

- A : Arce, Reciné y Asociados S.A. (ARA)
- AT. : Roberto Rivera
- De : Baird & Associates S.A.
- REF. : Puerto Punta Totoralillo, Estudio de Oleaje
- MAT. : Cálculo de oleaje rompiente para estimación de ZPL

El presente memorando tiene como objeto presentar los resultados del cálculo de oleaje rompiente, para que estos puedan ser utilizados en el cálculo de la “Zona de protección Litoral”, ZPL. Esto es en respuesta a una solicitud de ARA para la ejecución de estas tareas.

1.0 INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la normativa ambiental vigente en el país, CMP debe presentar a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, un cálculo estimativo del **Ancho de la Zona de Protección Litoral (ZPL)** del sector costero de Punta Totoralillo (Figura 1.1) en donde actualmente se está realizando el estudio para la planificación de un terminal marítimo de graneles líquidos el cual contará con un emisario submarino de descarga de residuos líquidos provenientes de los procesos realizados en la zona de carga.

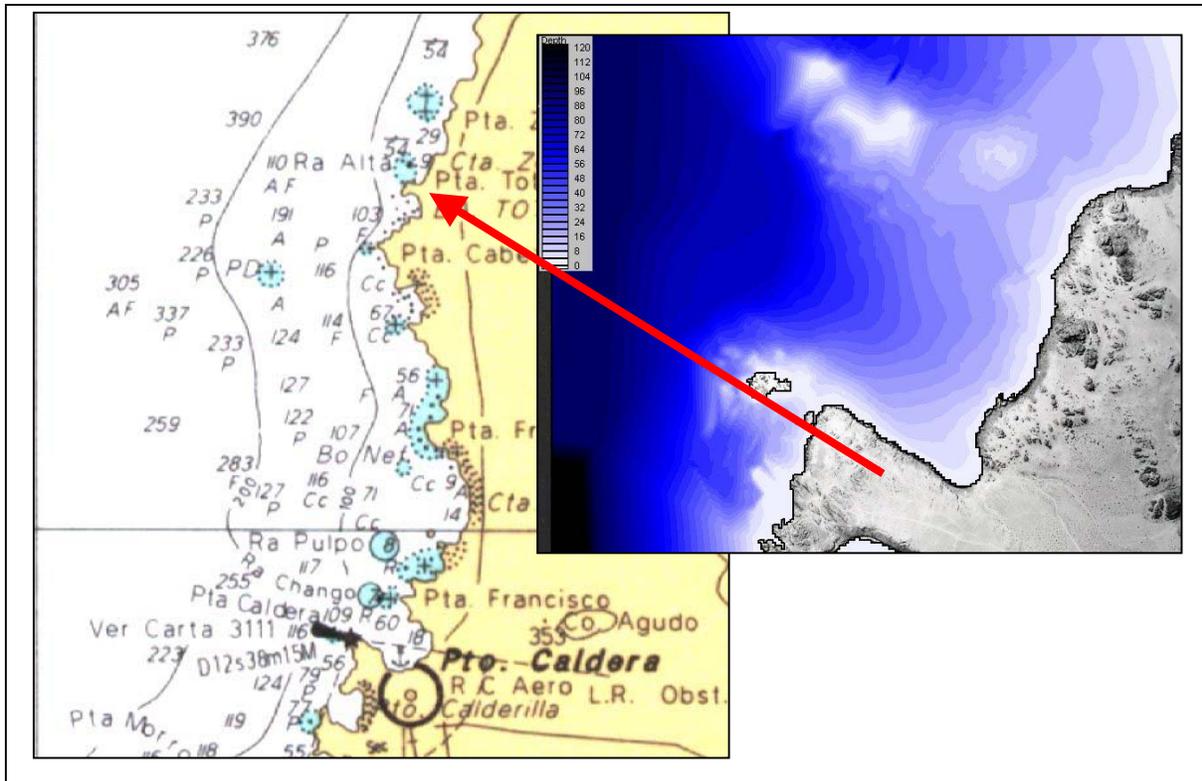


Figura 1.1: Ubicación Zona de Estudio

De acuerdo con la Norma Decreto 90, el parámetro H_b se debe determinar con el método *Hindcasting* u otro equivalente autorizado por la DIRECTEMAR. En este caso para determinación del parámetro H_b se utilizaron los resultados del “Estudio de Clima de Olas de Punta Totalillo” realizado por Baird & Associates (2004).

2.0 METODOLOGÍA

Determinación de ola en aguas profundas

Para determinar las condiciones de oleaje en aguas profundas para el sector en estudio se tomaron resultados del Proyecto Olas Chile (www.olaschile.com) correspondiente al nodo de Caldera (27°S, 72°W), consistentes en espectros bidimensionales de energía de olas correspondientes a 40 años de datos cada dos horas (enero 1961 a diciembre 2000).

Transferencia de olas a aguas someras

Para la definición del oleaje en el área de descarga del emisario, se asumieron como representativos los resultados del clima de olas operacional para el nodo N2 del “Estudio de Clima de Olas de Punta Totalillo”.

En el mencionado estudio se realizó una transferencia de olas utilizando el modelo STWAVE (STeady-State Spectral WAVE model), el cual es un modelo espectral para olas cerca de la costa desarrollado por el USACE (US Army Corps of Engineers). STWAVE tiene la capacidad de simular espectros de olas irregulares, multidireccionales y los procesos de refracción, shoaling, rompiente, interacción ola-ola y difracción.

Los resultados obtenidos consisten en los parámetros de resumen de olas (H_{mo} , T_p , MWD) para los 40 años de datos cada 2 horas, en aproximadamente 27 metros de profundidad.

Olas rompientes

Con las alturas de olas obtenidas en el sitio de interés, se realizaron los cálculos para determinar las alturas de las rompientes. Para esto se utilizó la relación de Komar y Gaughan modificada (Rattanapitikon y Shibayama, 2000), es decir:

$$H_b = (10.02 \times m^3 - 7.46 \times m^2 + 1.32 \times m + 0.55) \times H_o (H_o / L_o)^{-1/5}$$

Donde,

- H_b : Altura media de la rompiente, (m)
- m : Pendiente de fondo, (m/m)
- H_o : Altura de ola en aguas profundas, (m)
- L_o : Longitud de ola en aguas profundas, (m)

La expresión anterior considera la utilización de las características del oleaje en aguas profundas (H_0 y L_0) pero no influenciadas por los efectos de la refracción, debido a que ésta fue desarrollada en base a datos empíricos a partir de ensayos en canales de olas. A modo de estimar las características equivalentes en aguas profundas al oleaje calculado para los 20 metros de profundidad tomando en consideración su carácter irregular, se utilizó la metodología de GODA (1985) de manera inversa, mediante un proceso de prueba y error. La metodología de GODA se enuncia a continuación.

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s \cdot H_0 & : \text{ para } h/L_0 > 0.2; \\ \min((\beta_0 H_0 + \beta_1 h), (\beta_{\max} H_0), (K_s H_0)) & : \text{ para } h/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

Donde,

$$\beta_0 = 0.028(H_0/L_0)^{-0.38} \cdot \exp(20 \cdot m^{1.5})$$

$$\beta_1 = 0.52 \cdot \exp(4.2 \cdot m)$$

$$\beta_{\max} = \max[0.92, 0.32(H_0/L_0)^{-0.29} \cdot \exp(2.4 \cdot m)]$$

Los cálculos anteriormente descritos se realizaron para dos configuraciones distintas de la pendiente representativa del área de estudio, utilizando la pendiente de la orientación proyectada del emisario (configuración 1), que además coincide con la mayor pendiente de la zona de estudio, y usando la pendiente de la playa de Caleta Zenteno (configuración 2), que es la pendiente más suave de la zona. En la Figura 2.1 se puede apreciar las dos configuraciones para determinar la pendiente de la zona.

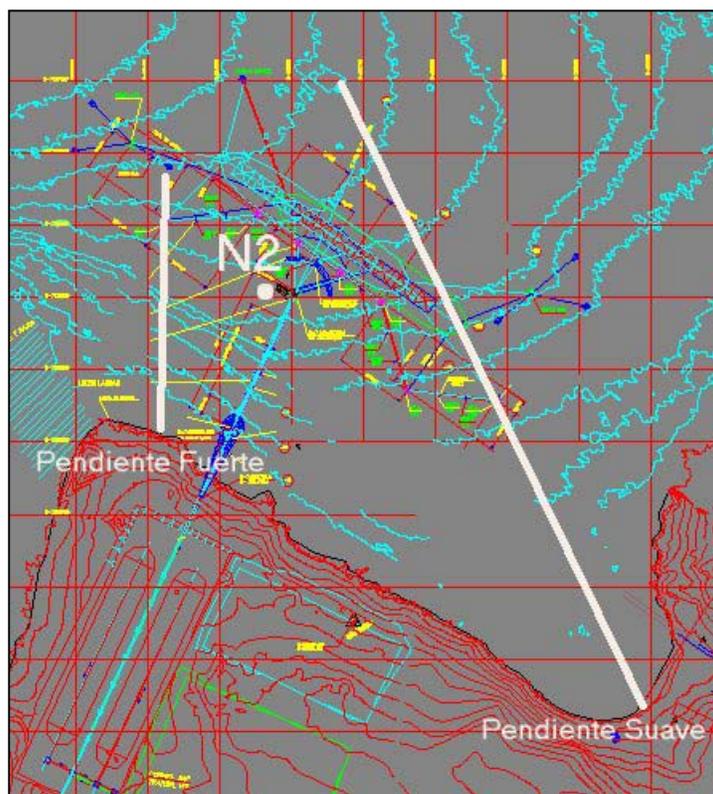


Figura 2.1 Configuraciones de pendientes

3.0 RESULTADOS

Olas en 27 metros

En las Tabla 3.1 se presentan resultados de las alturas de olas en una profundidad de 27 metros, obtenidos del estudio previamente mencionado, como se describió en el punto 2:

**Tabla 3.1
Altura de ola en 27 metros de profundidad**

	Hs (m)
Promedio del período	0.86
Promedio de los máximos registrados en el período *	2.13
Promedio período estival	0.98
Promedio período invernal	0.75
Promedio de los máximos para el período estival *	1.85
Promedio de los máximos para el período invernal *	1.90

* Promedio calculado con las 20 mayores tormentas del listado (eventos independientes).

Pendientes

En las Tablas 3.2a y 3.2b se presentan los valores de las pendientes de la zona de estudio:

Tabla 3.2a
Pendientes – Configuración 1 (Pendiente Fuerte)

Punto	Pendiente %	Profundidad (m)	Distancia de la costa (m)
1	8.0	5	62.8
2	10.7	10	93.4
3	10.8	15	138.4

Tabla 3.2b
Pendientes – Configuración 2 (Pendiente Suave)

Punto	Pendiente %	Profundidad (m)	Distancia de la costa (m)
1	2.6	5	193.5
2	3.3	10	307.5
3	3.5	15	429.5

Olas rompientes

A partir de los valores presentados anteriormente, en las Tablas 3.3a y 3.3b se presentan las características del oleaje en aguas profundas correspondiente al oleaje en 27m de profundidad, al aplicar inversamente la relación de GODA (1985).

Tabla 3.3a
Características equivalentes del oleaje en aguas profundas (canal de olas) – Configuración 1 (Pendiente Fuerte)

Profundidad de agua h (m)	Altura de ola Hs (m)	Período de ola (s)	GODA 1985	
			Ho (m)	Lo (m)
27	0.86	16	0.88	399
27	2.13	20	2.02	624
27	0.98	17	0.98	451
27	0.75	16	0.77	399
27	1.85	21	1.72	688
27	1.9	18	1.87	505

Tabla 3.3b
Características equivalentes del oleaje en aguas profundas (canal de olas) – Configuración 2
(Pendiente Suave)

Profundidad de agua	Altura de ola	Período de ola	GODA 1985	
			Ho	Lo
h (m)	Hs (m)	(s)	(m)	(m)
27	0.86	16	0.88	399
27	2.13	20	2.02	624
27	0.98	17	0.98	451
27	0.75	16	0.77	399
27	1.85	21	1.72	688
27	1.9	18	1.87	505

En la Tablas 3.4a y 3.4b se presentan los resultados de la altura media de la rompiente, con una pendiente de fondo de 10.7% y 3.3% utilizada en los cálculos respectivamente. Los períodos de oleaje utilizados para los cálculos fueron los que se muestran en las Tablas 3.3a y 3.3b.

Tabla 3.4a
Altura de la rompiente – Configuración 1 (Pendiente Fuerte)

	Hb (m)
Promedio del período	1.85
Promedio de los máximos registrados en el período	3.93
Promedio período estival	2.06
Promedio período invernal	1.66
Promedio de los máximos para el período estival	3.52
Promedio de los máximos para el período invernal	3.54

Tabla 3.4b
Altura de la rompiente – Configuración 2 (Pendiente Suave)

	Hb (m)
Promedio del período	1.75
Promedio de los máximos registrados en el período	3.72
Promedio período estival	1.96
Promedio período invernal	1.57
Promedio de los máximos para el período estival	3.34
Promedio de los máximos para el período invernal	3.36

4.0 BIBLIOGRAFÍA

Atria Baird Consultores S.A. (2001). Proyecto SHOA: Olas Chile, Informe de Resultados del Hindcasting y Entrega de Base de Datos. Informe Técnico entregado al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

Goda, Y. (1985), “Random Seas and Design of Maritime Structures”, University of Tokyo Press, Japan.

Rattanapitikon, W., and Shibayama, T. (2000). “Verification and Modification of Breaker Height Formulas”, Coastal Engineering Journal 42 (4), World Scientific Publishing, Singapore.

Esperando que el presente memorandum sea bien recibido, le saluda atentamente,

BAIRD & ASSOCIATES S.A.

Charles P. Fournier, M.Sc., M.B.A., P.Eng.
Gerente General