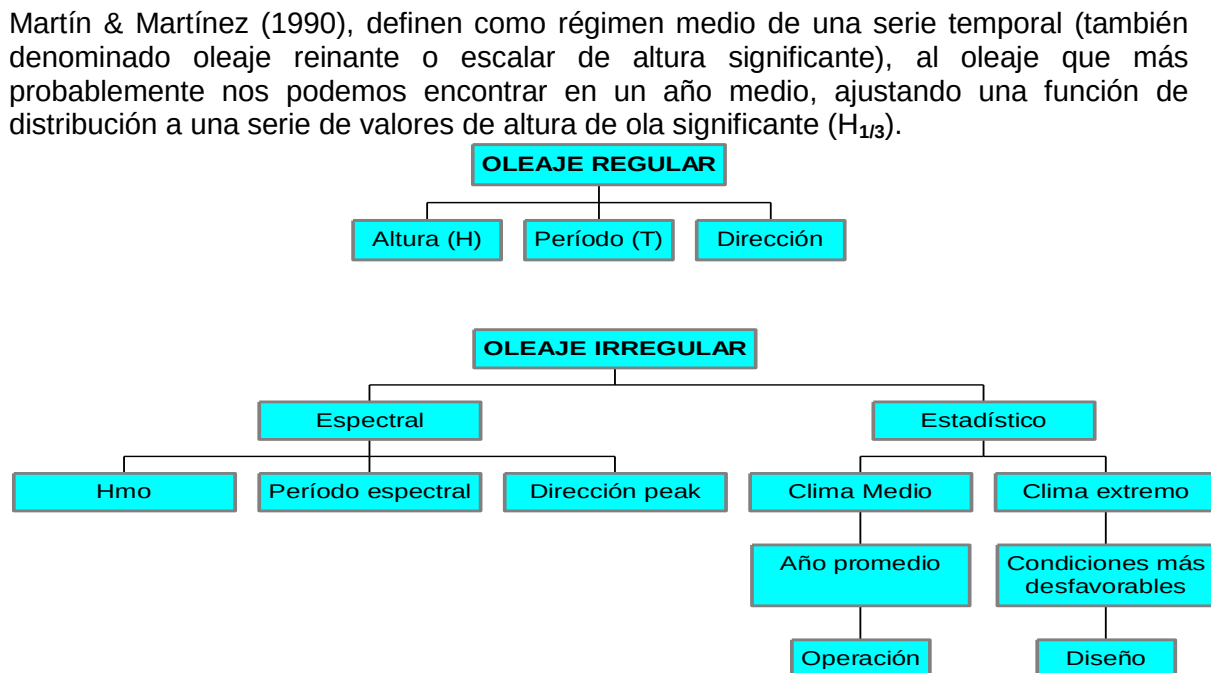


Figura 2.2.- Descripción del oleaje según sus parámetros característico.

Fuente: Elaboración propia.

Si los datos se representan en forma de histograma no acumulado, como lo muestra la Figura 2.3.- y aplicando lo definido por Martín & Martínez (1990), el régimen medio de altura de ola vendría a ser aquella columna en la que se contiene la mayor probabilidad (eje y) que ese valor de altura de ola (eje x) no sea excedido.

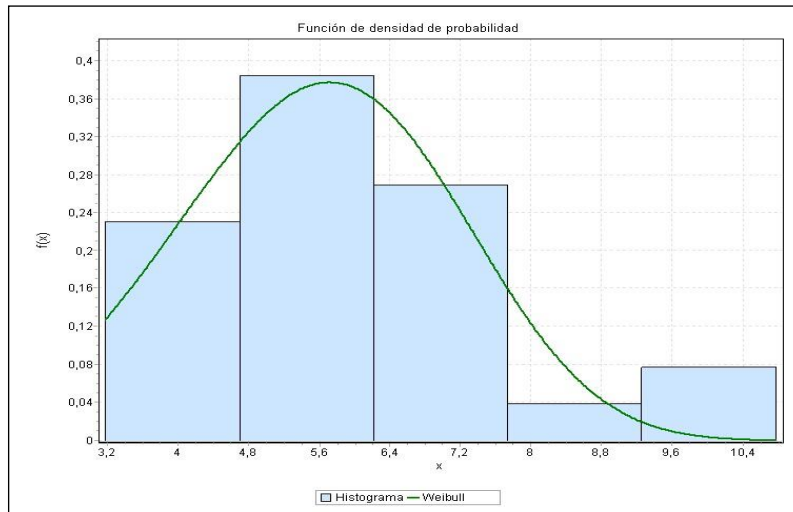


Figura 2.3.- Gráfico de distribución de oleaje.

Fuente: Elaboración propia.

El régimen medio se describe como lo indica Martín & Martínez (1990), mediante una distribución teórica que ajusta dicha zona media o central del histograma. Es decir no todos los datos participan en el proceso de estimación de los parámetros de la distribución teórica, solo lo hacen aquellos datos cuyos valores de presentación caen en la zona media del histograma.

TABLA 2.1.- DISTRIBUCIONES PARA OLAJE DE CLIMA MEDIO Y EXTREMO.

Fuente: Elaboración propia.

Distribución	Función de Distribución	Función de Densidad	Parámetros
Log normal	$\Phi\left(\frac{\ln(x) - B}{A}\right)$	$\frac{1}{xB\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - A}{B}\right)^2\right]$	A, B
Exponencial	$1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)}$	$B \exp[-B(x - A)]$	A, B
Weibull	$1 - e^{-\left(\frac{H-A}{B}\right)^C}$	$\frac{C}{B-A} \left(\frac{x-A}{B-A}\right)^{C-1} \exp\left[-\left(\frac{x-A}{B-A}\right)^C\right]$	A, B, C
Gumbel	$1 - e^{-e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)}}$	$\frac{1}{B} \exp\left\{-\left(\frac{x-A}{B}\right) - \exp\left[-\left(\frac{x-A}{B}\right)\right]\right\}$	A, B
Frechet	$e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k}$	$\frac{C}{B} \left(\frac{B}{x}\right)^{C+1} \exp\left[-\left(\frac{B}{x}\right)^C\right]$	A, B, C

Liu & Frigaard (1999) sugiere que las funciones de distribución que describen de manera adecuada el régimen medio de la variable de altura de ola significativa (en adelante $H_{1/3}$) corresponden a las detalladas en la Tabla 2.1.-; funciones de

distribución Log-normal para oleajes tipo Swell, Exponencial para oleajes tipo Sea y Gumbel y Weibull para cualquier oleaje.

Ajustar los datos a una distribución teórica, en vez de utilizar el histograma permite obtener una expresión compacta que suaviza e interpola la información proporcionada por el histograma. El régimen medio está directamente relacionado con lo que se denominan condiciones medias de operatividad, es decir, caracteriza el comportamiento probabilístico del oleaje en el que por término medio se va a desenvolver una determinada actividad influida por uno de estos agentes. Para proceder al cálculo, se considera una muestra del tamaño y calidad estadística, se distribuyen los datos por rangos de direcciones más significativos y se agrupan en intervalos regulares, normalmente de 0,5 m, se calcula su frecuencia, frecuencia acumulada y probabilidad de no-excedencia. El método descrito por Martín & Martínez (1990) y Liu & Frigaard (1999), indica la forma de realizar el cálculo.

2.2.2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL RÉGIMEN EXTREMAL

La descripción estadística del oleaje extremal reproduce el comportamiento del fenómeno en las condiciones de mayor intensidad, o dominantes. Este régimen según Martín & Martínez (1990), corresponde a la función de distribución de los valores extremos de una determinada variable que expresa la probabilidad de que cierto valor no sea superado, o minorado, en un período de tiempo prefijado. Liu & Frigaard (1999), indica que el estudio de un fenómeno en sus condiciones extremas requiere de métodos estadísticos específicamente diseñados para este fin, puesto que la estadística ordinaria se centra en los valores medios y la dispersión respecto a estos últimos. Los métodos utilizados en el análisis extremal de oleaje se clasifican en el método de la distribución inicial o muestra total y el método de los valores extremos.

Para el caso de aplicar esta metodología, se usa una estadística de larga data, de acuerdo a lo sugerido por Liu & Frigaard (1999), eligiendo el método de valores extremos, los que se grafican como lo indica la Figura 2.4.-, entre los cuales está el método de valores sobre un umbral y el método de los máximos anuales.

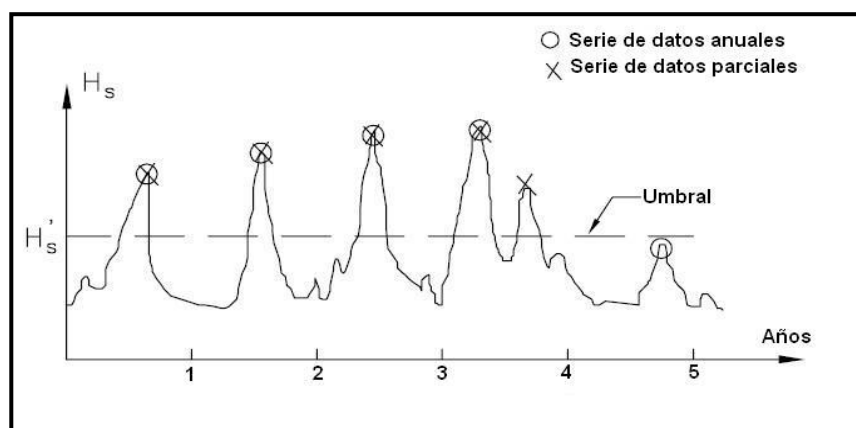


Figura 2.4.- Serie anual y parcial de datos.

Fuente: Liu & Frigaard, 1999.

El método de máximos anuales tiene la desventaja de que al tomar un solo valor (máximo) por año, se desprecian tormentas de gran relevancia en años de dureza climática y la estimación de valores extremos puede ser poco conservadora. Por lo tanto, se utiliza el método de valores sobre un umbral, considerando para ello todas aquellas tormentas cuya altura significativa espectral sea mayor a un umbral definido.

TABLA 2.2.- PARÁMETROS DE POSICIÓN.
Fuente: Winckler, 2006.

Nombre	Función	Distribución
Blom	$Fi = 1 - \frac{i - 3/8}{n + 1/4}$	Normal
Gringorten	$Fi = 1 - \frac{i - 0,44}{n + 0,12}$	Gumbel
Petrauskas	$Fi = 1 - \frac{i - 0,3 - \frac{0,18}{C}}{n + 0,21 + \frac{0,32}{C}}$	Weibull
Goda	$Fi = 1 - \frac{i - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{C}}}{n + 0,20 + \frac{0,23}{\sqrt{C}}}$	Weibull

Para extrapolar a valores extremos se toma lo siguiente;

- Las tormentas con una duración mínima de 24 horas.
- La distancia temporal entre eventos independientes es de 0 horas.
- Las tormentas se presentan mediante sus parámetros representativos de duración, altura del momento cero del espectro de oleaje (indicada como H_{m0}), T_z , (período pico del espectro de olas, que corresponde al inverso de la frecuencia de mayor energía encontrada y se mide en segundos), dirección (de incidencia del oleaje respecto al norte geográfico, en sentido horario y se mide en grados), fecha del inicio y término de la tormenta e instante de la ocurrencia de la máxima altura para cada tormenta.
- Para oleaje no afectado por el fondo, el parámetro espectral H_{m0} es equivalente al parámetro estadístico de altura significativa (H_s) y se denomina altura significativa espectral en metros.

Los datos iniciales de ola son generalmente obtenidos ya sea a partir de mediciones directas o de hindcasting (definido como un análisis ulterior de datos) basado en la información meteorológica. La mayoría de las mediciones cubren un lapso bastante corto de tiempo, menos de 10 años en el caso de mediciones directas y menos de 40 años en el caso de hindcasting. Otra recomendación que entrega Liu & Frigaard (1999), es que los datos deben cumplir ciertas condiciones como la independencia o sea que los datos de olas extremas son diferentes de las tormentas, homogeneidad o que los datos extremos pertenecen a la misma población estadística y por último estacionario o que existen variaciones en el promedio de décadas en décadas o incluso de más largo período de tiempo, siendo preciso determinar una climatología de largo término.

De las recomendaciones detalladas por Liu & Frigaard (1999) el cálculo de H_b , debe tener una base de datos de al menos 10 años de mediciones directas y menos de 40

años por hindcasting. Posterior a esto, se elige una de las distribuciones descritas en la Tabla 2.1.-, que para este trabajo, será la distribución de Gumbel. Al igual que para el análisis de clima medio, los datos deben ser ajustados, para lo cual existen cuatro métodos; de máxima verosimilitud, de los momentos muestrales, de mínimos cuadrados y el método gráfico visual. Para este trabajo, al igual que para el análisis de clima medio, el procedimiento será el de los mínimos cuadrados.

Una vez obtenidos los datos H_{mo} , se ordenan por dirección (puntos cardinales notables) y en orden descendente. Cada dirección se considera parte de la población total de datos, por lo que para calcular la probabilidad de no excedencia y corregir las diferencias entre la población y la muestra, se aplica el coeficiente de Gringorten, descrito en la Tabla 3.2.-, que se ajusta a la distribución Gumbel. Posterior a esto, se determina la altura del oleaje H_{mo} respecto a su periodo de retorno T . La ecuación que se usa en la planilla electrónica es;

$$Y = -\ln(-\ln F) = Gumbel$$

Ec.- 2.8.-

2.2.3. PERÍODO DE RETORNO

El período de retorno o también llamado de recurrencia, que generalmente se expresa en años, Liu & Frigaard (1999) lo definen como el periodo que se espera suceda un evento que, en este caso, es una determinada altura de ola, siendo la idea de este concepto obtener un valor, por métodos estadísticos, que evite dimensionar de manera excesiva un cálculo. Si las distribuciones son escritas como:

$$x = A(-\ln(1-F))^{\frac{1}{C}} + B = Weibull$$

Ec.- 2.9.-

$$x = A(-\ln(-\ln(F))) + B = Gumbel$$

Ec.- 2.10.-

Siendo la intensidad de la muestra λ :

$$\lambda = \frac{\text{número de datos extremos}}{\text{número de años observados}}$$

Ec.- 2.11.-

El periodo de retorno T , definido como:

$$T = \frac{1}{\lambda(1-F)}$$

Ec.- 2.12.-

Al calcular el periodo de retorno en función de la intensidad de la muestra y la distribución de Weibull o Gumbel, se obtiene (x es ahora la altura del oleaje medio correspondiente al período de retorno T y por tanto se reemplaza por x^T):

$$x^T = A\left(-\ln\left(\frac{1}{\lambda T}\right)\right)^{\frac{1}{C}} + B = Weibull$$

Ec.- 2.13.-

$$x^T = A\left(-\ln(-\ln(1 - \frac{1}{\lambda T}))\right) + B = Gumbel$$

Ec.- 2.14.-

Donde A, B y C son los parámetros de distribución ajustados. Otra forma de calcular el periodo de retorno y la probabilidad de excedencia es: Si el número total de observaciones es n, el número de observaciones donde la altura de ola significativa sea mayor que x es:

$$k = n(1 - F(x)) = t\lambda(1 - F(x))$$

Ec.- 2.15.-

Donde:

X = Altura representativa de ola, que es una variable aleatoria.
 F (x) = Función de distribución acumulada de X, F (x) = Probabilidad (X ≤ x).
 t = Número de años de observación de X.
 n = Número de observaciones en un período t.
 λ = Muestra la intensidad, λ = n / t.

El periodo de retorno T(x) se define como;

$$T = t \Big|_{k=1} = \frac{1}{\lambda(1 - F(x))}$$

Ec.- 2.16.-

Es decir, en promedio, x será excedido una vez cada T años. La probabilidad de excedencia indica que por término medio, x será superado una vez en T años y la probabilidad de excedencia de x en 1 año es 1 / T, por tanto:

Si la probabilidad de no-excedencia de x es F(x)

F(x) en 1 año es :	Probabilidad (X ≤ x) =	1 - 1/T
F(x) en 2 años es :	Probabilidad (X ≤ x) =	(1-1/T) ²
F(x) en L años es :	Probabilidad (X ≤ x) =	(1-1/T) ^L

O sea, la probabilidad de excedencia de x dentro de una esperanza de vida de L años es:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L$$

Ec.- 2.17.-

3. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto ha sido desarrollar una metodología de cálculo para establecer una zona de protección litoral apropiada a las características propias del sector correspondiente, complementando la actual metodología.

Para realizar esta tarea, se contemplan los siguientes objetivos específicos:

- Establecer un criterio para definir el uso del borde costero y asociarlo a la variable de oleaje para el cálculo de la ZPL.
- Comparar el cálculo de la ZPL entre lo dispuesto por Directemar y lo propuesto por la metodología.
- Definir un método para el cálculo de la ola de rompiente (H_b) en zonas expuestas.
- Analizar cuáles son las fortalezas y debilidades de la metodología planteada respecto a lo que está actualmente en uso.

4. MATERIALES Y MÉTODOS PARA DETERMINAR LA ZPL

Establecer una caracterización y prever el oleaje en aguas profundas para luego propagarlo a la costa es la base de esta metodología, por lo que el análisis estadístico del oleaje pretende dar un sustento técnico a la determinación de la ola de rompiente (H_b), indicada en la fórmula para calcular la ZPL. La pendiente es inversamente proporcional al cálculo de la ZPL, por lo que su análisis es un tema relevante para la proposición de la ZPL, sin embargo abordar la problemática de la pendiente implicaría analizar fenómenos como deriva litoral, morfología costera, corrientes litorales, los que están fuera del alcance de este trabajo.

Como lo indica Martin & Martínez (1990) y Liu & Frigaard (1990), el oleaje irregular puede ser analizado de manera estadística o espectral, a su vez, el estudio estadístico se aplica generalmente para calcular oleaje operacional y de diseño. Esta metodología utiliza el estudio estadístico, como el señalado anteriormente y lo usa como método en la búsqueda del oleaje característico, aplicando la distribución Gumbel para clima extremo y la distribución Weibull para clima medio, recomendado por Liu & Frigaard (1999) y detallada en el marco teórico, punto N°2.2.-

Para la propagación del oleaje y el establecimiento de la H_b , la AM dispuso la Ec. 8.12.-propuesta por R&S:

$$H_b = (10,02m^3 - 7,46m^2 + 1,32m + 0,55) * H_s \left(\frac{H_s}{L_o} \right)^{-\frac{1}{5}}$$

Ec.- 8.12.-

El estudio que derivó en la ecuación propuesta tuvo su objetivo en investigar la fórmula más fiable de predicción de la altura de rompiente desde una amplia gama de condiciones hidráulicas. Se aplicaron 24 fórmulas ya existentes para su cálculo, utilizando datos publicados por diferentes laboratorios (574 casos recogidos a partir de 24 fuentes). Se determinó que la mayoría de las fórmulas para predecir la rompiente se aplica sobre pendientes (m) suaves ($0 < m \leq 0,07$), pero la predicción no es satisfactoria para pendientes inclinadas ($0,1 < m \leq 0,44$). Fueron seleccionadas y modificadas tres fórmulas, mediante la inclusión de la nueva forma de la pendiente con lo que estas nuevas fórmulas predicen un espectro de olas de rompiente considerando en ellas el efecto del talud.

4.1. OBTENCIÓN DE DATOS

La metodología utilizó datos obtenidos por instrumentos, considerando la publicación SHOA 3201, para efectos de la validez de la información. La base de datos en aguas profundas, fue calculada utilizando el modelo de oleaje tipo hindcasting de 3° generación denominado Wave Watch III, creado por la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos (NOAA).

A modo de complemento a la obtención de información, existen datos de empresas privadas y públicas, siendo la Dirección Meteorológica de Chile la que entrega los informes meteorológicos que contienen los vientos máximos diarios en periodos de tiempo, registrados por sus estaciones a lo largo del país. Esta información puede ser convertida a datos de oleaje siguiendo las instrucciones indicadas en el punto 8.1.2.2.- de la sección Anexos. Esta información puede ser adquirida con certificación de origen, lo que permite trabajar con información fidedigna. En caso contrario, existen páginas en Internet que contienen datos de oleaje. Cualquiera sea el dato se deben hacer los ajustes de verificación respecto a los periodos o valores fuera del rango aceptable para el oleaje evaluado. Para el desarrollo de la metodología se utilizaron datos del proyecto de ingeniería costera "Calibration of Wave Spectra in Two Locations off the Chilean Coast", realizado por Fugro OCEANOR para HidroChile S. A. y el Grupo de Ingeniería Oceánica de la Universidad de Valparaíso, correspondiente a 20 años de parámetros espectrales en forma de series de tiempo cada 3 horas en las coordenadas longitud 74,5 S, latitud 39 S.

4.2. ESQUEMA METODOLÓGICO

Esta metodología comenzó utilizando los datos instrumentales de la zona a estudiar, necesarios para caracterizar el oleaje significativo (H_s o $H_{1/3}$, T_z , Dirección y tiempo de ocurrencia del fenómeno) y estableció la zona aledaña a la zona de estudio, donde se fijó el ancho de la ZPL. Al observar la Tabla 4.1.- "Indicadores de ocupación", esta caracteriza las zonas aledañas a los proyectos. Si la zona es para uso de personas, el análisis de oleaje será de clima extremal, aplicando la distribución de Gumbel para un régimen de oleaje de 10 o 20 años. Si es una zona de uso económico o administrativo, se calculará un oleaje de clima medio y bastará con el uso de datos provenientes de un año típico para calcular H_s , con la distribución de Weibull. Uno de los objetivos planteados en este trabajo, es el establecimiento de un criterio para definir el uso del borde costero y asociarlo a la variable de oleaje aplicado en el cálculo de la ZPL, por lo que esta tarea se ve resuelta con los indicadores de ocupación que establecen la ocupación cuantificada y asociada a su probabilidad de excedencia de oleaje, determinando con esto la H_b , siendo la base de este trabajo el estudio realizado por Perera S et al (2005).

Para una mejor comprensión de la tabla, se definen los términos utilizados:

a) Zona Aledaña: Se entiende como zona aledaña al proyecto aquel espacio físico de mar o costa de mar que está directamente afectado por el proyecto de ZPL, respecto a su incidencia en la evacuación de efluentes terrestres. No se define una longitud de esta zona ya que para cada proyecto en particular se aplica un criterio sobre la base de variables de corrientes, oleaje, vientos y toda aquella que pueda evaluar el profesional de ciencias del mar que realizará el estudio y el informe final de la ZPL.

b) Indicador: Corresponde a las actividades a realizar en el sector del proyecto o la zona aledaña a este. También puede denominarse sector colindante y al igual que lo indicado en la letra a) del párrafo anterior, se podría incluir además aquel sector que tiene una alta probabilidad de ser afectado por la pluma de dispersión.

c) Umbral de ocupación: Corresponde al porcentaje de uso en relación con el indicador asociado. Este umbral solo es válido si el sector cumple la condición del indicador; que sea zona de uso de personas, recursos económicos o administrativos.

d) Factor de aplicación: Comprende los conceptos de Período de retorno y probabilidad de excedencia que es un indicador estadístico el cual asocia la ocurrencia del suceso, en este caso la altura de ola significativa. Los valores allí expresados, reflejan la estimación en cuanto a los usos y el grado de ocurrencia del fenómeno de oleaje.

e) Fundamento: Es la explicación por lo que se usa el indicador. Este fundamento es el que se utiliza para desarrollar los cálculos de oleaje de clima medio o extremal.

f) Zonas de Uso: Se define como la agrupación de sectores que por sus características de uso pueden tener mayor o menor sensibilidad ambiental respecto a vertimientos de efluentes.

Siguiendo la línea metodológica detallada en el flujograma de la Figura 4.1.- y luego de establecida la zona de uso, se aplicó el análisis estadístico al oleaje de aguas profundas, obteniendo una serie de parámetros representativos de los estados de mar y que luego de introducirlos en las funciones de distribución de probabilidad continua de Gumbel o Weibull, permitió la definición probabilística del parámetro y recompuso, mediante simulación, una muestra temporal del oleaje. El procedimiento para calcular H_s se detalla en el Capítulo 2 Marco Teórico, punto 2.2.1 y 2.2.2. y en el apéndice de este trabajo.

Obtenida la probabilidad de excedencia con el oleaje significativo (H_s), esta se propagó utilizando la Ecuación 8.12 que permite el cálculo del valor de la altura de oleaje en rompiente (H_b), lo que, por norma, debe ser un valor mayor que 0,5 metros. En cuanto a la pendiente (m), que no es el alcance de este trabajo, debe ser obtenida por mediciones directas, siendo una buena referencia el lugar de fondeo del emisario, la que por norma no debe ser mayor a 0,01. Una vez obtenidos los valores de H_s y m , se aplicó la Ecuación 8.11.-, detallada en el Decreto Supremo 90.

TABLA 4.1.- INDICADORES DE OCUPACIÓN
Fuente: Elaboración propia.

Indicador	Umbral de ocupación	Factor de aplicación	Fundamento
Zona de uso Personas			
Zona de baño (con máxima capacidad de carga de la playa) y conservación ecológica.	Menor a 95% y mayor o igual que 80% de ocupación. Declarada por la AM como zona de conservación o zona protegida.	Período de retorno 100 años	Se aplica el análisis de clima extremal buscando una ola de mayor altura, con un periodo de retorno determinado.
Zona de deportes náuticos y plantas desalinizadoras.	Menor que 80% y mayor o igual que 70% de ocupación.	Periodo de retorno 50 años	
Zona de actividades recreativas y de bajo uso para el baño (Corresponde a la mínima capacidad de carga de la playa).	Menor a 70% de ocupación.	Periodo de retorno 20 años	
Zona de recursos económicos			
Zona de pesca artesanal	Que exista una o más caletas de pescadores en la zona aledaña al proyecto	Probabilidad de no excedencia 80%	Se aplica el análisis de clima medio.
Zona de pesca deportiva.	Declarada por la Autoridad competente.		
Zona Turística o Histórica	A lo menos una zona turística o histórica colindante al proyecto	Probabilidad de no excedencia de 75%	
Zona de recursos Administrativos			
Zona de fondeo de embarcaciones	Delimitado por la autoridad marítima	Probabilidad de no excedencia de 65%	Se aplica el análisis de clima medio.
Zona de refugio	Indicado en el estudio de maniobra del sector		
Zona de tráfico marítimo	Indicado en el estudio de maniobra del sector		
Zona Industrial	Zona indicada en el plano regulador de la ciudad.		

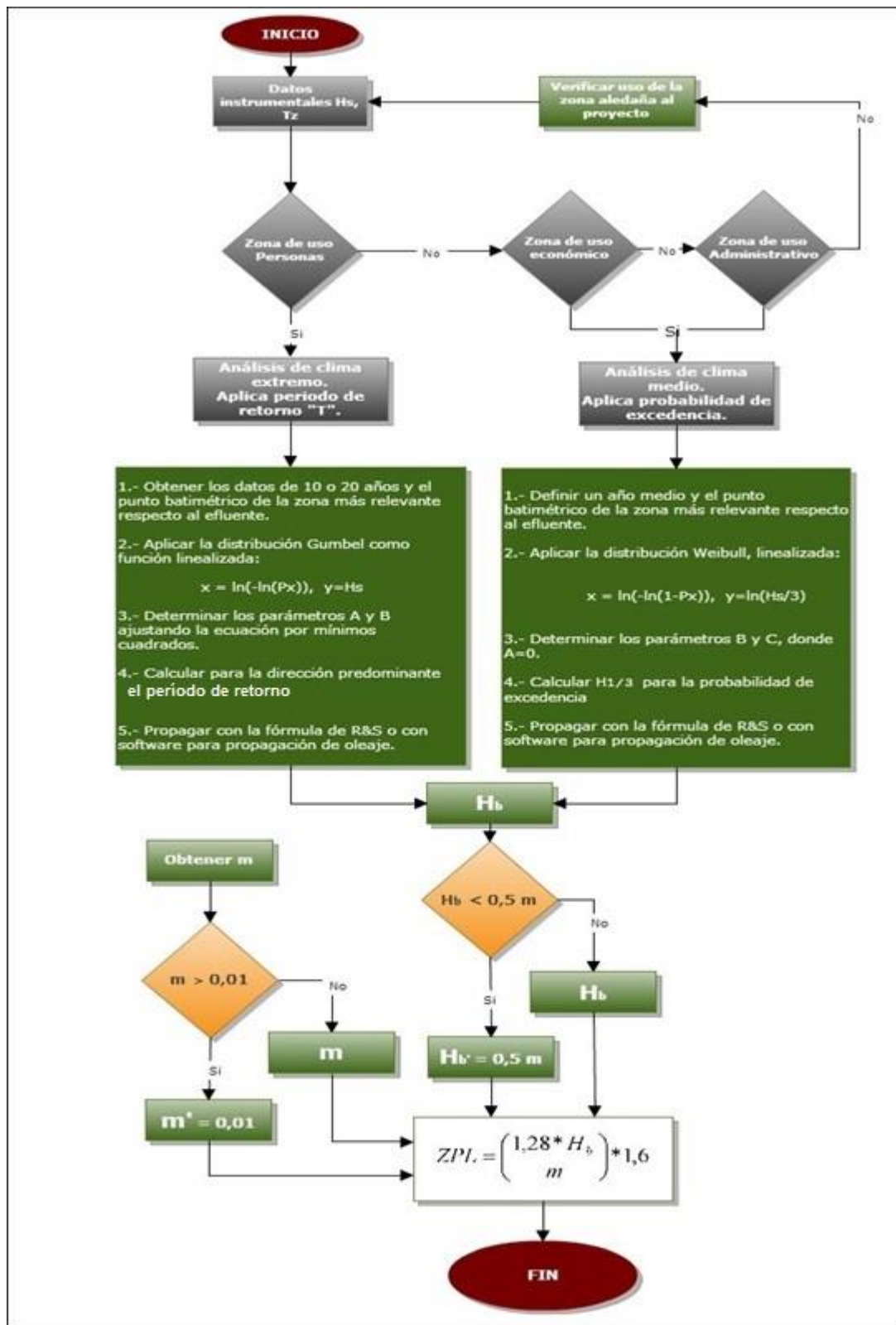


Figura 4.1.- Diagrama de Flujo para el cálculo de la ZPL.

Fuente: Elaboración propia.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para analizar los resultados obtenidos al aplicar esta metodología complementaria, se desarrollaron dos ejemplos de cálculos con datos reales, estableciendo dos zonas en particular, las que ya cuentan con un valor de ZPL, autorizado por la AM. El resultado podrá compararse con los valores autorizados.

Directemar, de acuerdo a su circular, tiene dos formas de establecer la ZPL:

1. **Propuesta** por el Usuario Marítimo, la que debe incluir:
 - Estudio con la propuesta de ZPL.
 - Aplicar la fórmula para calcular “A” (detallada en el DS 90).
 - Valores de oleaje, indicando la fuente y usando el valor más alto de H_b .
 - Indicar la pendiente del fondo y la fuente donde se obtuvo su valor.
 - Para valores de pendiente y oleaje, deben ser del periodo estival e invernal.
 - Indicar el uso de la ZPL.
 - Si cae en restricciones, incluir un estudio de oleaje y batimetría aprobado por el SHOA.
2. **Solicitada** por el Usuario Marítimo, para la que se debe llenar una tabla con los siguientes datos de altura de ola significativa (H_s):
 - Promedio del período.
 - Promedio de los máximos registrados en el periodo.
 - Promedio período estival e invernal.
 - Promedio de los máximos para el período estival e invernal.
 - Indicar tres puntos diferentes con pendiente, profundidad (tres primeros veriles) y distancia a la costa.

El detalle del procedimiento está incluido en la sección de anexos, punto 8.2.2.-.

5.1. REGIMEN MEDIO DE OLEAJE

Este primer caso, desarrollado en su totalidad en el punto 8.3.1.- de la sección Anexos, en el que se calculó la ZPL en el sector de la caleta Curin, Región de los Ríos. Para aplicar la metodología, se usa como supuesto que el sector aledaño al proyecto corresponde a una zona de pesca artesanal y que los valores entregados por el usuario marítimo son los detallados en las Tablas 5.1.- y 5.2.-.

TABLA 5.1.- VALORES DE H_s ENTREGADOS POR EL USUARIO MARÍTIMO.
Fuente: Elaboración propia.

Detalle	H_s
Promedio del período	2,95
Promedio de los máximos en el periodo	3,83
Promedio período estival	2,61
Promedio período invernal	2,98
Promedio de los máximos para el período estival	3,14
Promedio de los máximos para el período invernal	3,80

TABLA 5.2.- PENDIENTE "M" ENTREGADA POR EL USUARIO MARÍTIMO.
Fuente: Elaboración propia.

Punto	Pendiente	Profundidad (m)	Distancia a la costa (m)
1	0,07	5	72
2	0,07	10	144
3	0,07	15	215

Para la condición más desfavorable, los valores calculados son los siguientes:

$H_b = 1,002$ metros,

$m = 0,07$,

ZPL = 29 metros.

Al aplicar la metodología, la zona aledaña al proyecto corresponde a una caleta y su actividad principal es la pesca artesanal, por lo que la ZPL se calcula usando el método de clima medio para zona de uso económica, correspondiendo un factor de no excedencia de 80%.

TABLA 5.3.- VALORES DE ZPL PARA DIFERENTES DIRECCIONES DE OLEAJE.
Fuente: Elaboración propia.

Uso recreacional y económico							
Pendiente "m"	Dirección	Tz	Lo	Valor Tabla	Hs	Hb	ZPL
0,070	SSW	16	399,49	0,8	3,51	0,83	24,26
	SW	15	351,11	0,8	4,02	1,00	29,27
	WSW	14	305,86	0,8	4,47	1,17	34,26
	W	15	305,86	0,8	4,60	1,21	35,42
	WNW	9	305,86	0,8	4,72	1,25	36,54

Para la condición más desfavorable y según lo detallado en la Tabla 5.3.- y lo calculado en el apéndice, los valores son los siguientes:

$H_b = 1,17$ metros,

$m = 0,07$,

ZPL = 36,5 metros.

5.2. REGIMEN EXTREMAL DE OLEAJE

Este segundo caso, desarrollado en su totalidad en el punto 8.3.2.- de la sección Anexos, la ZPL se calculó en el sector de la bahía de Valparaíso, Región de Valparaíso. Para aplicar la metodología, se usa como supuesto que el sector aledaño al proyecto corresponde a una zona de baño y que los valores entregados por el usuario marítimo son los detallados en las Tablas 5.4.- y 5.5.-.

TABLA 5.4.- VALORES DE H_s ENTREGADOS POR EL USUARIO MARÍTIMO.
Fuente: Elaboración propia.

Detalle	Hs
Promedio del período	2,72
Promedio de los máximos registrados en el periodo	4,52
Promedio período estival	2,52
Promedio período invernal	2,8
Promedio de los máximos para el período estival	4,17
Promedio de los máximos para el período invernal	4,53

TABLA 5.5.- PENDIENTE “m” ENTREGADA POR EL USUARIO MARÍTIMO.
Fuente: Elaboración propia.

Punto	Pendiente	Profundidad (m)	Distancia de la costa (m)
1	0,06	5	90
2	0,06	10	156
3	0,06	15	240

Para la condición más desfavorable, los valores calculados son los siguientes:

H_b = 1,27 metros.

m = 0,06

ZPL = 43 metros.

Al aplicar la metodología, la zona aledaña al proyecto es un balneario el cual tiene una alta concurrencia en periodo estival y es parte de los atractivos turísticos de la zona todo el año, por lo que la ZPL se calcula usando el método de clima extremal para zona de uso personas, correspondiendo un periodo de retorno $T = 100$ años.

TABLA 5.6.- ZPL EN METROS PARA DIFERENTES DIRECCIONES.
Fuente: Elaboración propia.

USO DE PERSONAS				
T_z L_o	8	9	14	15
	99,87	126,40	305,86	351,11
NNW	74,60	71,17	59,64	58,02
WNW	58,48	55,79	46,75	45,48
WSW	61,88	59,03	49,47	48,12
SW	62,02	59,17	49,58	48,23
SSW	63,59	60,67	50,84	49,45

Para la condición más desfavorable y según lo detallado en la Tabla 5.6.- y lo calculado en el apéndice, los valores son los siguientes:

H_b	=3,26 metros,
m	=0,06,
ZPL	=74,6 metros.

6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

6.1. DE LA ZPL Y SU CÁLCULO

El cálculo de la ZPL realizado con el método de trabajo de DIRECTEMAR y la metodología expuesta en este trabajo, permite establecer diferencias en cuanto su resultado y su forma de llegar a este. El resultado detallado en la tabla 6.1.-, indica que para la bahía de Valparaíso, el valor obtenido con el método propuesto es en promedio un 40% mayor respecto a la forma empleada por Directemar, considerando que este valor es más conservador debido a que requería una mayor protección dada su condición de uso. Por el contrario, el cálculo efectuado para la Caleta Curin, que no requería una mayor protección dada su condición de uso aledaña, registra un valor de 21% mayor.

TABLA 6.1.- DIFERENCIAS ENTRE METODOLOGÍAS.
Fuente: Elaboración propia.

Sector	Método DGTM (metros)	Método propuesto (metros)
Bahía Valparaíso	43	74,6
Caleta Curin	29	36,5

La base metodológica de este trabajo se fundamenta teórica y prácticamente por importantes referentes de la Ingeniería en el mundo, como son; Puertos de Estado en España y su publicación Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM), el United State Army Corps Engineers y su publicación "Coastal Engineering Manual", el Ministerio de Transportes de Japón y su publicación "Technical Standard and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan".

El cálculo desarrollado se sustenta en un análisis estadístico del clima de oleaje por un largo período de tiempo, a diferencia de lo indicado por la Autoridad Marítima, que deja al libre estudio de datos y en caso de solicitar a la autoridad, esta aplica los cálculos sobre la base de promedios aritméticos.

Luego de comparada la información existente de la ZPL, se presenta un análisis de la metodología aquí planteada y la Circular que norma respecto a la confección de las solicitudes de ZPL. El análisis FODA (acrónimo de Fortaleza, Oportunidad, debilidad y amenaza) aquí aplicado es una herramienta que permite establecer de manera simple lo que se debe mantener, explotar, corregir y afrontar respecto de la metodología complementaria y la Circular



Figura 6.1.- Análisis FODA de la metodología propuesta.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.1.- Análisis FODA de la Circular A-53/004.

Fuente: Elaboración propia.

6.2. SUGERENCIAS

A.- Las solicitudes de ZPL presentadas por los interesados, dentro de lo requerido por la AM, deben orientarse a la estandarización de los contenidos, ya que es difícil realizar comparaciones respecto de los resultados o establecer siquiera relaciones de datos para estudios posteriores (ver punto N°8.2.4.- de la sección Anexos). Se sugiere establecer un formato que permita tanto a la Autoridad Marítima que solicita el informe como a la que realiza el estudio precisar respecto a la información, sugiriendo en términos generales su contenido como el siguiente:

1. Identificación de la empresa y el o los profesionales que realizaron el estudio.
2. Localización y usos de la zona de análisis.
3. Cartografía de la zona indicando coordenadas, las cuales podrían ser en WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial), usada por AM para determinar concesiones marítimas y batimetría.
4. Descripciones morfodinámicas, que corresponden a la forma que el perfil del área de estudio adquiere como consecuencia de la interacción agua – sedimento.
5. Características del terreno y de la costa (aspectos geográficos relevantes como planicies, lagos, lagunas, acantilados, bahías, dársenas, deltas, embancamientos y otros significativos que afecten las mediciones).
6. Indicación de la base estadística de datos.
7. Presentación del clima medio o extremal de oleaje, mediante tablas de incidencia de:
 - Altura significativa espectral v/s período peak (H_{mo} / T_p),
 - Período peak v/s dirección (T_p / Dir),
 - Altura significativa espectral v/s dirección (H_{mo} / Dir), con sus correspondientes característica, tablas de resúmenes y gráficos. Siempre tomando como criterio de evaluación la envergadura o el propósito de la solicitud de ZPL por parte de los usuarios marítimos.
8. Corrientes y mareas predominantes de la zona en estudio.
9. Resumen y conclusiones del trabajo, incluyendo el valor calculado de ZPL y comentarios relevantes, como el valor agregado al trabajo, por parte del profesional de ciencias del mar que realizó el estudio.
10. Bibliografía.

B.- La Ley de Costas Españolas en su Título III, “Utilización del dominio público marítimo – terrestre, capítulo IV, Sección 2 “Vertidos” (incluida en el punto N°8.2.3.- de la sección Anexos), indica que la norma se adaptará a los futuros progresos científicos y técnicos, frase que permite a la Ley ajustarse a los cambios tecnológicos, situación ausente de nuestra normativa y que se sugiere incluir.

C.- La vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos situados en golfos, estuarios, mares relativamente cerrados o cercanos a la costa se verían seriamente afectados si al aplicar la norma solo se considera la variable de altura de rompiente y se excluyen los efectos de corrientes y vientos. Se sugiere especificar aún más la norma respecto a estas condiciones naturales, incluyendo estas situaciones especiales con cálculos analizados y contextualizados. Asociado a lo anterior, es importante destacar los niveles de productividad que se están generando en el borde costero, siendo un claro ejemplo el desarrollo de cultivos de mitílidos y futuras concesiones para el cultivo de algas en la X Región de Los Lagos, Chile.

- D.- Para realizar los estudios de la ZPL no se consideran las variables geológicas, siendo importante recordar que este modelo no puede ser aplicado en zonas cerradas como estuarios, golfos o aquellas que no estén expuestas. Este detalle hace que los cálculos de ZPL no estén en línea con lo que la AM pretende con la normativa, que es la protección del medio ambiente acuático, dejando a criterio zonal la autorización para una ZPL. Por lo anterior, se sugiere zonificar las solicitudes de Zona de Protección, estableciendo un criterio respecto a la formación geológica existente en la zona de vertimiento de efluentes.
- E.- La evolución morfológica que se espera de una Zona de Protección Litoral no está reflejada en la normativa vigente, siendo esta significativa respecto al perfil de equilibrio y su relación con la pendiente, la que no es definida si se calcula en periodo de alto o bajo sedimento.
- F.- Se sugiere establecer una relación entre la ZPL y los emisarios submarinos como una obra marítima importante para la disposición de efluentes terrestres. La ingeniería básica en una obra marítima, como son los emisarios submarinos, permiten contar con información relevante por lo que debe ser usada para el cálculo de la zona de Protección Litoral.
- G.- La aplicación de un mecanismo de control significa necesariamente la reducción de contaminantes en la fuente, el tratamiento, la disposición y la reutilización de las aguas residuales a lo que se le debería agregar una fiscalización más rigurosa debido a que el modelo planteado en el DS 90/2000 apuesta a la auto regulación por parte de las empresas que emiten efluentes. Aplicar una efectiva gestión es determinar una técnica adecuada para las necesidades y capacidades del entorno emisor junto con el control de los agentes contaminantes que no se descomponen en las plantas de tratamientos convencionales, ni en aguas costeras por medio de descargas directas. El equilibrio costo / beneficio, es por tanto, un factor importante en la gestión de residuos líquidos, por consiguiente el tratamiento de las aguas residuales solo es necesario, si las aguas receptoras no tienen características de intercambio con los océanos y tienden a la eutrofización (incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton), pero la mayoría de los cuerpos receptores costeros localizados en costa abierta, son capaces de recibir entradas de aguas residuales como cualquier otra entrada de nutrientes natural. Esto hace concluir en la importancia del vertimiento costa afuera y la determinación de corrientes que permitan recibir entradas obteniendo un valor de ZPL que logre un balance entre la protección litoral y el desarrollo industrial. Lo anterior permite que las comunidades costeras reduzcan los costos en caros equipos de tratamiento, su mantenimiento y operación, así como también en el exceso de sedimentos.

7. REFERENCIAS

- [1] Aquambiente, Asesorías Marítimas y Ambientales, 2000. "Bases Técnicas sobre requerimientos ambientales para determinación de La ZPL y descargas mediante Emisarios Submarinos", elaborado para el Servicio de Protección del Medio Ambiente Acuático de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, septiembre.
- [2] Balsillie, J., 1983. "On the determination of when waves break in shallow water". Division of Beaches and Shores, Florida Department of Natural Resources, Florida State University. Disponible en http://czic.csc.noaa.gov/czic/GB459.F56b_no.83-3/83B2B9.pdf. [Acceso el día 23 agosto 2009].
- [3] Bernabeu, A.M., Medina, R., Vidal, C. y Muñoz-Perez, J.J., 2001. Estudio morfológico del perfil de playa: Modelo de perfil de equilibrio en dos tramos. Sociedad Geológica de Espalza, 14 (3-4): pp. 227-236.
- [4] Consejo de Estado de la República de Cuba, 2000. Decreto Ley N° 212, Gestión de la Zona Costera. Cuba.
- [5] Consejo de las Comunidades Europeas, 1976. Directiva 76/464/CEE, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad. CEE: Parlamento Europeo.
- [6] Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, 2003. Circular DGTM y MM Ordinario A-53/004 "Establece disposiciones y procedimiento científico técnicos para fijar el ancho de la Zona de Protección Litoral, 1ª edición. Armada de Chile.
- [7] Fugro OCEANOR (2008), "Calibration of Wave Spectra in Two Location off the Chilean Coast", estudio realizado para la Universidad de Valparaíso, Viña del Mar, Reference N°: C55204 / Rev. 0 2008-11-03.
- [8] Inman D., Hany L, Elwany M., Jenkins S. C. (1993) "Shorerise and Bar-Berm Profiles on Ocean Beaches". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 98, N.º C 10. 18181-18199.
- [9] Instituto Nacional de Normalización, INN, 1996. "Norma de la calidad del agua, NCh 410 OF 96". Chile.
- [10] Jirka, G. y Bleninger, T., 2004, "Diseño de emisarios submarinos con difusores para la protección de la calidad del agua costera" en: XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil, 17-21 octubre 2004.

- [11] Liu Z., Frigaard P., 1999. "Generation and Analysis of random waves". Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik, Aalborg University. Disponible en línea desde: <http://people.civil.aau.dk/~i5mb/B8/kysthydr/> . [Acceso el día 23 agosto 2009].
- [12] Martín, M. J. y Martínez J., 1990. "Análisis medio y extremal del oleaje". Centro de Estudios y experimentación de obras públicas CEDEX. España.
- [13] Ministerio de Defensa Nacional, 1975. "Decreto Supremo 711; Reglamento del control de las investigaciones científicas y tecnológicas marinas efectuadas en la zona marítima de jurisdicción nacional. Chile.
- [14] Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1988. Ley 22/1988 de Costas. España.
- [15] Ministerio de Relaciones Exteriores, 1983. Decreto 295 que promulga el protocolo para la protección del pacífico sudeste contra la contaminación proveniente de fuentes terrestres y sus anexos. Chile.
- [16] Ministerio de Relaciones Exteriores, 1986. Decreto 296 que promulga el convenio para la protección del medio ambiente y la zona costera del pacífico sudeste. Chile.
- [17] Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2002, Decreto Supremo 46/2002. "Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas". Chile: Diario Oficial.
- [18] Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2000. "Decreto Supremo 90; Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales". Chile: Diario Oficial.
- [19] Ochi M. K., 1998. "Probability distribution of height in finite water depth". Proceedings 26th International Conference on Coastal Engineering. Copenhagen, Denmark.
- [20] Perera, S., Estrada R., Hernández, A., Garcia, J., Alcolado, P. y Garcia, R., 2005. "Metodología para la determinación de la capacidad de carga de visitantes, en las áreas marinas protegidas de Cuba". Resultados oficiales de la 58^{av} Reunión Anual del Instituto Pesquero del Golfo y el Caribe. San Andres, Colombia.
- [21] Rattanapitikon W. y Shibayama T., 2000. "Verification and modification of breaker height formulas". Coastal Engineering Journal, Vol. 42, N° 4 (2000), pp 389 – 406.
- [22] Sánchez – Arcilla, A., Jiménez, J.A., 1994. "Ingeniería de Playas (I): Conceptos de Morfología Costera". Ingeniería del Agua. 1(2), pp 97-114.

- [23] Sierra J. P. y Lo Presti A., 1998. "Estudio comparativo de criterios de rotura del oleaje regular". Ingeniería del Agua, 5(1), pp.23-34.
- [24] Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, 2003. Instrucciones Oceanográficas N° 1, Publicación 3201; "Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos", 2ª edición. Chile: Armada de Chile.
- [25] Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, 1999. Instrucciones Oceanográficas N° 2, Publicación 3202;"Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea", 2ª edición. Chile: Armada de Chile.
- [26] Superintendencia de Servicios Sanitarios, (2007). "Primera evaluación de cumplimiento de las Normas de emisión de residuos líquidos a cuerpos de aguas superficiales y subterráneos DS. SEGPRES N° 90/00 y DS. SEGPRES N° 46 / 02", comunicado de la Superintendencia de Servicios Sanitarios [en línea] 31 de mayo del 2007, disponible desde: <http://www.siss.cl/article-4976.html>.
- [27] United State Army Corps of Engineers, 2008. "Coastal Engineering Manual". Waterways Experiments Station, coastal Engineering Research Center, Departments of the Army 2(1), 608 pp.
- [28] Winckler, P., 2006. Catedra de "Proyectos de Ingeniería Marítima", Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, Universidad de Valparaíso.

8. ANEXOS

8.1. ASPECTOS TEÓRICOS

8.1.1. TEORÍA LINEAL DEL OLEAJE

Desarrollada por Airy en el año 1845 y descrita por Demirbilek y Linwood 2008 en el CEM (Coastal Engineering Manual, 2008), es la teoría más fácil de aplicar ya que puede representar de manera matemática, sin complejidades una onda senoidal, la cual queda representada principalmente por su longitud, altura, período y profundidad, dando una aproximación razonable de las características de la onda (fórmulas en Tabla 8.1.-). Se debe considerar que para cierto tipo de oleajes su uso está limitado y que existen ciertos supuestos a la hora del desarrollo de cálculos, siendo los más importantes:

- El fluido es homogéneo e incompresible, por lo que la densidad es constante.
- La tensión superficial y el efecto de Coriolis se descartan.
- La presión de la superficie libre es uniforme y constante.
- El fluido es irrotacional.

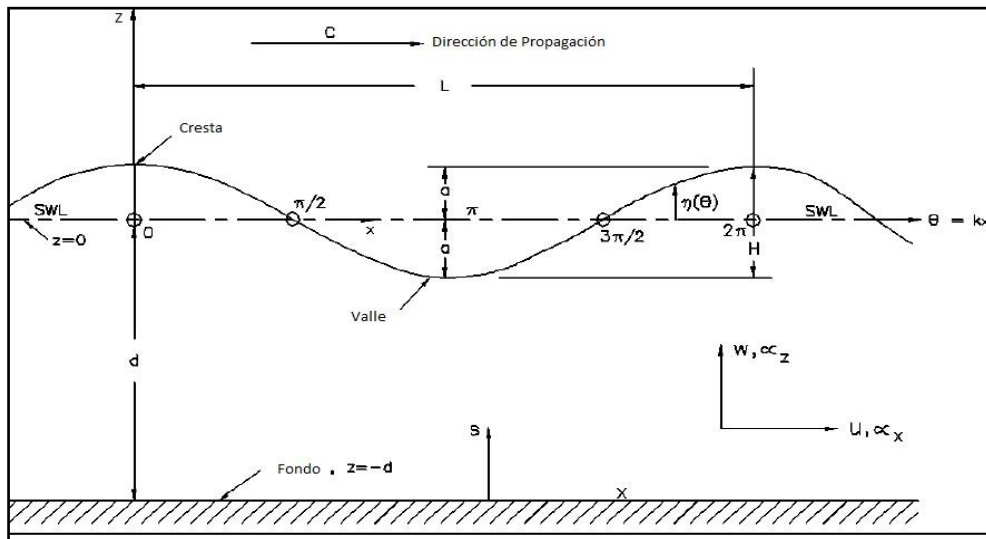


Figura 8.1.- Onda sinusoidal elemental.

Fuente: Coastal Engineering Manual (CEM), 2008.

Al realizar la descripción física del oleaje, como se grafica en la Figura 8.1.-, debe necesariamente abarcar la superficie y el movimiento del fluido bajo la ola. La forma más simple para describir una ola es considerar una onda sinusoidal para que su perfil pueda ser descrito por una función progresiva seno o coseno, con una amplitud “a” igual a la mitad de la altura de ola H.

$$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$$

Ec. 8.1.-

Donde H es la altura de la ola, x es el eje de propagación del oleaje, t es el tiempo, L es la longitud de la ola, y T es el período de la ola.

De la relación de dispersión (ya que la distancia cubierta por la ola durante un período, es igual a su longitud de onda) se deduce que la velocidad de propagación de la ola (también llamada velocidad de fase) puede relacionarse con su período y longitud y está dada por:

$$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi * d}{L}\right)$$

Ec. 8.2.-

De acuerdo con las ecuaciones generales, las partículas de agua siguen trayectorias circulares en aguas profundas, que se van haciendo elípticas conforme la ola se propaga en aguas intermedias y someras al sentir fondo (Figura 8.2.-). Además, ya que se supone que la altura de ola es pequeña con respecto a la longitud de onda, el desplazamiento de cualquier partícula del fluido a partir de su posición media es pequeño.

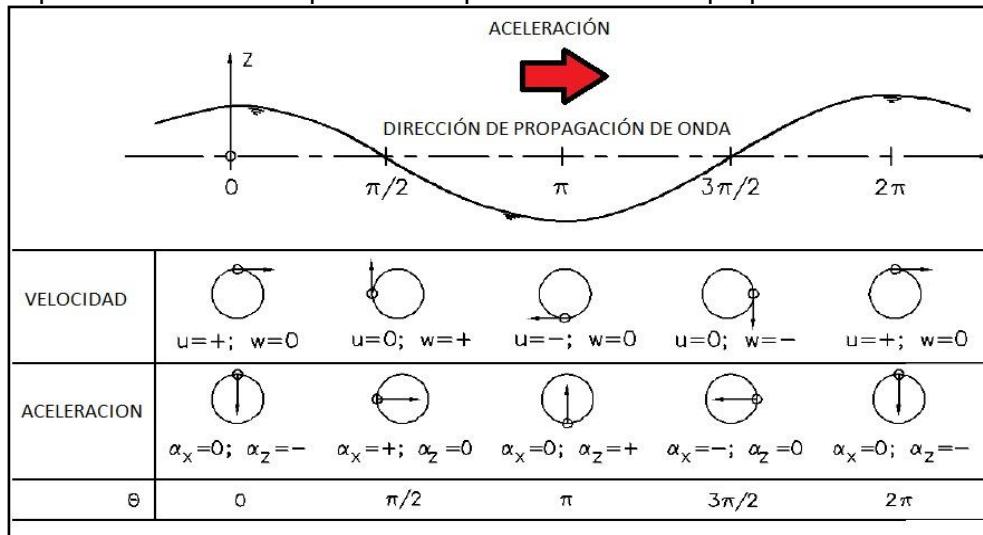


Figura 8.2.- Velocidad y aceleración de una onda sinusoidal.

Fuente: Coastal Engineering Manual, 2008.

Integrando las ecuaciones de las velocidades orbitales se obtiene el desplazamiento horizontal y vertical de las partículas de agua a partir de su posición media. El resultado de esta integración es la ecuación de una elipse (Figura 8.3.-), donde el tamaño del diámetro orbital disminuye exponencialmente con la profundidad y cuyo semieje horizontal y vertical (A_x y A_z) son las ecuaciones:

$$\text{Desplazamiento Horizontal} = \xi = \frac{H}{2} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \sin \theta$$

$$\text{Desplazamiento Vertical} = \zeta = \frac{H}{2} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d/L)} \cos \theta$$

Ec. 8.3.-

La teoría de Airy considera además que los movimientos de las partículas de agua son órbitas cerradas, por lo que no hay un transporte neto de masa de agua. Sin embargo, el movimiento de agua asimismo constituye un flujo o transferencia de energía.

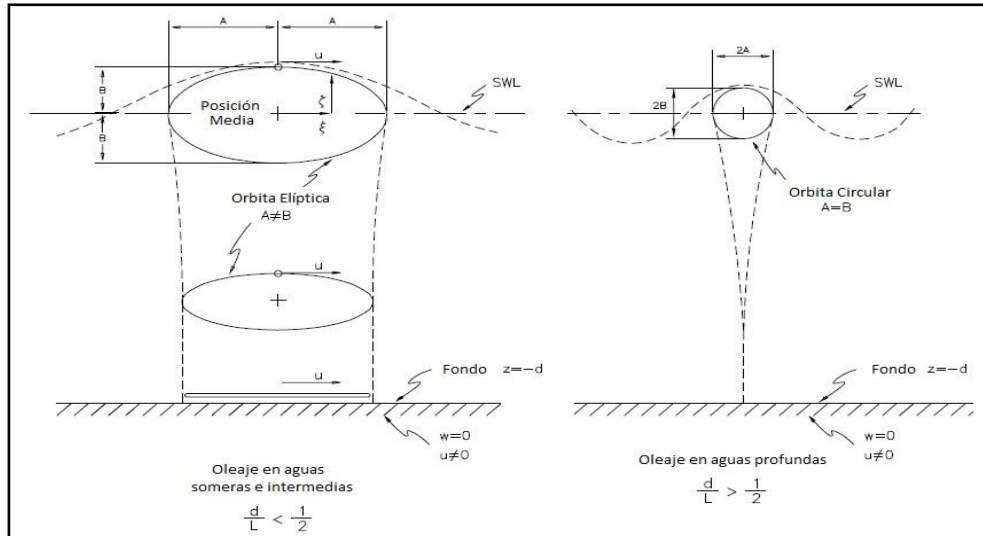


Figura 8.3.- Desplazamiento en aguas someras y profundas.

Fuente: Coastal Engineering Manual 2008.

Una vez que el oleaje ha salido de la zona de influencia del viento que lo generó, comenzará a reagruparse, adquiriendo patrones más regulares, que es lo llamado grupo de olas. La tasa a la que se propaga la energía y la velocidad de grupo como un todo está dada por la velocidad de grupo, denominado C_g .

Si se considera la interacción entre n trenes de ondas sinusoidales, moviéndose en la misma dirección pero con períodos y longitudes ligeramente distintos y de altura infinitesimal, es decir, con distintos valores para los números de ondas k y frecuencia angular ω , y asumiendo teoría lineal, estos n trenes se pueden superponer y formar un número infinito de patrones de oleaje, los que se pueden presentar como:

$$\eta = H \cos(kx - \omega t) \cos\left[\frac{1}{2} \Delta k \left(x - \frac{\Delta \omega}{\Delta k} t\right)\right]$$

Ec. 8.4.-

Y al igual que una señal de radio formada por ondas individuales $\cos(kx - \omega t)$ propagándose a una celeridad $C = \omega/k$, modulada por una portadora o envolvente $H \cos[\frac{1}{2} \Delta k (\xi - (\Delta \omega / \Delta k) t)]$ propagándose a una velocidad $C_g = \Delta \omega / \Delta k$. (Celeridad de grupo). El perfil resultante muestra el agrupamiento de las ondas individuales dando lugar al concepto de grupo de ola (Figura 8.4.-).

La Teoría Lineal del Oleaje se basa en la hipótesis que la altura de ola es pequeña respecto a su longitud de onda y profundidad, por lo que al llegar a aguas someras esta teoría no es aplicable debido a que la altura de ola se incrementa a medida que la profundidad disminuye. La solución a este problema se puede resolver aplicando otras teorías, como la de Stokes, Cnoidal o de Onda Solitaria.

La teoría de Stokes se basa en desarrollar soluciones en series, donde el primer orden de aproximación es idéntico a la solución lineal. La diferencia entre los perfiles de ambas teorías salta a la vista, tanto en su expresión teórica como en su descripción gráfica,

donde el perfil de Stokes se caracteriza por tener crestas más altas y estrechas, valles más largos y aplanados que el perfil sinusoidal. Este perfil es mucho más parecido a la forma real que tienen las olas oceánicas cuando entran en aguas intermedias y someras.

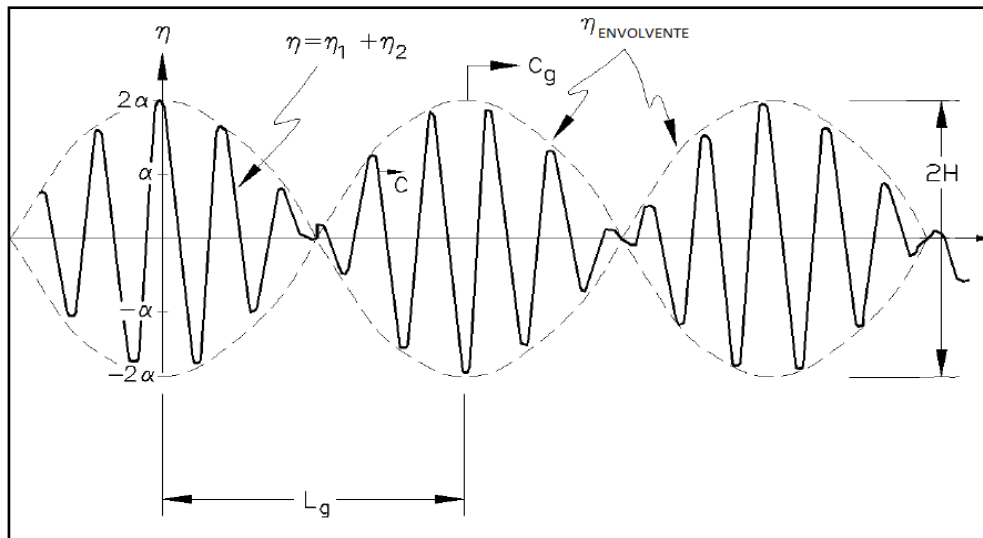


Figura 8.4.- Movimiento de oleaje en grupos.

Fuente: Coastal Engineering Manual (CEM) 2008.

La teoría Cnoidal se basa en el trabajo de Boussinesq, pero se limita a la progresión del oleaje en una sola dirección. Está definida en términos de la función elíptica Jacobiana Cn. Su representación gráfica se muestra con crestas afiladas, separadas por amplios valles planos. Por último esta la teoría de onda solitaria, que se asemeja a las ondas largas (tsunami, grandes desplazamientos de agua, etc.), donde las crestas se hacen más cortas y los valles más largos y planos (Figura 8.5.-).

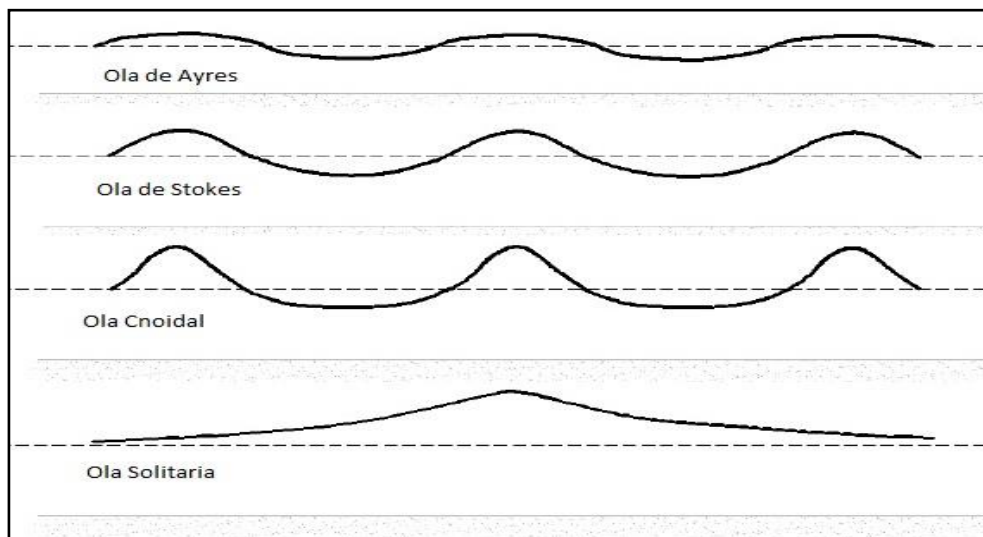


Figura 8.5.- Perfiles de oleaje utilizando diferentes teorías.

Fuente: CEM 2008.

TABLA 8.1.- RESUMEN DE LA TEORÍA LINEAL DEL OLEAJE.
Fuente: CEM, 2008.

Profundidad relativa	Aguas someras $\frac{d}{L} < \frac{1}{25}$	Aguas Intermedias $\frac{1}{25} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	Aguas Profundas $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
Perfil de oleaje	Igual a =>	$\eta = \frac{H}{2} \cos \left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T} \right] = \frac{H}{2} \cos \theta$	<= igual a
Celeridad de oleaje	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{g * d}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi * d}{L} \right)$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2 * \pi}$
Longitud de onda	$L = T \sqrt{g * d} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi * d}{L} \right)$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = C_0 T$
Velocidad de Grupo	$C_g = C = \sqrt{g * d}$	$C_g = nC = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi * d / L}{\sinh(4\pi * d / L)} \right] * C$	$C_g = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$
Velocidad de la Partícula de agua			
Horizontal	$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos \theta$	$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d / L)} \cos \theta$	$u = \frac{\pi H}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
Vertical	$w = \frac{H\pi}{T} \left(1 + \frac{z}{d} \right) \sin \theta$	$w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d / L)} \sin \theta$	$w = \frac{\pi H}{T} e^{\frac{2\pi z}{L}} \sin \theta$
Aceleración de la Partícula de agua			
Horizontal	$a_x = \frac{H\pi}{T} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$	$a_x = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d / L)} \sin \theta$	$a_x = 2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} \sin \theta$
Vertical	$a_z = -2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 \left(1 + \frac{z}{d} \right) \cos \theta$	$a_z = \frac{g\pi H}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d / L)} \cos \theta$	$a_z = -2H \left(\frac{\pi}{T} \right)^2 e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
Desplazamiento de la Partícula de agua			
Horizontal	$\xi = \frac{HT}{4\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin \theta$	$\xi = \frac{H}{2} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d / L)} \sin \theta$	$\xi = \frac{H}{2} e^{\frac{2\pi z}{L}} \sin \theta$
Vertical	$\zeta = \frac{H}{2} \left(1 + \frac{z}{d} \right) \cos \theta$	$\zeta = \frac{H}{2} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\sinh(2\pi d / L)} \cos \theta$	$\zeta = \frac{H}{2} e^{\frac{2\pi z}{L}} \cos \theta$
Presión submarina	$p = \rho * g(n - z)$	$p = \rho g \eta \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d / L)} - \rho g z$	$p = \rho g \eta e^{\frac{2\pi z}{L}} - \rho g z$

H = Altura de ola
a = Amplitud de ola
L = Longitud de ola
T = Período de ola
 η = Desplazamiento superficial
f = Frecuencia de ola (1/T)
 ω = velocidad angular

c - c_g = Velocidad de ola (L/T) - grupo
d = Profundidad
k = Número de ola (2 π /L)
u = Velocidad de la partícula en x
w = Velocidad de la partícula en z
 a_x = Aceleración de la partícula en x
 a_z = Aceleración de la partícula en z

8.1.2. TRANSFORMACIONES DEL OLEAJE

La transformación del oleaje desde aguas profundas hacia aguas someras es un problema muy complejo que requiere la aplicación de modelos numéricos para su resolución, modelos que no están dentro de los objetivos de este trabajo de título, más bien se va a detallar de manera cualitativa los fenómenos de oleaje relacionados con los efectos de propagación y estos son:

- Refracción
- Asomeramiento o shoaling
- Difracción

La Refracción (Figura 8.6.-) es cuando el oleaje entra en aguas intermedias o someras y cambia de dirección debido a la disminución de la profundidad, de tal manera que las crestas tienden a ponerse paralelas a las isobatas (las aguas que viajan por la parte más profunda viajan más rápido haciendo que la ola se curve y cambie de dirección). La celeridad de la ola como lo indica la Ecuación 8.2.-, depende de la profundidad local (h/L , si T es constante) esto implica que cuando el oleaje tiene una aproximación oblicua a la costa, la parte de la cresta de la ola que se desplace por la zona donde hay mayor profundidad se moverá a mayor velocidad que la parte de la cresta que se encuentra a menor profundidad lo que implica que las crestas tienden a rotar y alinearse con las isobatas. Las corrientes y la aproximación oblicua del oleaje a la playa también afectan la distribución de la celeridad del oleaje.

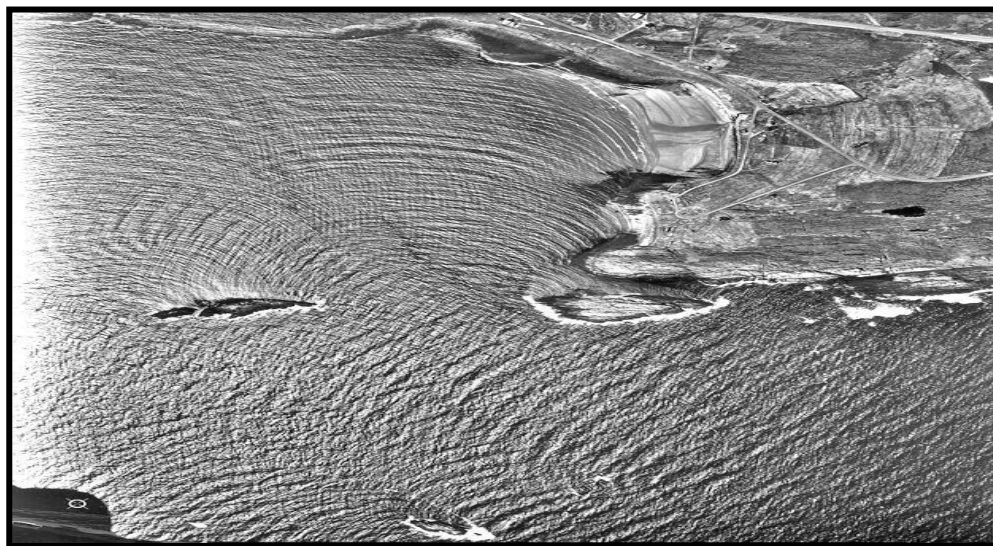


Figura 8.6.- Oleaje refractado y difractado.

Fuente: Disponible desde http://www.math.uio.no/~karstent/waves/index_es.html.

Acceso 25 de septiembre de 2011.

El Asomeramiento (shoaling) se produce cuando la onda se transforma cambiando su altura y la longitud de onda por la variación de profundidad, a medida que el tren de onda se aproxima a la costa. El problema del Asomeramiento se plantea asumiendo que el proceso es bidimensional, y que el período de la onda y el flujo de energía en la dirección de la propagación de la onda son constantes. Estas hipótesis requieren además que la

variación del fondo sea suave con lo cual no se produce reflexión ni disipación de energía por fricción en el fondo o aportación de energía por el viento.

La Difracción es un fenómeno de flujo lateral de la energía del oleaje el que, al encontrar un obstáculo cualquiera en el dominio de propagación, genera zonas de sombra, provocando gradientes de altura de ola. Este proceso puede provocar una transferencia de la energía de oleaje que no ha encontrado interferencia, penetrando en la zona protegida. Este fenómeno es considerado en la construcción de obras marítimas (emisarios submarinos entre otras obras) y playas artificiales ya que puede determinar la distribución de alturas de ola en una zona protegida y la formación de tómbolos. La difracción No puede separarse de la refracción, ya que esta puede dar lugar a discontinuidades en la altura de ola que conducen a fenómenos de difracción y ser condicionante para alterar diseños de estructuras portuarias.

Si bien la marea es un movimiento de oleaje, no es un fenómeno de transformación como los descritos en este capítulo. De acuerdo a lo indicado por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (en adelante SHOA), en su publicación 3202, Marea se le llama al movimiento ascendente y descendente de las aguas lacustres o marinas. Este se produce por la atracción gravitatoria ejercida sobre la tierra, principalmente de la Luna y en menor medida del Sol. Se presenta como un movimiento vertical oscilatorio, periódico, alternado y en constante movimiento producto de la incompresibilidad del agua.

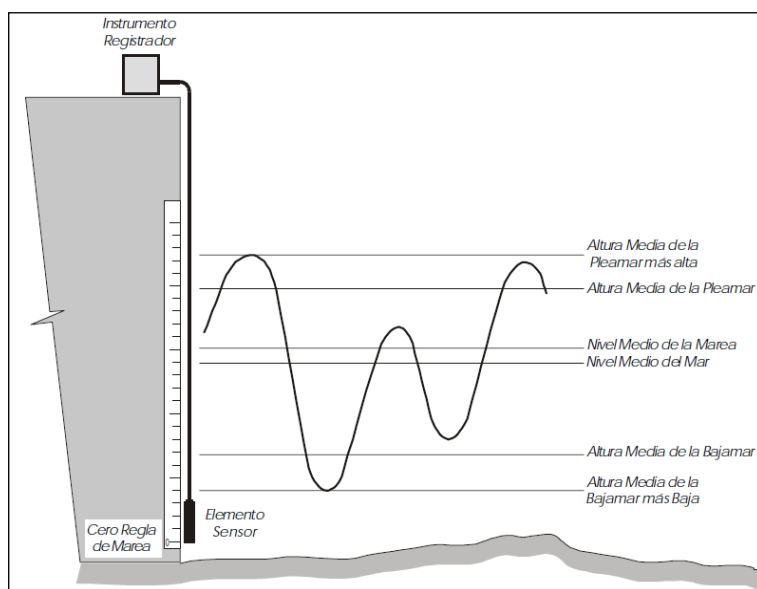


Figura 8.7.- Planos de marea.

Fuente: SHOA, publicación 3202, p 8.

A modo de ejemplo, este fenómeno es muy significativo en el seno de Reloncavi, el cual es verificado a simple vista ya que la altura del agua crece y decrece dos veces en un día de 24 horas. Como lo indica la Figura 8.7.-, al alcanzar su máxima altura, se produce lo denominado pleamar, por el contrario, con los niveles más bajos es una bajamar. De esto se derivan algunos conceptos como el de amplitud que corresponde a la diferencia entre la altura de una pleamar y una bajamar, medida en metros. Su duración es el tiempo que transcurre entre una pleamar y una bajamar y se mide en horas y minutos.

La publicación 3202, describe la existencia de una marea más débil originada por variaciones periódicas de la presión atmosférica y de vientos que van en dirección mar-tierra o viceversa. A esta se le llama marea meteorológica y su importancia dependerá de la época del año, de la latitud y de la proximidad de extensas áreas de aguas someras. Como ejemplo de lo anterior, explica el SHOA en su publicación, un incremento de un milibar (Hectopascal) de presión atmosférica se traduce en una disminución de un centímetro en el nivel del mar. Por otra parte, el arrastre del viento sobre la superficie del mar pone el agua en movimiento; cuando este volumen de agua es obstaculizado por fronteras terrestres, se produce un incremento del nivel del mar. Continúa el SHOA en sus Instrucciones Oceanográficas indicando que estos factores meteorológicos cobran gran importancia de Puerto Montt al sur, debido a las severas condiciones meteorológicas típicas de la zona, además de la especial conformación de los canales australes interiores. Así, al determinar residuos meteorológicos en datos del nivel del mar correspondiente a altas latitudes, se han detectado desviaciones de hasta 0,6 m. con respecto a los niveles normales de marea.

Desde el punto de vista astronómico, la marea se comporta como una sumatoria de fuerzas, siendo las más relevantes la fuerza de gravedad y la centrífuga. La fuerza generadora de marea, por tanto, varía en intensidad y dirección sobre la superficie de la tierra, siendo la componente vertical de esta fuerza muy pequeña comparada con la gravedad y su efecto en el océano el que puede ser considerado nulo. La componente horizontal produce las corrientes de marea, lo cual resulta en variaciones del nivel del mar. La fuerza gravitatoria que ejerce un cuerpo celestial (luna, sol o estrellas) es proporcional a su masa pero inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, ejemplo de esto es que la fuerza gravitacional del sol (y por tanto su fuerza generadora de marea) es de alrededor del 46% de la fuerza de la luna. Otros cuerpos celestiales no ejercen una fuerza de marea significativa.

En una tierra sin rotación, las mareas serían ondas estacionarias, con movimiento hacia adelante y atrás del agua (en inglés; seiche) alternado con puntos sin movimiento vertical (nodos), esto es, en una tierra con rotación la onda de marea se transforma en un movimiento alrededor de puntos sin movimientos verticales conocidos como puntos anfifrómicos. Los detalles de la forma de la onda de marea son difíciles de evaluar, ya que dependen de la configuración de la cuenca y las distorsiones de la onda de marea en la plataforma continental causadas por la reducida profundidad, lo que dificulta la comparación de resultados para el océano abierto. En aguas profundas el rango de marea raramente excede los 0,5 metros.

Los modelos numéricos en computadora pueden dar una descripción de la onda en una escala oceánica, pero sus resultados tienen que ser verificados con observaciones del rango de marea y los tiempos de ocurrencia de la marea alta y la marea baja.

Entre las recomendaciones que entrega el SHOA en su publicación 3202, indica que es imprescindible instalar un sistema de cotas (Figura 8.3.-) a las cuales se puedan referir los planos de marea detallados en la Figura 8.7.-. Para esto, se usa normalmente un disco de bronce debidamente identificado el que se instala en un punto el cual se utiliza como referencia para la elevación. A modo de ejemplo, la Figura 8.8.- esquematiza los planos de marea más utilizados, obtenidos de un mes de observaciones del nivel del mar efectuado en la región de Antofagasta, Chile:

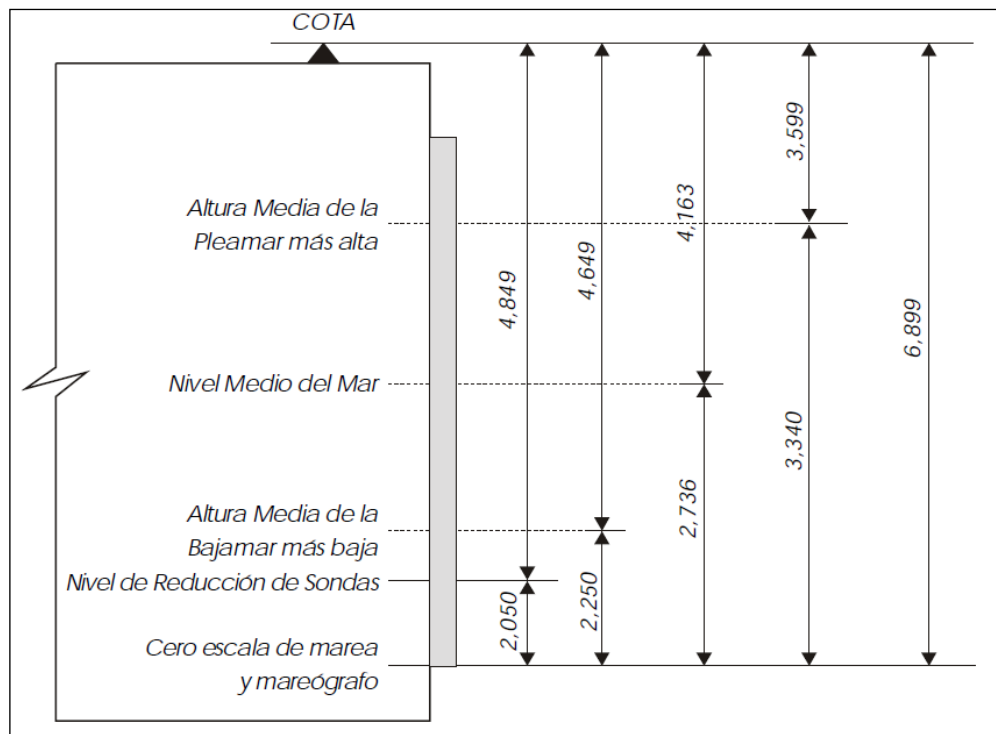


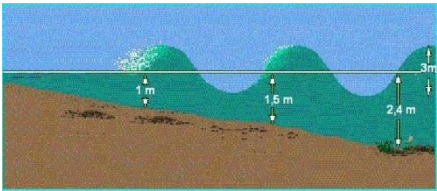
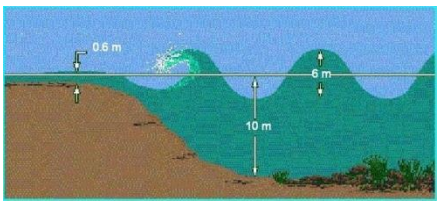
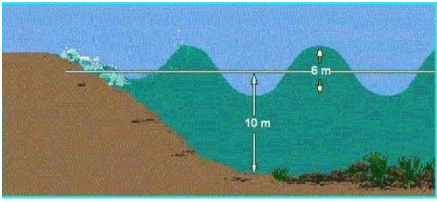
Figura 8.8.- Uso de la cota.

Fuente: SHOA, publicación 3202 p 13.

Otro concepto importante indicado en el cálculo de la ZPL y descrito en la publicación del SHOA, es el del rango de la marea en Sicigias. Se denomina Sicigia a las fases de la luna llena o nueva. En estos días coincidirán la marea solar y la marea lunar, pues la luna, el sol y la tierra se encuentran en línea recta en la esfera celeste, produciéndose de esta manera pleamares más altas y bajamares más bajas que lo usual, dando por resultado un mayor rango de marea en estas fechas.

8.1.2.1. TIPOS DE ROMPIENTE

TABLA 8.2.- TIPOS DE ROMPIENTE.
Fuente: Traducido y resumido del CEM, 2008.

Nombre	Parámetro de rotura γ_b	Dibujo perfil	Foto
	Nº de Iribarren ξ_0 = en aguas profundas. ξ_b = en rotura		
	Forma		
Spilling	$< 0,93$		
	$\xi_0 < 0,5$ $\xi_b < 0,4$		
	Oleaje peraltado, sobre playas con poca pendiente. Muy poco reflejado al mar		
Plunging	$> 1,1$		
	$0,5 < \xi_0 < 3,3$ $0,4 < \xi_b < 2,0$		
	Olas con poco peralte sobre playas relativamente inclinadas. Poco reflejado al mar		
Collapsing			
	$\xi_0 > 3,3$ $\xi_b > 2,0$		
	Intermedia entre la Plunging y la Surging		
Surging			
	$\xi_0 > 3,3$ $\xi_b > 2,0$		
	Playa con pendiente alta, la base de la ola llega antes de romper. La mitad es reflejada al mar		

Parámetro de Rotura = γ_b = H_b/d_b Relación entre pendiente y rompiente.
 Nº de Iribarren = ξ = $\tan\beta (H_0/L_0)^{-1/2}$ Depende de la pendiente.

8.1.2.2. CONVERSIÓN DATOS DE VIENTO

Para convertir los datos de viento en oleaje (H_{mo}) y periodo (T_p), el Coastal Engineering Manual hace una descripción general del procedimiento y dado que la condición de viento puede presentarse de diversas formas, a continuación se detalla un ejemplo en particular. Considerando la situación mostrada en la figura 8.9.-; el viento tiene una velocidad de 21.54 m/s, el cual es medido con un instrumento que se encuentra a 20 metros sobre el nivel del mar, durante 1,5 horas, con el mar y el aire a la misma temperatura. Con estos datos podemos calcular la ola significativa y el período en un punto situado a 15 Km. de la costa, con el viento hacia el mar.

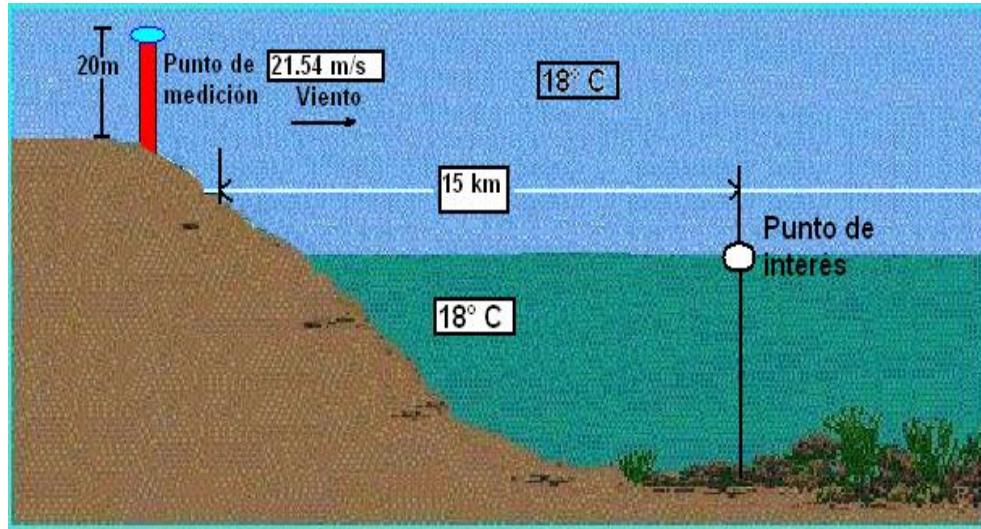


Figura 8.9.- Ejemplo práctico del método CEM.

Fuente: Elaboración propia.

- a) Se ajusta la velocidad del viento a 10 m de elevación para $Z < 20$ m

$$U_{(10)} = U_{(z)} \left(\frac{10}{Z} \right)^{1/7} = (21,54 \text{ m/s}) * \left(\frac{10}{20} \right)^{1/7} = 19,51 \text{ m/s}$$

Ec.- 8.5.-

Como la temperatura atmosférica y del agua es igual, no se ajustan los valores.

- b) El gráfico de la Figura 8.10.- indica el factor entre la velocidad del viento sobre el agua (U_w) y la velocidad del viento sobre la tierra (U_L). En este caso como U_L es mayor a 18.5 m/s, $R_L=0,9$, luego;

$$U_w = (0,9) * (19,51 \text{ m/s}) = 17,56 \text{ m/s}$$

- c) Por lo anterior, el factor de viento es:

$$U_A = 0,71 U^{1,23} = 0,71 (17,56)^{1,23} = 24,1 \text{ m/s}$$

Ec.- 8.6.-

- d) La H_{mo} y el T_p está dado por:

$$H_{mo} = 0,0016 \left(\frac{g * F}{U_A^2} \right)^{1/2} \left(\frac{U_A^2}{g} \right) = 0,0016 \left(\frac{9,8 * 15000}{24,1^2} \right)^{1/2} \left(\frac{24,1^2}{9,8} \right) = 1,5m$$

Ec.- 8.7.-

$$T_p = 0,2857 \left(\frac{g * F}{U_A^2} \right)^{1/3} \left(\frac{U_A}{g} \right) = 0,2857 \left(\frac{9,8 * 15000}{24,1^2} \right)^{1/3} \left(\frac{24,1}{9,8} \right) = 4,4s$$

Ec.- 8.8.-

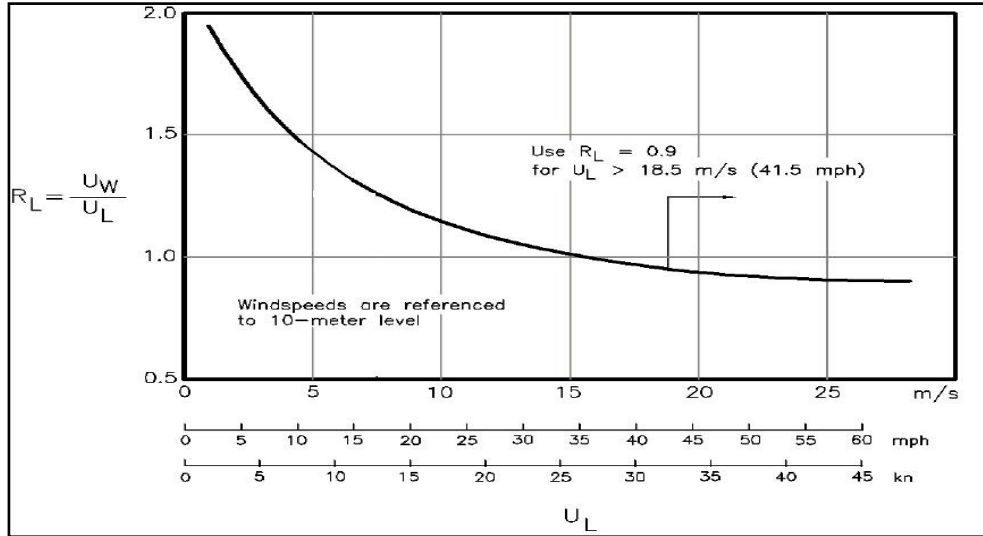


Figura 8.10.- Velocidad del viento sobre el agua y la tierra.

Fuente: CEM 2008.

La altura de ola significativa (H_{mo}) es de 1,5 m y el periodo peak (T_p) es de 4,4 segundos. Para cualquier otra condición de viento, se puede aplicar este cálculo que está disponible en el Coastal Engineering Manual.

8.1.3. MORFOLOGÍA COSTERA

Para realizar un análisis morfológico costero y permitir una simplicidad en los cálculos, Bernabeu, Medina, Vidal & Muñoz-Pérez (2001), indican que se requieren plantear ciertas hipótesis, ya que la diversidad de procesos actuantes hace muy complejo obtener un resultado, además durante mucho tiempo el principal modelo de cálculo tenía como base los procesos hidrodinámicos, aplicándose en los últimos años las variables geológicas.

Uno de los conceptos que permiten simplificar el estudio de la morfología costera es el “perfil de equilibrio”, el cual plantea una hipótesis simplificada e introduce dos conceptos; la forma en planta y el perfil de playa o fondo. Respecto al perfil de fondo, todos mantienen una forma similar a la Figura 8.11.-; pendiente pronunciada cercana a la costa y en un punto, esta comienza a decrecer progresivamente al interior del mar, lo que ha permitido establecer algunas relaciones importantes como modelos de predicción y herramientas de cuantificación.

Para dar una definición de perfil de fondo, Larson (1991), citado por Bernabeu **et al.** (2001, p.228), definió el perfil de equilibrio como una playa que estando expuesta a variables del oleaje y corrientes, con un tamaño de grano determinado, no presenta variaciones de su perfil en el tiempo y el transporte transversal de sedimentos es nulo. Es claro que estas acepciones no se encuentran en la naturaleza, ya que las condiciones meteorológicas y muchas otras no son constantes, pero si se encuentran acotadas, por lo que el perfil también lo estará.

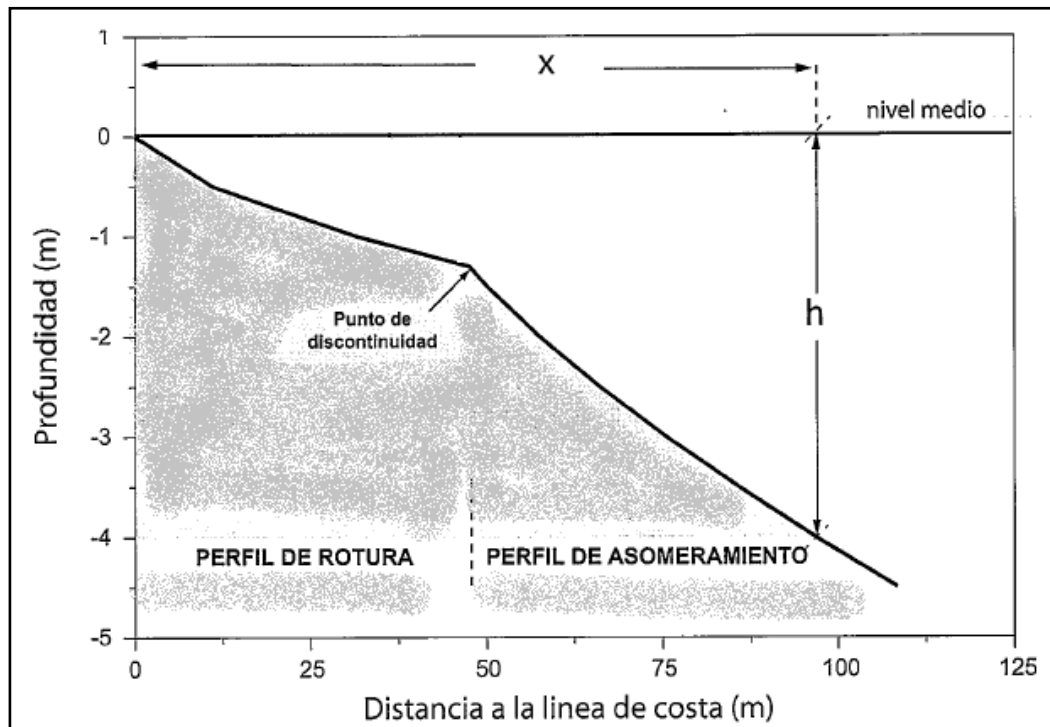


Figura 8.11.- Perfil de playa.

Fuente: Modificada de Bernabeu et al., 2001.

Dean (1977), citado por Bernabeu **et al.** (2001, p.228), fue quien definió uno de los modelos más utilizados para el cálculo del perfil de equilibrio de playa, utilizando para esto una serie de perfiles de la costa atlántica y a través de un ajuste por mínimos cuadrados llegó a la expresión:

$$h = Ax^{2/3}$$

Ec. 8.9.-

Donde:

h : Variación de la profundidad.

A : Coeficiente de forma del perfil y es función de la disipación de energía. Dean lo definió como una función del tamaño del grano donde $A = 0,51 w^{0,44}$ siendo “w” la velocidad de caída del grano (m/s).

x : Distancia de la línea de costa.

De lo anterior Dean concluyó que:

- Usualmente son cóncavos hacia arriba.
- Un menor tamaño de arena origina un perfil con pendiente más suave.
- El frente de playa es usualmente lineal.
- Olas peraltadas dan lugar a pendientes más suaves y con tendencia a formación de barras.

El trabajo presentado por Bernabeu **et al.** (2001), permite una mejor comprensión del modelo planteado por Inman, Hany, Elwany & Jenkins (1993), el cual de acuerdo a la Figura 8.12.-, divide el perfil en dos tramos; uno de rotura y otro de Asomeramiento.

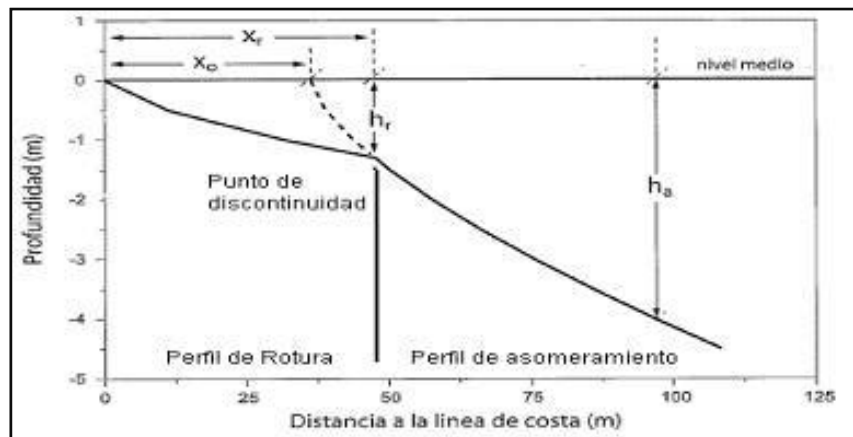


Figura 8.12.- Modelo de perfil de equilibrio.

Fuente: Bernabeu, et al. (2001)

Lo que puede resolver la ingeniería de playas, en el contexto de la morfología costera y la interacción del ser humano con el medio, Sánchez & Jiménez (1994, p.111), lo aborda desde tres puntos de vista:

- Los procesos actuantes.
- Los modelos disponibles.
- Los proyectos de ingeniería.

- Los procesos actuantes: Los procesos en la franja costera se podrían dividir desde el punto de vista de su predicción en movimientos de agua, sedimento que serían los menos predecibles y las solicitaciones las cuales pueden ser predecibles a grandes rasgos. Todo lo anterior tiene respuestas desconocidas o un “comportamiento caótico”, predecible a ciertas escalas.
- Los modelos disponibles: Son solo aproximaciones de la realidad, siendo el modelo físico más preciso, siempre que su escala sea más cerca de la realidad. El modelo numérico simplifica demasiado los procesos y reproduce los fenómenos en un corto periodo de tiempo. Por último el modelo de campo es caro y limitado.
- Los proyectos de ingeniería: Los proyectos marítimos siempre tienen un componente de incertidumbre asociadas a la ejecución y puesta en marcha y las mantenciones asociadas. Las obras no se perpetúan en el tiempo ya que están siempre expuestas a los procesos actuantes.

Por lo anterior y lo afirmado por Sánchez & Jiménez (1994, p.111): “El trabajo de la morfología costera es complejo y sigue necesitando de un juicio experto para los procesos no modelables o de alguna manera introducir los efectos de las escalas de tiempo espacio que no son consideradas en el planteamiento de problema”.

8.2. ASPECTOS LEGALES

8.2.1. RESUMEN DEL DS 90/2000

Este Decreto fue elaborado en base a la protección ambiental; define la cantidad máxima permitida para un contaminante, abarca un ámbito territorial de aplicación de la norma, regula diferentes tipos de fuentes emisoras, establece programas y plazos de cumplimiento, metodologías de medición y control y delimita las Instituciones que fiscalizan. Dentro de lo anterior, es necesario indicar las definiciones que hace la norma respecto a:

- a) Carga contaminante media diaria: Cociente entre la masa o volumen de un contaminante y el número de días en que se descarga el residuo líquido al cuerpo de agua, durante el mes del año en que se genera la máxima producción de dichos residuos. La masa o volumen de un contaminante corresponde a la suma de las masas o volúmenes diarios descargados durante dicho mes. La masa se determina mediante el producto del volumen de las descargas por su concentración.
- b) Contenido de captación: Concentración media del contaminante presente en la captación de agua de la fuente emisora, siempre y cuando dicha captación se realice en el mismo cuerpo de agua donde se produzca la descarga.
- c) Contenido natural: Concentración de un contaminante en el cuerpo receptor, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del cuerpo de agua más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico.
- d) Cuerpos de agua receptor o cuerpo receptor: Es el curso o volumen de agua natural o artificial, marino o continental superficial, que recibe la descarga de residuos líquidos. No se comprenden en esta definición los cuerpos de agua artificiales que

contengan, almacenen o traten relaves y/o aguas lluvias o desechos líquidos provenientes de un proceso industrial o minero.

- e) DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y a 20 °C.
- f) Descargas de residuos líquidos: Es la evacuación o vertimiento de residuos líquidos a un cuerpo de agua receptor, como resultado de un proceso, actividad o servicio de una fuente emisora.
- g) Fuente emisora: Establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior a los parámetros indicados en la Ley
- h) Fuentes existentes: Son aquellas fuentes emisoras que a la fecha de entrada en vigencia de la norma se encuentren vertiendo sus residuos líquidos.
- i) Fuentes nuevas: Son aquellas fuentes emisoras que a la fecha de entrada en vigencia de la norma, no se encuentren vertiendo sus residuos líquidos.
- j) Residuos líquidos, aguas residuales o efluentes: Son aquellas aguas que se descargan desde una fuente emisora, a un cuerpo receptor.
- k) Sólidos sedimentables y suspendidos totales: Son aquellos que se adecuan a la definición contenida en la NCh 410.Of 96. No se consideran en este concepto aquellos sólidos que son vertidos mediante la utilización de aguas, como forma de transporte de residuos sólidos, en un lugar de disposición legalmente autorizado.
- l) Tasa de dilución del efluente vertido (d): Es la razón entre el caudal disponible del cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos, expresado en las mismas unidades. La Tasa de Dilución será, entonces, la siguiente:

$$d = \frac{\text{Caudal disponible del cuerpo receptor} *}{\text{Caudal medio mensual del efluente vertido} **}$$

Ec. 8.10.-

* = Cantidad de agua disponible expresada en volumen por unidad de tiempo para determinar la capacidad de dilución en un cuerpo receptor (determinado por la Dirección General de Aguas).

** = Suma de los volúmenes de residuos líquidos, descargados diariamente durante el mes, dividido por el número de días del mes en que hubo descargas.

En la Tabla 4.1.- esta la información de los límites máximos permitidos para descargas de residuos líquidos y las exclusiones a la norma en aguas continentales superficiales y marinas.

Para una mejor comprensión del uso de las tablas contenidas en el DS 90/2000, la Figura 8.13.- grafica su aplicación, las que se definen como:

Tabla 1 : Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales.

Tabla 2 : Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales, considerando capacidad de dilución del receptor.

Tabla 3 : Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustre.

Tabla 4 : Cuerpo de agua marino dentro de la ZPL.

Tabla 5 : Cuerpo de agua marino fuera de la ZPL.

Las últimas dos columnas de la tabla corresponden a:

Cumplimiento : Si cumple esta condición, no está sujeto a la norma.

Cargas : Es el establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados.

* : En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml de Coliformes Fecales o Termo tolerantes.

** : Para los residuos líquidos provenientes de plantas de tratamientos de aguas servidas domésticas, no se considerará el contenido de algas.

*** : La determinación del contaminante corresponderá a la suma de las concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl, nitrito y nitrato. El método Kjeldahl es un proceso de análisis químico para determinar el contenido en nitrógeno de una sustancia química.

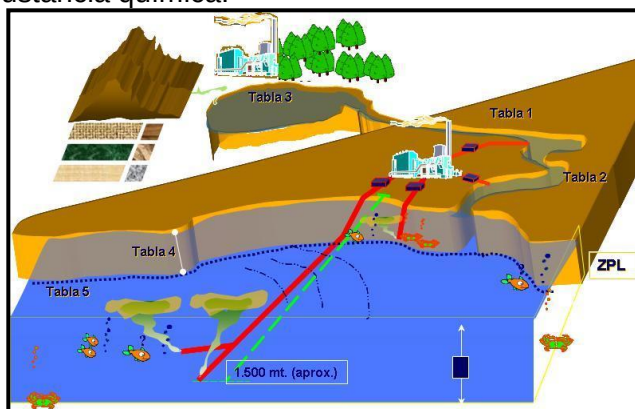


Figura 8.13.- Tablas del DS 90/2000.

Fuente: Disponible desde <http://www.directemar.cl> con acceso el día 18 de septiembre de 2011.

TABLA 8.3.- CUADRO RESUMEN DS 90/2000.
Fuente: Elaboración propia.

Detalle Contaminantes	Unidad	Sigla	Aguas					Cumplimiento	
			Fluviales		Lacustres	Marinas			
			Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3	Tabla 4	Tabla 5	Valor	Carga
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20	50	20	20	350	60	960 g/d
Aluminio	mg/L	Al	5	10	1	1	10	1	16 g/d
Arsénico	mg/L	As	0,5	1	0,1	0,2	0,5	0,05	0,8 g/d
Boro	mg/L	B	0,75	3				0,75	12,8 g/d
Cadmio	mg/L	Cd -	0,01	0,3	0,02	0,02	0,5	0,01	0,16 g/d
Cianuro	mg/L	CN -	0,2	1	0,5	0,5	1	0,2	3,2 g/d
Cloruros	mg/L	Cl	400	2000				400	6400 g/d
Cobre Total	mg/L	Cu	1	3	0,1	1	3	1	16 g/d
Coliformes. Fecales. o Termotolerantes	nmp/100 ml	Coli/100 ml	1000	1000	1000-70*	1000-70*		107	1,6x10 ¹² coli/d
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5	1	0,5	0,5	1	0,05	0,8 g/d
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0,05	0,2	0,2	0,2	0,5	0,05	0,8 g/d
Cromo Total	mg/L	Cr Total			2,5	2,5	10	0,1	1,6 g/d
DBO5	mg O2/L	DBO5	35 **	300	35	60		250	4000 g/d
Estaño	mg/L	Sn			0,5	0,5	1	0,5	8 g/d
Fósforo	mg/L	P	10	15	2	5		10	160 g/d
Fluoruro	mg/L	F -	1,5	5	1	1,5	6	1,5	24 g/d
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10	50				10	160 g/d
HidrocarburosTotales	mg/L	HCT			5	10	20	11	176 g/d
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HCV				1	2	1	16 g/d
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	5	10	2	10		1	16 g/d
Manganeso	mg/L	Mn	0,3	3	0,5	2	4	0,3	4,8 g/d

TABLA 8.3.- CUADRO RESUMEN DS 90/2000. PARTE 2.

Detalle Contaminantes	Unidad	Sigla	Aguas					Cumplimiento	
			Fluviales		Lacustres	Marinas			
			Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3	Tabla 4	Tabla 5	Valor	Carga
Mercurio	mg/L	Hg	0,001	0,01	0,005	0,005	0,02	0,001	0,02 g/d
Molibdeno	mg/L	Mo	1	2,5	0,07	0,1	0,5	0,07	1,12 g/d
Níquel	mg/L	Ni	0,2	3	0,5	2	4	0,1	1,6 g/d
Nitrógeno Total Kjeldahl ***	mg/L	NKT	50	75	10	50		50	800 g/d
Pentaclorofenol	mg/L	C6OHCl5	0,009	0,01				0,009	0,144 g/d
PH	Unidad	pH	6,0 -8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 9,0	5,5 - 9,0	6 - 8	---
Plomo	mg/L	Pb	0,05	0,5	0,2	0,2	1	0,2	3,2 g/d
Poder Espumógeno	mm	PE	7	7				5	5 mm
SAAM	mg/L	SAAM			10	10	15	10	160 g/d
Selenio	mg/L	Se	0,01	0,1	0,01	0,01	0,03	0,01	0,16 g/d
Sólidos Sedimentales	ml/1/h	S SED			5	5	50	6	---
Sólidos Suspendidos Ttales	mg/L	SS	80**	300	80	100	700	220	3520 g/d
Sulfatos	mg/L	SO42-	1000	2000	1000			300	4800 g/d
Sulfuros	mg/L	S2-	1	10	1	1	5	3	48 g/d
Temperatura	C°	T°	35	40	30	30		6 - 8	---
Tetracloroetano	mg/L	C2Cl4	0,04	0,4				0,04	0,64 g/d
Tolueno	mg/L	C6H5CH3	0,7	7				0,7	11,2 g/d
Triclorometano	mg/L	CHCl3	0,2	0,5				0,2	3,2 g/d
Xileno	mg/L	C6H4C2H6	0,5	5				0,5	8 g/d
Zinc	mg/L	Zn	3	20	5	5	5	1	16 g/d
Nitrito más Nitrato (lagos)	mg/L							15	240 g/d

8.2.2. RESUMEN DE LA CIRCULAR A-53/004

Uno de los objetivos planteados en este trabajo, es la revisión de las solicitudes de ZPL tramitadas ante la Autoridad Marítima de Chile, el estado actual del cumplimiento de la norma y estadísticas de conocimiento público entregadas por las autoridades competentes. Para lo anterior, es imperativa la revisión de la Circular A-53/004, por lo que, luego de una rigurosa lectura, se logró establecer que existen diversas observaciones al documento citado anteriormente, las cuales se detallan a continuación:

Lo anterior permite considerar a continuación, un resumen de la citada circular, para entender dentro de qué se enmarca la metodología.

Como una forma de aplicar el DS 90/2000, que establece la norma de emisión para regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, la DIRECTEMAR emitió la Circular A-53/004, la que establece disposiciones y procedimientos científico – técnicos para fijar el ancho de la ZPL. Este instructivo indica que los residuos líquidos deben ser aprobados por la AM, la cual debe comparar cada parámetro con el respectivo límite máximo establecido en el DS 90/2000.

El interesado podrá calcular y proponer la ZPL mediante fundamento técnico o solicitar a la AM, que fije el ancho, debiendo para ambos casos entregar información de caracterización de oleaje. El uso de la ZPL debe ser indicado en la información que se entregue a la AM, el que puede ser; turístico, recreativo, descargas de residuos líquidos, área de protección natural; así como también, la existencia o estado de tramitación de la concesión marítima correspondiente. Las mediciones e investigaciones deben ajustarse a lo dispuesto en el D. S. (M) N° 711 (1975), Reglamento de Control de las Investigaciones Científicas y Tecnológicas Marinas efectuadas en la zona marítima de jurisdicción nacional.

Todas las solicitudes de ZPL se hacen a la Capitanía de Puerto de la jurisdicción, con los plazos detallados en la Tabla 4.1.-, y el procedimiento debe ser el siguiente:

- a) Se calcula usando la fórmula:

$$A = \left(\frac{1,28 * H_b}{m} \right) * 1,6$$

Ec. 8.11.-

Donde:

A = Ancho de la ZPL (metros)
H_b = Altura media de rompiente (metros)
m = Pendiente del fondo

El ancho de la ZPL es proporcional a la altura de rompiente (H_b) y es menor cuanto mayor es la pendiente del fondo (m), por lo que el ancho de ZPL (A) es dependiente del valor de “m”.

- b) Debe incluir la siguiente información:

- *Oleaje*; con la recopilación de información sobre oleaje promedio de verano e invierno, debiendo ser refractado hasta un punto arbitrario de la costa de interés. Se elegirá la zona más industrializada y con un mayor potencial de descarga. Para obtener datos de olas, se puede recurrir a varias fuentes de Internet.
- *Pendiente del Fondo* (m); la información batimétrica, a partir de cartas oficiales del SHOA (escala de 1:30000) o se deberá presentar una medición de sonda con escandallo en una franja de 5 m de ancho hasta la isobata de 15 m a lo menos y con las correcciones correspondientes, indicándose la distancia a la costa.
- También puede recurrirse a información del estudio de ingeniería que acompaña a un emisario, o bien realizar un sondeo simple con escandallo para estimar la pendiente. Lo anterior, permite una enorme simplificación en el cálculo del ancho de la ZPL, ya que basta con conocer H_b (altura de la rompiente) y la distancia a costa de la isobata de 10 m, para tener el ancho de la ZPL. La ecuación propuesta tiene ciertas restricciones que deben ser consideradas al momento de efectuar el cálculo, estas son; cuando H_b es inferior a 0,5 m y cuando la pendiente del fondo es superior a 0,1.

c) La Gobernación Marítima verificará que:

- La propuesta se ajuste al DS. 90/2000.
- Las fuentes de obtención de datos (oleaje y pendiente) y que ambos parámetros hayan sido obtenidos desde registros para el período estival como invernal.
- Que el valor de H_b empleado corresponda a aquel registrado en las condiciones más desfavorables.
- Se identifique el DS. que otorga la concesión marítima para el proyecto deseado (indicar el objeto de la ZPL), o el estado de tramitación de ella.
- Cuando corresponda uso de carta SHOA en escala 1:30.000 o de mayor resolución, o bien que se incluya un sondeo del área mediante escandallo en una franja de 5 m de ancho hasta la isobata de 15 m (a lo menos), indicando las distintas distancias desde la costa de las isobatas 5, 10 y 15 metros.

TABLA 8.4.- PLAZOS CON PROPUESTA.

Fuente: Elaboración propia.

Unidad que realiza la tramitación	Días de duración
Entrega por interesado (Inicio del Proceso)	
Capitanía de Puerto o Gobernación Marítima	15
Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático	2
Servicio de Preservación del Medio Ambiente Acuático	10
Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático	15
Capitanía de Puerto o Gobernación Marítima	5
Resolución al interesado (Término del proceso).	FIN

d) En aquellas propuestas en que se verifique que H_b es inferior a 0,5 m y la pendiente del fondo es superior a 0,1, el interesado deberá efectuar:

- Un estudio de altura de olas y corrientes ejecutado y aprobado conforme a las disposiciones del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- Un estudio batimétrico ejecutado y aprobado conforme a las disposiciones del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, que permita determinar la pendiente y distancia de costa adecuadas (restricciones en el numeral 5 de la Circular.)

Cuando el ancho de ZPL sea requerido directamente por el interesado, sin proponer un valor, los plazos están detallados en la Tabla 4.5.- y deberá presentar a la Capitanía de Puerto o Gobernación Marítima un informe que contenga los siguientes datos mínimos de acuerdo a la Tabla 4.3.-:

TABLA 8.5.- ALTURA DE OLA ROMPIENTE.
Fuente: Circular A-53/004.

Detalle	H _b (m)
Promedio del período	
Promedio de los máximos registrados en el período	
Promedio período estival	
Promedio período invernal	
Promedio de los máximos para el período estival	
Promedio de los máximos para el período invernal	

Para estimar la altura de rompiente (H_b), se podrá emplear la relación propuesta por Komar y Gaughan (1972) y las modificaciones introducidas por Rattanapitikon y Shibayama, es decir:

$$H_b = (10,02m^3 - 7,46m^2 + 1,32m + 0,55) * H_s \left(\frac{H_s}{L_o} \right)^{-\frac{1}{5}}$$

Ec. 8.12.-

Donde;

H_b : Altura media de rompiente en metros.

m : Pendiente.

H_s : Altura de la ola en metros.

L_o : Amplitud de onda en metros.

Para la pendiente se piden los datos detallados en la Tabla 4.4.-:

TABLA 8.6.- TABLA DE CARACTERIZACIÓN COSTERA.
Fuente: Circular A-53/004.

Punto	Pendiente (m)	Profundidad (m)	Distancia de la costa (m)
1		5	
2		10	
3		15	

TABLA 8.7.- PLAZOS SIN PROPUESTA.
Fuente: Elaboración propia.

Unidad que realiza la tramitación	Días de duración
Entrega por interesado (Inicio del Proceso)	
Capitanía de Puerto o Gobernación Marítima	10
Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático	2
Servicio de Preservación del Medio Ambiente Acuático	5
Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático	15
Capitanía de Puerto o Gobernación Marítima	5
Resolución al interesado (Término del proceso).	

Un esquema general del área, indicando la batimetría a partir de cartas oficiales del SHOA, con una escala de 1:30.000 o de mayor resolución señalando número y escala de la carta.

En la determinación del ancho de ZPL, se tendrá presente la opinión emitida por la Gobernación Marítima dependiente.

En caso de observaciones a los antecedentes recibidos, de inmediato se deberá comunicar al interesado respecto de ellos, procediéndose a congelar los plazos de la tramitación del ancho de ZPL, hasta que éstos sean debidamente subsanados y/o aclarados.

Existen lugares donde la Autoridad Marítima no autorizará descargas, independiente de la concentración final de esta. Además, una descarga puede resultar incompatible con otros usos legítimos del borde costero, incluida la protección de las comunidades acuáticas y recursos hidrobiológicos existentes en el lugar. Estas áreas son:

- Lagunas costeras.
- Humedales marinos con carácter de área protegida.
- Balnearios.
- Loberas.
- Parques o Reservas Marinas.
- Cuerpos de agua con restringida circulación o escasa capacidad de renovación de sus aguas.

8.2.3. NORMATIVA INTERNACIONAL.

El principio fundamental de incluir las normas internacionales para la protección ambiental, tiene relación con exponer que las directrices internacionales apuntan a limitar los vertidos, estando estos definidos y detallados. En términos generales, estas normas no apuntan a condiciones de protección por oleaje (factor fundamental para la norma chilena), sino más bien tener muy definidos los espacios protegidos.

La Comunidad Económica Europea emitió la Directiva 76/464/CEE del Consejo, del 4 de mayo de 1976, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad. Doce 129/L, del 18 de Mayo de 1976, de la que a continuación se resume

El artículo 1 define la aplicación de la Directiva y lo que se entiende por:

Aguas interiores superficiales: Todas las aguas continentales superficiales estancadas o corrientes situadas en el territorio de uno o varios Estados miembros.

Aguas interiores del litoral: Las aguas situadas antes de la línea de base que sirve para medir la anchura del mar territorial y que, en el caso de los cursos de agua, se extienden hasta el límite de las aguas continentales.

Límite de las aguas continentales: Lugar del curso de agua en el que, durante la marea baja en las épocas de débil caudal de agua continental, el grado de salinidad aumenta considerablemente como consecuencia de la presencia de agua de mar.

Vertido: La introducción en las aguas de las sustancias enumeradas en la lista I y II, con excepción de: Vertidos de lodos de dragado, vertidos operativos efectuados desde buques en las aguas de mar territoriales e inmersión de residuos efectuada desde buques en las aguas de mar territoriales.

Contaminación: vertido de sustancias o de energía efectuado por el hombre en el medio acuático, directa o indirectamente, que tenga consecuencias que puedan poner en peligro la salud humana, perjudicar los recursos vivos y el sistema ecológico acuático, causar daños a los lugares de recreo u ocasionar molestias para otras utilizaciones legítimas de las aguas.

El artículo 3 determina en relación con la lista I: Todo vertido requerirá una autorización previa expedida por la autoridad competente del Estado miembro de que se trate. Para los vertidos de dichas sustancias en el alcantarillado, la autorización fijará las normas de emisión. Para los vertidos actuales, los emisores deberán ajustarse, en el plazo señalado por la autorización, a las condiciones previstas por ella.

La autorización sólo podrá concederse por un plazo limitado. Podrá renovarse, teniendo en cuenta eventuales modificaciones de los valores límite.

El artículo 4 especifica lo que se compromete cada Estado miembro: Emisión cero de vertidos en aguas subterráneas, sustancias de la lista I. De las aguas subterráneas; disposiciones relativas a las sustancias pertenecientes a las categorías y grupos de sustancias incluidos en la lista II.

No se aplicarán a los efluentes domésticos ni a las inyecciones efectuadas en las capas profundas, saladas e inutilizables, ni a las aguas subterráneas cuando se aplique una Directiva específica sobre las aguas subterráneas.

Artículo 5	
Las normas de emisión	Concentración máxima de una sustancia admisible en los vertidos.
	La cantidad máxima de una sustancia admisible en los vertidos durante uno o varios períodos determinados. En caso necesario, esta cantidad máxima podrá además expresarse en unidad de peso del contaminante por unidad de elemento característico de la actividad contaminante (por ejemplo unidad de peso por materia prima o por unidad de producto).
Flexibilidad	Para cada autorización la autoridad competente del Estado miembro de que se trate podrá fijar, en caso necesario, unas normas de emisión más severas que resulten de la aplicación de los valores límite, teniendo en cuenta en particular la toxicidad, la persistencia y la bioacumulación de la sustancia de que se trate en el medio en que se efectúe el vertido.
Imposibilidad de cumplir la norma	Cuando la autoridad competente del Estado miembro de que se trate compruebe esta imposibilidad, la autorización será denegada.
	Cuando no se respeten las normas de emisión, la autoridad competente del Estado miembro de que se trate adoptará todas las medidas oportunas para que se cumplan las condiciones de la autorización y, en caso necesario, para que se prohíba el vertido.

LISTA I (artículo 6)	
Valores Límite	Por la concentración máxima de una sustancia permitida en los vertidos.
	Por la cantidad máxima de una sustancia de esta clase, expresada en unidad de peso del contaminante por unidad de elemento característico de la actividad contaminante (por ejemplo, unidad de peso por materia prima o por unidad de producto).
	Si fuera oportuno, los efluentes industriales se establecerán por sector y tipo de producto.
	Se determinarán principalmente sobre la base de; su toxicidad, persistencia, bioacumulación, habida cuenta de los mejores medios técnicos disponibles.
	Se aplicarán en toda la región eventualmente afectada por los vertidos, excepto en los casos en que un Estado miembro pueda demostrar a la Comisión, que los objetivos de calidad o unos objetivos de calidad más estrictos establecidos por la Comunidad, se alcanzan y mantienen permanentemente.
	El Consejo establecerá los límites de los plazos previstos en función de las características propias de los sectores industriales afectados ya, en su caso, de los tipos de productos.
Objetivos de Calidad	En función de la toxicidad.
	En función de la persistencia.
	La acumulación de dichas sustancias en los organismos vivos y en los sedimentos, determinadas con arreglo a los datos científicos concluyentes más recientes.

	<p>Todo lo anterior, habida cuenta de las diferentes características existentes entre las aguas de mar y las aguas continentales.</p>
	<p>La Comisión informará al Consejo sobre los casos en que haya aceptado recurrir al método de los objetivos de calidad. Sobre la base de una propuesta de la Comisión, el Consejo volverá a examinar cada cinco años los casos de aplicación de dicho método.</p>

De los programas, el artículo 7 indica que se ajustan a esta Directiva; efluentes que contengan sustancias de la lista II requerirán una autorización previa, expedida por la autoridad competente del Estado miembro de que se trate, en la que se señale la norma de emisión.

Indican los objetivos de calidad para las aguas; disposiciones específicas relativas a la composición y al empleo de sustancias o grupos de sustancias así como productos. Tendrán en cuenta los progresos técnicos más recientes económicamente viables.

Plazos para su ejecución; se comunicarán a la Comisión en forma resumida, al igual que sus resultados. Se correlacionarán entre la Comisión y los Estados Miembros. Si lo considera necesario, presentará con tal fin al Consejo unas propuestas en la materia.

A los fines de la aplicación de la presente Directiva, los Estados miembros proporcionarán a la Comisión toda la información necesaria, y en particular los pormenores acerca de las autorizaciones concedidas, los resultados del inventario previsto en el artículo 11, los resultados de la vigilancia efectuada por la red nacional e información complementaria de los programas previstos. Las informaciones obtenidas en aplicación de la presente Directiva, sólo podrán ser utilizada con la finalidad para la que se soliciten.

La Comisión y las autoridades competentes de los Estados miembros, así como sus funcionarios y demás agentes, estarán obligados a no divulgar las informaciones obtenidas en aplicación de la presente Directiva y que, por su naturaleza, estén amparadas por el secreto profesional.

Lo dispuesto en los párrafos anteriores no impedirá la publicación de informaciones generales o estudios que no incluyan indicaciones individuales acerca de las empresas o asociaciones de empresas.

El Consejo, a propuesta de la Comisión, que actuará por iniciativa propia o a instancia de un Estado miembro, revisará y, en caso necesario, completará, las listas I y II teniendo en cuenta la experiencia adquirida, trasladando en su caso determinadas sustancias de la lista II a la lista I.

España es un referente en los temas marítimos, por lo que es pertinente incluir un extracto resumen de la Ley de Costas Españolas; Título III, "Utilización del dominio público marítimo – terrestre, capítulo IV, Sección 2 "Vertidos", que comprende los Artículos 56 al 62. Se aplica a los vertidos líquidos o sólidos de cualquier bien de dominio público al cual se realicen. Los que sean de buques y aeronaves serán regulados por su legislación específica. Los vertidos de residuos sólidos y escombros al mar, su rivera o la zona de servidumbre estarán prohibidos, salvo que sean usados como rellenos

debidamente autorizados por la Administración competente con sujeción a la legislación Estatal autónoma.

En el caso de vertidos contaminantes, se rigen a lo previsto en las normas a que se refiere el artículo 34, siendo necesario que el peticionario justifique previamente la imposibilidad o dificultad de aplicar una solución alternativa para la eliminación o tratamiento de dichos vertidos. No podrán verse sustancias ni introducirse formas de energía que puedan significar un peligro o perjuicio superior al admisible para la salud pública y el medio ambiente, con arreglo a la normativa vigente.

Artículo 34, N°.1: La Administración del Estado, sin perjuicio de las competencias de Comunidades Autónomas o Ayuntamientos, dictará las normas generales y las específicas para tramos de costas determinados, sobre protección y utilización del dominio público marítimo - terrestre, con sujeción a lo previsto en esta Ley. Tales normas incluirán directrices sobre las siguientes materias:

- Realización de actuaciones de defensa, regeneración, recuperación, mejora y conservación del dominio público.
- Prioridades para atender las demandas de utilización, existentes y previsibles, en especial sobre servicios de temporada en playas, vertidos, y extracciones de áridos en la ribera del mar y en los terrenos calificados de dominio público en virtud de los artículos 4 y 5.
- Localización en el dominio público de las infraestructuras e instalaciones, incluyendo las de eliminación de aguas residuales y vertidos al mar.
- Otorgamiento de concesiones y autorizaciones.
- Régimen de utilización de las playas, seguridad humana en los lugares de baño y demás condiciones generales sobre uso de aquéllas y sus instalaciones.
- Adquisición, afectación y desafectación de terrenos.

Artículo 34, N° 2: Las normas específicas serán sometidas a informe de la Comunidad Autónoma y el Ayuntamiento correspondiente, con carácter previo a su aprobación.

Las autorizaciones deberán contener; plazos de vencimiento (no superior a 30 años), instalaciones de tratamiento, depuración y evacuación, estableciendo sus características y los elementos de control de su funcionamiento, con fijación de las fechas de inicio y termino de su ejecución, así como de su entrada en servicio, volumen anual de vertido, canon de vertido, límites cualitativos del vertido y plazos si proceden, para la progresiva adecuación de las características del efluente a los límites impuestos, evaluación de los efectos sobre el medio receptor, objetivos de calidad de las aguas en la zona receptiva y previsiones que, en caso necesario, se hayan de adoptar para reducir la contaminación.

El artículo 58 indica que; la Administración competente podrá modificar las condiciones de las autorizaciones de vertido, sin derecho a indemnización, cuando las circunstancias que motivaron su otorgamiento se hubiesen alterado o bien sobrevinieran otras que, de haber existido anteriormente, habrían justificado su denegación o el otorgamiento en términos distintos. Si la Administración lo considera necesario, podrá suspender los efectos de la autorización hasta que se cumplan las nuevas condiciones establecidas.

La Administración podrá realizar los análisis e inspecciones pertinentes cuantas veces sea necesario, además se faculta a constituir juntas de usuarios con el objeto de efectuar

el tratamiento conjunto y vertido final de efluentes líquidos. El incumplimiento de las disposiciones indicadas por la Administración, el titular está expuesto a la caducidad de la concesión. Se podrá requerir un estudio hidrogeológico en el caso que el vertido sea contaminante y pueda filtrarse o almacenarse en capas subterráneas. Se dispone que para los terminales petroleros o de descarga de hidrocarburos, tanto en la costa como en alta mar, existan los medios para prevenir y combatir derrames. Una autorización de concesión que origine efluentes estará condicionada a la obtención de autorización para estos efluentes. La Administración se reserva el derecho de prohibir, en zonas concretas, aquellos procesos industriales cuyos efluentes, a pesar del tratamiento a que sean sometidos, puedan constituir riesgo de contaminación superior a la admisible, según la normativa vigente, bien sea en su funcionamiento normal o en caso de situaciones excepcionales previsibles.

La base del uso de la zona costera en Cuba es el Decreto Ley 212 “Gestión de la Zona Costera”, de fecha 14 de agosto de 2000, la que establece en su artículo 6, apartado 1, inciso c), como uno de los componentes que integran la zona costera los recursos naturales vivos y no vivos contenidos en esta zona, incluyendo los bosques protectores.

En el artículo 4, inciso d), en el caso de la costa baja de manglar, el límite de la zona costera comprende las extensiones de manglar asociadas con las ciénagas, esteros, lagunas costeras y los terrenos bajos que reciben la influencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua de mar. Su límite hacia tierra está dado por la penetración máxima del bosque de mangle: Si apareciere vegetación de ciénaga, el límite será fijado por el borde externo hacia tierra de dicho bosque.

El artículo 18, apartado 2, inciso b), preceptúa que en la zona de protección de la zona costera se pueden desarrollar cultivos y plantaciones agrícolas siempre y cuando no provoquen el desplazamiento de la vegetación natural.

En el artículo 26, apartado 1, indica “En los cayos o penínsulas donde no se cumplan las distancias establecidas para la zona costera y su zona de protección, o los de extrema fragilidad por su estado de desarrollo geomorfológico, superficie cubierta totalmente por vegetación de manglar o incipiente desarrollo de sus playas, no se autorizarán construcciones de ningún tipo, salvo que por interés de la defensa y la seguridad nacional sea necesario”.

En resumen, el Decreto Ley 212 define la zona costera, determina los límites en función de las características propias del lugar; costa baja de manglar, costa acantilada, de playa, terrazas bajas, desembocadura de los ríos o zonas urbanizadas, no limitando los asuntos de manejo costero a la extensión territorial descrita anteriormente, sino también a elementos del contexto social, ambiental e Institucional que no necesariamente estén asociados a una franja tan precisa y estrecha de interacción agua, tierra y mar.

Con relación al vertimiento de residuos líquidos y disposición de desechos sólidos en la zona costera, se establece dentro de las prohibiciones reguladas en el artículo 16, inciso g) “La disposición final de los desechos sólidos y líquidos provenientes de cualquier actividad, cuando no cumplan con las normas de vertimientos establecidas”. En este sentido se encuentran en vigor la Norma Técnica Cubana TS 360:2004 “Vertimiento de Aguas Residuales a la Zona Costera y Aguas Marinas. Especificaciones” y la Norma

Técnica Cubana 135/2002 "Residuos Sólidos Urbanos. Disposición Final. Requisitos Higiénicos Sanitarios y Ambientales".

La normativa anteriormente descrita está amparada por la Ley 81, "Del Medio Ambiente" a la que resulta complementaria la legislación sectorial; Decreto-Ley 138 "De las Aguas Terrestres", Decreto 199 "Contravenciones de las Regulaciones para la Protección y Uso Racional de los Recursos Hidráulicos" y Decreto-Ley 164 "Reglamento de Pesca", todas vigentes a la fecha.

Respecto a los Tratados Bilaterales, la determinación de la Zona de Protección Litoral obedece a compromisos contraídos por Chile con organismos internacionales de protección ambiental como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). El año 1982 se estableció un mecanismo de coordinación regional de cooperación sobre medio ambiente entre el PNUMA y la Región Latinoamericana. La primera de estas reuniones, celebrada en la ciudad de México en marzo de 1982, inició la puesta en marcha de un mecanismo de consultas para la constitución progresiva de un sistema de cooperación regional en materia de medio ambiente.

Entre las principales contribuciones que el PNUMA, en colaboración con sus socios, ha llevado a cabo en materia de gestión ambiental y desarrollo sostenible en América Latina, se destacan las siguientes:

- Un foro latinoamericano y caribeño para la discusión de las preocupaciones comunes en las negociaciones regionales y globales.
- El Convenio para la Protección del Medio Marino y la Zona Costera del Pacífico Sudeste, Lima Perú 1981, así como sus Protocolos y Acuerdos complementarios.
- Un Programa de Derecho Ambiental, que mantiene un sistema de información computarizado sobre el derecho ambiental regional, generando publicaciones y libros de forma periódica; proporcionando asistencia técnica para el desarrollo de la legislación y su aplicación en la región.
- Una Red Regional de Formación en materia de Medio Ambiente.

La prestación de servicios de asesoramiento a los gobiernos sobre temas de evaluación de impacto ambiental, producción limpia, diversidad biológica, desarrollo institucional, capacitación ambiental, manejo de información y datos, entre otros.

Una serie de publicaciones que incluyen temas como el estado de los mares regionales, la economía ambiental, la diversidad biológica, la desertificación y la historia ambiental, enfocados a la Región de América Latina y el Caribe (tanto en inglés como en español).

El "Protocolo para la Protección del Pacífico Sudeste contra la Contaminación de Fuentes Terrestres y Anexos", firmado en Quito, Ecuador, el 22 de julio de 1983, (Decreto 295, del Ministerio de Relaciones Exteriores) define la política regional respecto a las acciones frente a efluentes terrestres vertidos al mar, dentro de la zona económica exclusiva de cada país adherente. Establece las fuentes de contaminación y le da obligaciones generales y específicas a los adherentes de prevenir, reducir o controlar la contaminación, apelando a una auto vigilancia, control y armonizar las políticas regionales. Las

obligaciones respecto a ciertos contaminantes detallados en los anexos adjuntos al decreto, define como serán tratados los contaminantes.

Los países participantes procuraran establecer y adoptar reglas y estándares, así como las prácticas y procedimientos comunes referentes a; emisarios submarinos, efluentes con tratamientos separados, la calidad de las aguas marinas, el control de fuentes terrestres de emisión y la cantidad de descarga.

El protocolo además indica que la Secretaría Ejecutiva estará representada por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (conocida por la sigla CPPS) la que será encargada de coordinar la asistencia técnica y los programas de vigilancia ambiental que demanden los adherentes. Respecto al intercambio de información, esta será detallada como; contaminación de fuentes terrestres, autoridades competentes para combatir la contaminación, programas de investigación, información estadística, datos de vigilancia y cantidad de contaminantes vertidos. El intercambio de datos e información en los campos de la ciencia y tecnología es parte integral del protocolo.

La suscripción a este protocolo permite; la protección del perjuicio que pueda ocasionar la contaminación por parte de los países adherentes, consultar por soluciones satisfactorias y medidas protectoras entre las partes.

Respecto al Decreto 296, correspondiente al “Convenio para la protección del medio marino y la zona costera del pacífico sudeste” firmado en Lima, Perú, el 12 de noviembre de 1981, define; ámbito geográfico, contaminación del medio marino, Autoridad Nacional y Secretaría Ejecutiva (representada por la CPPS.)

Las obligaciones generales se enfocan en adoptar medidas apropiadas para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino y zonas costeras del pacífico sudeste y para asegurar una adecuada gestión ambiental. Otras obligaciones son las de cooperar en la confección de protocolos para la aplicación del convenio y considerar que las leyes y reglamentos emanados por las partes contratantes sean tan eficientes como aquellas normas vigentes de carácter internacional. La cooperación regional respecto a la formulación de normativa para la protección del medio marino y la zona costera, coordinado con la Secretaría Ejecutiva. Siempre la adopción de medidas será sobre la base de no causar perjuicios por contaminación a otras jurisdicciones.

Dentro de las medidas por adoptar de las partes contratantes para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino y la erosión de la zona costera están las destinadas a reducir las descargas de sustancias tóxicas, la contaminación causada por buques, la contaminación proveniente de todos los otros dispositivos e instalaciones que funcionen en el medio marino y la prevención de la actividad humana que propenda a la erosión costera.

En síntesis, Chile mantiene convenios internacionales vigentes, siendo el Convenio Regional para la Protección del Medio Marino y las Zonas Costeras del Pacífico Sudeste, conocido como el Convenio de Lima y sus acuerdos complementarios el que se relaciona con la obligatoriedad de crear una ZPL.

8.2.4. OBSERVACION A LOS INFORMES

Chile es un país que tiene una costa muy particular y para cada caso existen diferentes climas marítimos, además de las particularidades que tiene esta ZPL; corrientes litorales débiles y paralelas a la costa, baja profundidad (poca dilución), la deriva tiende a mantener los contaminantes a la orilla de la costa, zona de reclutamiento de organismos, refugio natural con alta diversidad, área de reproducción y de diversos usos entre otras.

La empresa Aquambiente, por mandato de la DIRECTEMAR, realizó una consultoría de carácter técnico (Aquambiente N° 1207/00, Diciembre 2000) para establecer una ZPL con fundamentos competentes en diferentes sectores del Territorio Nacional y un estudio para la regulación de las descargas mediante emisarios submarinos. Dentro de ese informe se detalla que los valores típicos de rompientes en la costa chilena están dentro del rango de 0,5 m y 4 m, con pendientes de entre 1/100 a 1/40, lo que da como resultado una ZPL de entre 40,9 a 819 metros, además de una serie de recomendaciones respecto a los criterios que debería tomar en cuenta la AM., para normar al respecto. Establecer una norma es una de las principales recomendaciones que hace Aquambiente, considera para esto usar los criterios de ancho por oleaje, ancho por dilución y ancho por las condiciones de hábitat. Además, indica que el ancho puede ser obtenido; aplicando la fórmula, buscando una distancia que asegure que la profundidad de descarga permita una dilución inicial mínima, reconociendo la extensión hacia el mar de las componentes ecológicas de una zona litoral (zonación, sustrato, corrientes, etc.).

Los informes a los que se tuvo acceso, son los que están detallados en la Tabla 4.5.- los cuales están ajustados a la Circular A-53/004 y la mayoría contiene solo datos de estadística descriptiva (promedios, máximos, mínimos, etc.) para oleaje significativo, lo que impide contrastar la metodología de este trabajo con los cálculos realizados por las empresas, ya que para su desarrollo se requiere a lo menos datos de un año (Considerando periodos estivales e invernales). Incluso, el formato de los datos de ubicación Latitud, Longitud, de la ZPL están expresados en formatos distintos, incluso no se detallan, como lo indica la Tabla 4.5.-

Los informes presentados a la Autoridad Marítima no tienen una estructura estándar, coinciden solo en los requerimientos mínimos solicitados, por lo que al revisarlos demanda un mayor tiempo encontrar la información relevante y poder establecer, en lo posible, la exactitud de los datos. Haciendo una comparación entre lo indicado por Aquambiente y los informes de solicitud de ZPL que fueron analizados, existe sólo un valor que excede el típico (978.94 m).

TABLA 8.8.- SOLICITUD DE ZPL POR EMPRESAS.
Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Sector	Latitud S	Longitud W	ZPL
Algas Marinas SA	Punta Purranqui, Ancud	5363808 n	600180 e	230,00 m
Las Vegas del Mar Ltda.	Canal Dalcahue, Chiloé	42 23 13	73 39 50	30,00 m
Inversiones Errazuriz	Punta Cululil, Chonchi	42 37 20	73 45 47	17,00 m
Pesquera Bahía Coronel	Bahía de Coronel, Coronel	37 01 41	73 09 30	138,00 m
Pesquera San José	Bahía Coronel, Coronel	37 01 37	73 09 44	90,24 m
Inmobiliaria Cabilatango	Isla Rocuant, Talcahuano	36 42 45	73 05 35	978,94 m
Spinetech Chile	Pta .Cabeza Vaca, Caldera	31 98 11	70 21 05	35,00 m
Pesquera El Golfo	Bahía de Corral, Valdivia	39 53 30	73 25 15	316,21 m
Pesquera San José	Bahía Chincui, P. Montt	N/E	N/E	82,00 m

8.2.5. CUMPLIMIENTO DE LA NORMA

El día 31 de mayo de 2007, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SSS), dio a conocer los resultados de la primera evaluación del cumplimiento de las normas de emisión de residuos líquidos a cuerpos de agua superficiales y subterráneos DS 90/2000 y el DS 46/2002. El DS 90/2000 indica que las fuentes emisoras deben efectuar el análisis de sus aguas residuales (autocontrol) por medio de laboratorios acreditados y enviar mensualmente dichos controles a la SSS. Como la norma lo indica, la ZPL no es equivalente a la longitud del emisario submarino, pero de todas las solicitudes recibidas por la AM., la gran mayoría se relacionan con la instalación de emisarios, por lo que es válido hacer un análisis de los emisarios instalados a lo largo de la costa de Chile. El DS 90/2000 es una norma que regula las descargas de residuos líquidos y el concepto de ZPL., nace de la necesidad de establecer una zona que esté libre de concentración de ciertos contaminantes, por lo que este Decreto es parte importante para la instalación de emisarios submarinos. El resumen del informe esta detallado en las Tablas 4.7.- y 4.8.-.

TABLA 8.9.- CUMPLIMIENTO POR RUBRO A MARZO DE 2007.
Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios

Totales por Rubro y por cantidad de empresas	Industrias que no descargan contaminantes	Cumplen	No Cumple				Total
			1 parámetro.	2 o más parámetros	Información insuficiente	No Informa	
Agricultura, caza silvicultura y pesca	20	99	7	7	1	32	166
Mineras	2	3	2	3	0	4	14
Manufactureras	61	162	46	47	1	89	406
Otros	4	16	3	8	1	16	48
Sin Información	1	3	0	0	0	3	7
Total General	88	283	58	65	3	144	641

TABLA 8.10.- CUMPLIMIENTO POR TAMAÑO A MARZO 2007
Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios

Totales por Tamaño y por cantidad de empresas	Industrias que no descargan contaminantes	Cumplen	No Cumple				Total
			1 parámetro	2 o más parámetros	Información insuficiente	No Informa	
Grande	42	165	36	39	0	56	338
Mediana	15	22	7	5	1	24	74
Micro	2	3	0	0	0	3	8
Pequeña	11	24	2	4	1	18	60
Sin Información	18	69	13	17	1	43	161
Total General	88	283	58	65	3	144	641

En abril del 2007, la SSS emitió una resolución de monitoreo a 641 establecimientos industriales los que tenían la obligación de informar los resultados del autocontrol de sus efluentes, correspondientes a las mediciones efectuadas durante marzo de 2007. Toda esta información está publicada en el sitio de la SSS.

Respecto de las acciones de fiscalización de la SSS., en una primera etapa se evaluó el cumplimiento de la normativa en el periodo septiembre a diciembre 2006, comunicando esta evaluación a cada establecimiento que presentaba incumplimientos y solicitadas las medidas y plazos previstos para resolver dichos incumplimientos.

Se efectuó el análisis conjunto de los resultados de todo el período (septiembre 2006 a marzo 2007), a fin de determinar los casos en los cuales se justifica iniciar la investigación correspondiente, que deberá concluir con la aplicación de amonestaciones, instrucciones

o las sanciones establecidas en el marco legal, iniciándose a la fecha los procesos de investigación a 118 establecimientos que presentan incumplimientos reiterados en el período evaluado y a 56 establecimientos que reiteradamente no cumplen con su obligación de informar el autocontrol de sus descargas.

En marzo del 2007, existían 237 Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en el país, operadas por las empresas sanitarias. Analizados los resultados del cuatrimestre septiembre- diciembre 2006, 16 PTAS presentaron incumplimientos en forma permanente. Respecto al período enero - marzo 2007, se determinó dar inicio al procedimiento de investigaciones para 36 PTAS que pertenecen a ocho empresas sanitarias por incumplimientos reiterados.

El Departamento de Preservación del Medio Ambiente Acuático, dependiente de la Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático, es el organismo encargado de cautelar el cumplimiento de las leyes y acuerdos internacionales vigentes relacionados con la protección del medio ambiente acuático jurisdiccional. La AM fiscaliza la descarga sobre la base de lo instruido por el DS 90/2000 por lo que realiza las siguientes gestiones:

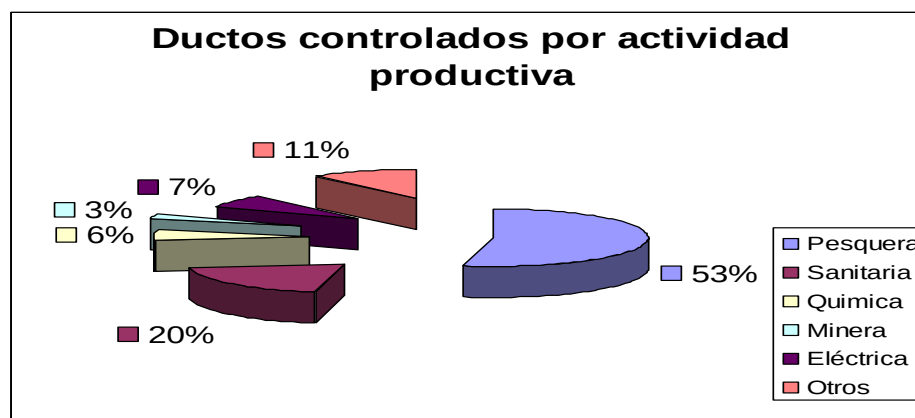


Figura 8.14.- Ductos controlados por la AM.

Fuente: Elaboración propia.

- Autoriza o a requerimiento determina la ZPL.
- Aprueba la caracterización de los efluentes (riles).
- Realiza monitoreo de autocontrol.
- Fiscaliza descargas de fuentes terrestres.

TABLA 8.11.- ESTADÍSTICA DE ZPL ANUAL.

Fuente: Elaboración propia.

Año	Cantidad de Solicitudes	Promedio ZPL (metros)
2002	20	120,21
2003	17	192,56
2004	24	183,04
2005	53	203,60
2006	52	145,51
2007	22	100,18
Totales	188	157,52

Como lo indica la Figura 4.1.-, el 53% (131 ductos) están asociados con la empresa pesquera, de los cuales 57 corresponden a la jurisdicción de las Gobernaciones Marítimas de Castro y Puerto Montt.

TABLA 8.12.- ESTADÍSTICA POR GOBERNACIÓN MARÍTIMA.
Fuente: Elaboración propia.

Gobernación Marítima	Cantidad de Solicitudes	Promedio ZPL (en metros)
Arica	2	240,50
Iquique	4	160,53
Antofagasta	16	116,95
Caldera	13	108,54
Coquimbo	6	228,00
San Antonio	6	282,33
Valparaíso	12	218,33
Talcahuano	44	278,36
Valdivia	2	329,00
Puerto Montt	25	80,56
Castro	45	107,28
Aysén	3	11,33
Punta Arenas	8	126,88
Puerto Williams	2	23,00
Totales	188	157,51

En promedio y como lo indica la Tabla 4.8.-, las longitudes están en torno a 157 metros, considerando que las ZPL más bajas están en la zona de Puerto Montt, Castro y en aguas interiores poco expuestas a oleaje y que la información publicada por Directemar no incluye estadígrafos para un análisis más detallado donde se pueda inferir la utilidad del cálculo de la ZPL. Las solicitudes se resumen en la Tabla 4.9.-.

Los aspectos legales definidos anteriormente, conforman el marco legal en qué está sustentada la ZPL, con lo que se establece una base trabajo, el que será exigido por las autoridades competentes. Sin este sustento legal, definir una metodología para calcular citada zona obedecería solo a un cuidado responsable del medio ambiente.

8.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

8.3.1. ANÁLISIS DE CLIMA MEDIO SECTOR CALETA CURIN

Para el desarrollo del ejemplo y la aplicación del análisis de clima medio, se cuenta con la base de datos del proyecto de ingeniería costera desarrollado por Fugro Oceanor (2008) del sector detallado en la Figura 8.15.-, de coordenadas 74,5 S, 39 S, punto geográfico que se encuentra al sur oeste de la isla Mocha, a 130 Km. de caleta Curin en la XIV Región de Los Ríos.

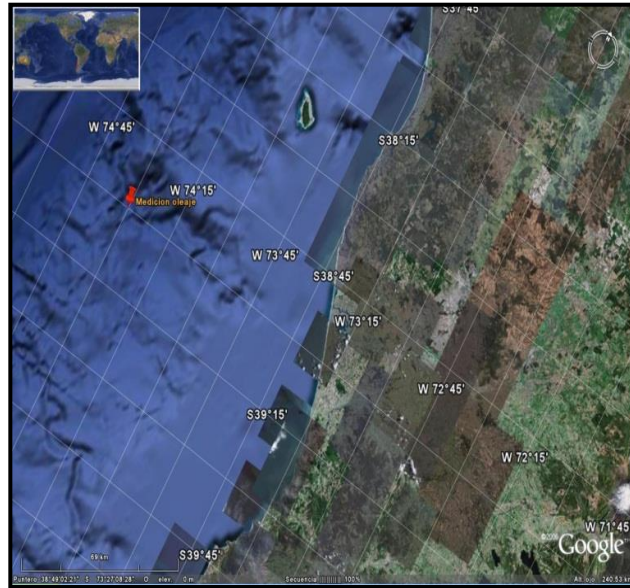


Figura 8.15.- Sector XIV Región de Los Ríos.

Fuente: Imagen satelital Google Map 2010.

De los datos obtenidos, la Figura 8.16.- detalla la altura del oleaje, definiendo el año 2005 como año medio para el cálculo numérico de los regímenes medios, ajustando las funciones de distribución a los datos debidamente linealizados. La Figura 8.17.- indica el sector donde se realizará la propagación del oleaje.

Siguiendo la metodología detallada en la Figura 4.1.-, se establece que la zona aledaña es de uso económico y corresponde a un sector de pesca artesanal o deportiva. El estudio se aplica a los regímenes medios de los sectores SSW, SW, WSW, W y WNW, ajustados a la función de distribución del tipo Weibull, definiendo $A = 0$, quedando la expresión;

$$P(\varepsilon \leq H) = 1 - e^{-\left(\frac{H}{B}\right)^C}$$

Ec. 8.13.-

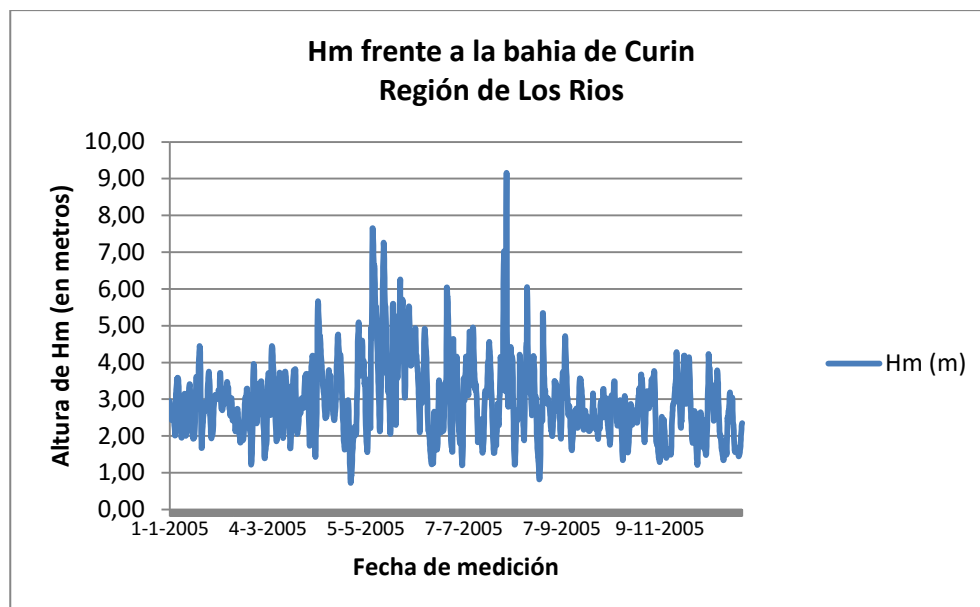


Figura 8.16.- Oleaje de aguas profundas, datos en bruto.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 8.17.- Caleta Curin.

Fuente: Imagen satelital Google Map, 2010

Para la distribución Weibull, la linealización se efectúa graficando las siguientes igualdades:

$$x = \ln(-\ln(1-P)), y = \ln\left(\frac{H}{3}\right)$$

Ec. 8.14.-

Los parámetros de la distribución Weibull están desarrollados y calculados en el apéndice “A”. La altura $H_{1/3}$ asociada a la probabilidad de no-excedencia se obtiene despejando la variable H en función de $P(\xi \leq H)$, quedando la siguiente expresión:

$$H(P) = e^{\left(\frac{1}{C} \ln(-\ln(1-P)) + \ln B\right)}$$

Ec. 8.15.-

Para establecer la zona de protección litoral, se aplica lo detallado en la Figura 4.1.- para clima medio y se calcula la pendiente del sector caleta Curín, que tiene un valor de 0,07.

TABLA 8.13.- RESUMEN DE CÁLCULOS PARA DIFERENTES DIRECCIONES.
Fuente: Elaboración propia.

USO ECONÓMICO							
Pendiente “m”	Dirección	Tz	Lo	Valor Tabla	Hs	Hb	ZL
0,070	SSW	16	399,49	0,8	3,51	0,83	24,26
	SW	15	351,11	0,8	4,02	1,00	29,27
	WSW	14	305,86	0,8	4,47	1,17	34,26
	W	15	305,86	0,8	4,60	1,21	35,42
	WNW	09	305,86	0,8	4,72	1,25	36,54

Una vez definida la altura de ola por medio de la distribución Weibull, se aplica la tabla para el cálculo de la ZPL, la que al tabular los resultados para diferentes direcciones de oleaje, se determinan cinco diferentes valores de ZPL, como lo indica la Tabla 8.13.- El criterio de selección siempre va a estar asociado al mayor valor de ZPL.

TABLA 8.14.- ALTURA DE OLEAJE SIGNIFICATIVO SOLICITADA POR DIRECTEMAR.
Fuente: Elaboración propia.

Detalle	H _s
Promedio del período	2,95
Promedio de los máximos registrados en el periodo	3,83
Promedio período estival	2,61
Promedio período invernal	2,98
Promedio de los máximos para el período estival	3,14
Promedio de los máximos para el período invernal	3,80

Una vez obtenido el valor de ZPL, por medio de la metodología propuesta en este trabajo, se compara con lo indicado por la circular DGTM y MM A-53/004. Se define en la Directiva, la metodología que tiene Directemar para el cálculo de la ZPL, donde la Tabla 8.14.-, extraída de la Circular, indica la H_s.

En la directiva no hace mención a lo que se entiende por período, por lo que para hacer los datos comparables, se considera el mismo periodo de 1 año utilizado en la metodología. Respecto a la aplicación de la fórmula, no establece como calcular el valor de T_z , por lo que, para este ejercicio se determinó por el promedio.

TABLA 8.15.- VALOR DE LA PENDIENTE APLICANDO LA CIRCULAR DE DIRECTEMAR.
Fuente: Elaboración propia.

Punto	Pendiente (m)	Profundidad (m)	Distancia de la costa (m)
1	0,07	5	72
2	0,07	10	144
3	0,07	15	215

El punto de la descarga tiene una pendiente de 0,07, se encuentra a 528 metros de la costa y a una profundidad de 37 metros. La ZPL con el método Directemar es de 29 metros valor que dista de los 37 metros calculados aplicando la metodología.

8.3.2. ANÁLISIS DE CLIMA EXTREMAL SECTOR BAHIA VALPARAÍSO

Para el estudio de oleaje extremo, se usará información del modelo WAVEWATCH III, con oleaje de Latitud 33° Sur, Longitud 73° Weste, Bahía de Valparaíso (Figura 8.20.-), entre el 01 de enero del 2000 al 31 de diciembre de 2004, cada tres horas, siendo el total de datos de 14.616, datos que se muestran en el siguiente gráfico:

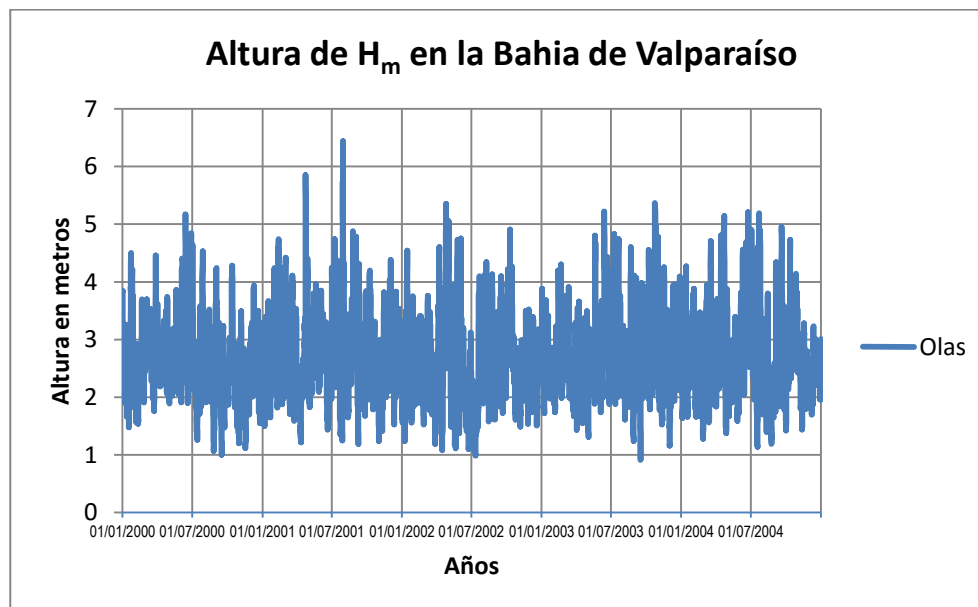


Figura 8.18.- Oleaje de aguas profundas, datos en bruto.

Fuente: Elaboración propia.

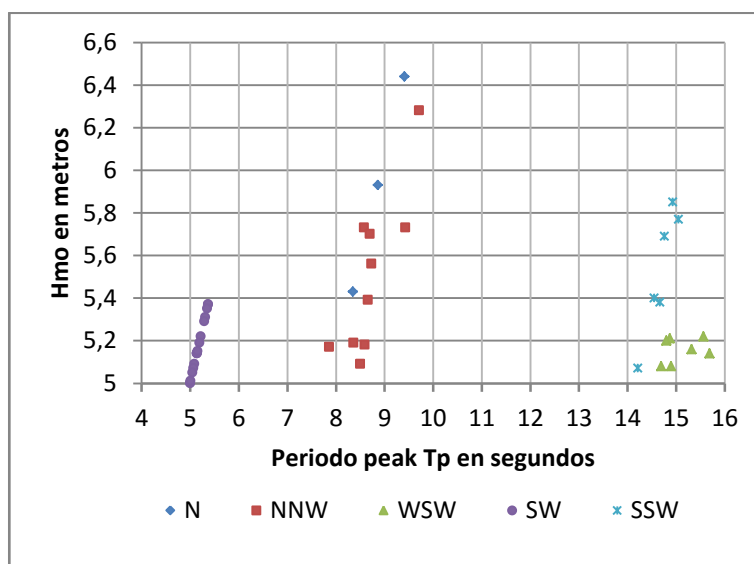
A modo de resumen, la Tabla 8.16.- presenta los datos obtenidos sobre el umbral de 4 metros y direcciones desde donde efectivamente proviene el oleaje. Las direcciones N y S no registran tormentas, por lo que se descarta su posible incidencia en el análisis. Serán

las direcciones que se muestran en la Tabla 8.16.- las que generarán olas de mayor tamaño.

TABLA 8.16.- DATOS PARA ANÁLISIS DE VALORES EXTREMOS.
Fuente: Elaboración propia.

Dirección	Rango direcciones	Nº de Datos
NNW	326.25º- 348.75º	46
NW	303.75º-326.25º	58
WNW	281.25º- 303.75º	41
W	258.75º-281.25º	47
WSW	236.25º- 258.75º	101
SW	213.75º- 236.25º	324
SSW	191.25º- 213.75º	92

Dependiendo de la altura, periodo y sedimentos del sector, el efecto de las olas sobre la costa es distinto, ya que cuando las olas son pequeñas y tienen poco periodo el movimiento sedimentario es mínimo a diferencia de las olas altas que tienen periodos largos erosionan en mayor grado el sector, generando corrientes. Por lo anterior, la Figura 8.19.- muestra los periodos (T_z) entre 4 y 16 segundos con oleaje mayor que 5 metros. Para simplificar el trabajo, solo se usaran los periodos de 8, 9, 14 y 15 segundos.



Fuente: Elaboración propia.

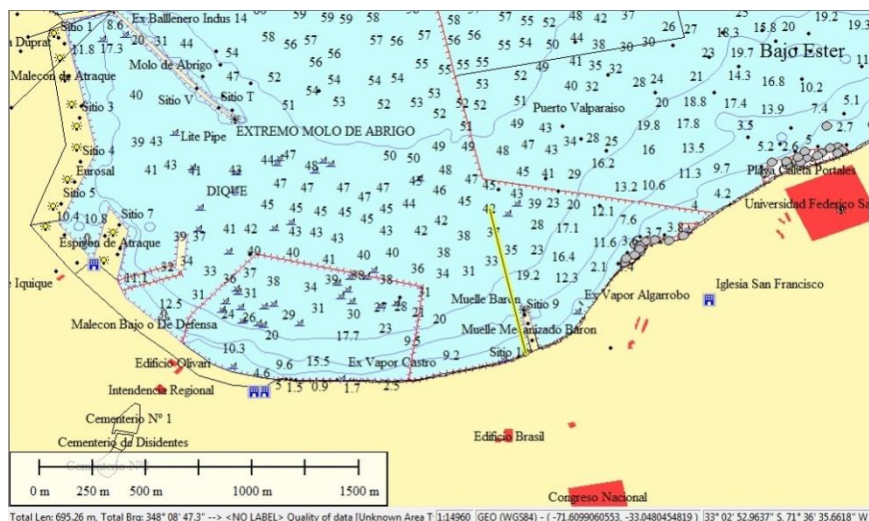


Figura 8.20.- Sector de Muelle Barón.

Fuente: Global Mapper V13.0.

TABLA 8.17.- ALTURA SIGNIFICATIVA ESPECTRAL (H_{MO}).

Fuente: Elaboración propia.

Detalle		Periodo de retorno (T_r años)				
Dirección	Excedencia	2	5	20	50	100
NNW	95%	4,87	5,35	5,98	6,37	6,67
	50%	4,57	5,04	5,65	6,03	6,32
	5%	4,26	4,72	5,31	5,69	5,97
NW	95%	4,54	4,84	5,24	5,48	5,67
	50%	4,37	4,67	5,06	5,30	5,48
	5%	4,20	4,49	4,88	5,12	5,30
WNW	95%	4,47	4,70	5,00	5,19	5,33
	50%	4,31	4,54	4,83	5,02	5,16
	5%	4,15	4,37	4,66	4,85	4,99
W	95%	4,44	4,63	4,88	5,04	5,16
	50%	4,32	4,51	4,76	4,91	5,03
	5%	4,20	4,39	4,63	4,79	4,90
WSW	95%	4,47	4,76	5,13	5,37	5,54
	50%	4,34	4,63	5,00	5,23	5,41
	5%	4,22	4,50	4,87	5,10	5,27
SW	95%	4,44	4,72	5,09	5,32	5,49
	50%	4,37	4,65	5,01	5,25	5,42
	5%	4,30	4,58	4,94	5,17	5,34
SSW	95%	4,47	4,80	5,23	5,50	5,70
	50%	4,32	4,65	5,07	5,33	5,53
	5%	4,17	4,49	4,91	5,17	5,37

Las profundidades fueron obtenidas de los datos entregados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada y visualizadas en el software Global Mapper de la empresa Blue Marble Geographic, donde la línea amarilla indica la medición a la costa (por la escala asociada, son 695 metros de la línea amarilla y 42 metros de profundidad).

La Tabla 8.17.- muestra los períodos de retorno (T_r) 2, 5, 20, 50 y 100 años, con la mejor estimación de valores extremos junto a los extremos superior e inferior de la banda de confianza. Los parámetros de la distribución Gumbel están desarrollados y calculados en el apéndice.

Una vez definida la altura de ola, por medio de la distribución de Gumbel, para un periodo de tiempo determinado y dentro de un rango de confianza razonable, se aplica la Tabla 4.1.- para el cálculo de la ZPL en diferentes sectores de la costa. Aplicando la hipótesis de que nuestra Zona de Protección Litoral se encuentra aledaña a un sector de uso de personas, la Tabla 8.18.- muestra que el mayor valor lo tiene la dirección NNW con un período de 8 segundos y una ZPL de 74,60 metros. Es necesario tomar en cuenta que la dirección NNW tiene 46 olas mayores al umbral de 4 metros, siendo la menor cantidad de registros a diferencia del oleaje SW que tiene 324 y una ZPL de 62,02 metros. La condición de uso de la zona adyacente a la ZPL calculada es el rango más crítico de cálculo.

TABLA 8.18.- VALORES DE LA ZPL CON PENDIENTE DE 0,06.
Fuente: Elaboración propia.

USO DE PERSONAS				
T_z	8	9	14	15
L_o	99,87	126,40	305,86	351,11
NNW	74,60	71,17	59,64	58,02
WNW	58,48	55,79	46,75	45,48
WSW	61,88	59,03	49,47	48,12
SW	62,02	59,17	49,58	48,23
SSW	63,59	60,67	50,84	49,45

Una vez obtenido el valor de ZPL por medio de la metodología propuesta en este trabajo, se compara este valor al aplicar la circular DGTM y MM A-53/004, la que indica dos formas de obtener la ZPL: Propuesta por el usuario y propuesta por la Directemar. La Tabla 8.19.- extraída de la Circular, indica la H_s .

TABLA 8.19.- ALTURA DE H_s APLICANDO LA CIRCULAR DE DIRECTEMAR
Fuente: Elaboración propia.

Detalle	H_s
Promedio del período	2,72
Promedio de los máximos registrados en el periodo	4,52
Promedio período estival	2,52
Promedio período invernal	2,80
Promedio de los máximos para el período estival	4,17
Promedio de los máximos para el período invernal	4,53

En la directiva no hace mención a lo que se entiende por período, por lo que para hacer los datos comparables, se considera el mismo periodo de 5 años utilizado en la

metodología. Respecto a la aplicación de la fórmula, no establece como calcular el valor de T_z , por lo que, para este ejercicio se determinó por el promedio.

TABLA 8.20.- PENDIENTE "m" APLICANDO LA CIRCULAR DE DIRECTEMAR.
Fuente: Elaboración propia.

Punto	Pendiente (m)	Profundidad (m)	Distancia de la costa (m)
1	0,06	5	90
2	0,06	10	156
3	0,06	15	240

El punto de la descarga tiene una pendiente de 0,06, se encuentra a una distancia de la costa de 695 metros y a una profundidad de 45 metros. La ZPL con el método Directemar es de 43 metros valor que dista de los 74 metros calculados aplicando la metodología.

8.4. APÉNDICES