

*Defensa Costera en Caleta Córdova*

**ESTUDIOS PARA LA  
VERIFICACIÓN HIDRÁULICA PRELIMINAR  
DEL PROYECTO**

**INFORME FINAL**



*Diciembre, 2005*

**Informe LHA-252-03-05**

**MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS**

**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA**

**LABORATORIO DE HIDRAULICA**

**PROYECTO DE DEFENSA COSTERA  
EN CALETA CORDOVA  
(Pcia. de Chubut)**

**INFORME FINAL**

**RESUMEN**

El objetivo del presente estudio ha sido verificar la estabilidad y funcionalidad del proyecto de una obra de defensa costera, y proponer y estudiar esquemas de obra alternativos. Se presenta la información básica y una descripción de las metodologías aplicadas para la verificación hidráulica del anteproyecto de las obras mencionadas, delineándose, a su vez, las pautas básicas para el desarrollo de algunas alternativas al mismo.

**PALABRAS CLAVE**

Defensa de costas - Olas – Mareas – Calentamiento Global - Caleta Córdova – Golfo de San Jorge

**LHA – 252- 03 - 05**

**Director del Laboratorio de Hidráulica**

Ing. Julio De Lio

---

**Jefe del Programa de Hidráulica Marítima**

Ing. R. D. Castellano

**Informe Producido por**

Ing. N. Tomazin

**EQUIPO DE TRABAJO**

Téc. Mec. Carlos Haspert

M.M.O. Sebastián Peralta

## INDICE DE MATERIAS

1	INTRODUCCIÓN .....	1-1
2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	2-1
3	METODOLOGÍA .....	3-1
4	ESTUDIOS PREVIOS.....	4-1
5	OBSERVACION DEL LUGAR Y DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN .....	5-1
6	CARACTERIZACION FÍSICA DE LA REGION .....	6-1
6.1	Planos de referencia .....	6-1
6.2	Cartas Náuticas y relevamientos batimétricos .....	6-1
6.3	Fotografías aéreas .....	6-2
6.4	Nivel del mar.....	6-3
6.4.1	Marea astronómica.....	6-3
6.4.2	Marea meteorológica .....	6-3
6.4.3	Calentamiento Global .....	6-4
6.5	Olas en la región off shore del Golfo San Jorge .....	6-5
6.5.1	Olas generadas por vientos locales .....	6-6
6.5.2	Olas oceánicas.....	6-9
6.6	Análisis de valores extremos para Hs .....	6-12
6.7	Valores de Tp asociados a olas oceánicas extremas .....	6-13
6.8	Régimen de Vientos.....	6-14
7	OLAS EN EL AREA COSTERA.....	7-1
8	CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE LA OBRA .....	8-1
8.1	Objetivo de la obra.....	8-1
8.2	Grado de protección de las obras. ....	8-2
8.3	Condiciones básicas de diseño.....	8-3
8.4	Criterios y premisas generales del proyecto .....	8-4
9	DESCRIPCION DE LA OBRA.....	9-1
10	VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE LA OBRA PROPUESTA.....	10-1
10.1	Fórmulas de cálculo de estabilidad.....	10-1
10.2	Fórmulas de sobrepaso.....	10-3
10.3	Verificación del proyecto.....	10-4
10.3.1	Estabilidad.....	10-4
10.3.2	Verificación del Sobrepaso por olas .....	10-7
11	OTRAS ALTERNATIVAS .....	11-1
11.1	Alternativa A: Talud de enrocado con muro de coronamiento.....	11-1
11.2	Alternativa B: Talud protegido con elementos de hormigón premoldeados ....	11-3
11.3	Alternativa C: Talud protegido con Geotextil .....	11-7
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	12-1

---

PROYECTO DE DEFENSA COSTERA  
EN CALETA CORDOVA  
(Provincia de Chubut)

INFORME FINAL

*Diciembre, 2005*

**1 INTRODUCCIÓN**

Caleta Córdova es una pequeña población patagónica costera con una población de aproximadamente 700 personas. Se sitúa sobre la costa atlántica de la Provincia del Chubut, en el Golfo San Jorge, en la Latitud 45° 43' Sur y Longitud 67° 21' Oeste, a unos doce kilómetros al norte de la ciudad de Comodoro Rivadavia, y es administrativamente dependiente de ésta.

El desarrollo de la población está históricamente asociado a la actividad petrolera en el área, iniciada en la región a principios del siglo XX. Por su ubicación en un sitio de la costa relativamente protegido, Caleta Córdova ha sido un punto transferencia de hidrocarburos hacia refinerías o para exportación.

A pesar de su relativa protección, el frente de costa en el que se asienta la pequeña población se ve expuesta a procesos intensos de erosión marina, poniendo en riesgo tanto propiedades privadas como infraestructura urbana, por lo que una obra específica de defensa costera es necesaria para preservar particularmente el frente urbano.

En este contexto y frente a esa necesidad de mitigar los efectos de degradación de la costa, la Municipalidad de Comodoro Rivadavia estableció en Agosto 2002 un ***Proyecto de Recuperación y de Defensa Costera***.

Los estudios que aquí se presentan se realizaron mediante la formalización del Acta Complementaria N° 4 del Convenio Marco de Cooperación e Investigación suscripto en Agosto de 2002.

---

## 2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua ha realizado los estudios hidráulicos para evaluar un tipo de obra de defensa destinada a proteger la costa de los procesos erosivos actuales, y cumplir con los criterios de seguridad estructural y funcional que se determinen.

Como parte del *Plan de Recuperación Costera de Caleta Córdova*, la *Dirección General de Infraestructura Portuaria de la Secretaría de Infraestructura, Planeamiento y Servicios Públicos de la Provincia de Chubut*, ha desarrollado un proyecto para la obra de defensa que prevé la construcción de un talud de enrocado extendido a lo largo de la línea de costa afectada.

El proyecto encarado por la Provincia comprende la construcción de una obra de defensa costera longitudinal de unos 725 m de extensión, entre el Muelle de Bajamar y el más alejado de los espigones, abarcando el frente urbano sobre las manzanas 5 a 10 del Plano Catastral, entre las calles Francisco Antonio y El Ancla.

El objetivo del presente estudio ha sido verificar la estabilidad y funcionalidad del proyecto indicado, y proponer y estudiar esquemas de obra alternativos.

El presente Informe contiene la información básica y una descripción de las metodologías aplicadas para la verificación hidráulica del anteproyecto de las obras mencionadas, delineándose, a su vez, las pautas básicas para el desarrollo de algunas alternativas al mismo. En este contexto, el informe incluye los siguientes elementos y desarrollos:

- Descripción general del área de emplazamiento de las obras.
- Descripción general de la obra propuesta.
- Definición de las condiciones de diseño y nivel de protección de las obras.
- Cálculos hidráulicos.
- Planteo de alternativas.

### **3 METODOLOGÍA**

Para cumplir con los objetivos indicados en el *Apartado 2*, se han desarrollado las siguientes etapas.

- Evaluación de condiciones oceanográficas (olas, mareas, vientos, corrientes)
- Evaluación de datos batimétricos y topográficos
- Cómputo de olas en la zona de emplazamiento de las obras de defensa
- Selección de criterios y condiciones básicas de diseño
- Evaluación de la estabilidad estructural y aspectos funcionales de la obra de defensa
- Evaluación de algunas alternativas de obra de defensa

#### 4 ESTUDIOS PREVIOS

Algunos estudios previos realizados en la región han servido como fuente de información de base para el desarrollo del presente trabajo:

- Remodelación del Puerto de Rawson: *Estudio Mediante Modelación Matemática de Propagación de Olas*. Informe final, LHA 194-01-00, Octubre 2000.
- Ampliación del puerto de Caleta Córdova: *Estudio Mediante Modelación Matemática para la Optimización del Proyecto*. Informe final, LHA 252-01-05, Noviembre 2005.
- *Defensa Costera de Caleta Córdova (Pcia. de Chubut)*. Análisis preliminar. LHA 252-02-05, Noviembre 2005.

---

## 5 OBSERVACION DEL LUGAR Y DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN

Caleta Córdova está constituida por una entrada natural del mar y un frente costero con acantilados de altura variable. La base del acantilado esta precedida de una restinga, formación geológica característica de la costa patagónica, constituida por una roca sedimentaria relativamente blanda, que resulta alternativamente cubierta por el mar por efecto de la marea y brinda relativa protección a la caleta al proteger de la llegada de las olas más altas.



**FOTO 5.1. Vista aérea de Caleta Córdova**

Dadas las características de la obra así como sus objetivos básicos, resulta entonces importante efectuar, preliminarmente, una caracterización general del área de emplazamiento de la misma, principalmente en aquellos aspectos que tienen influencia directa o indirecta en la concepción, el diseño y dimensionamiento de la obra de defensa, y que permitan satisfacer los requerimientos establecidos por las normas ambientales.

A tal efecto, entre los días 13 y 15 de julio de 2005 se realizó una visita a la zona de Caleta Córdova, con objeto de realizar un reconocimiento del lugar, y recabar información de base para el proyecto.

La observación de la costa permite establecer que los acantilados, de altura variable, son de origen sedimentario y en su estructura pueden encontrarse tanto sedimentos y fósiles marinos como gravas y sedimentos de origen fluvio-glacial. El material del que están compuestos muestra escasa cohesión, lo que los hace muy vulnerables a la acción marina especialmente en ocasiones de marea alta y oleaje intenso. La situación es generalizada en toda la costa patagónica y está estrechamente vinculada al origen geológico de la misma.

Los acantilados se apoyan sobre un manto de roca sedimentaria relativamente blanda (restinga), aproximadamente horizontal y cuya cota es tal que la marea puede superarla y alcanzar el pie del acantilado, que resulta menos resistente a la acción dinámica del olas y corrientes. En marea baja, la restinga permanece seca y el pie del acantilado protegido de la erosión marina.

La **Foto 5.2.** muestra que la erosión marina presenta diferentes grados de intensidad según la protección que la restinga genera al pie. Puede observarse un tramo de acantilado que, mejor protegido que el entorno, ha quedado separado de la costa. En primer plano se observan gravas gruesas, producto de la degradación del acantilado.



**Foto 5.2.**

La escorrentía superficial también contribuye a la degradación de los acantilados, tal como lo muestra la **Foto 5.3.**



**Foto 5.3.**

En la década del 80 se construyó una obra portuaria para satisfacer las exigencias de la

---

actividad pesquera. La misma consiste en una isla artificial apoyada sobre la restinga que cumple la función de brindar protección del oleaje a las embarcaciones que fondean en esa zona y a las que operan en el muelle construido en la misma época. La isla se halla vinculada a la tierra mediante un viaducto.

Es posible que la contracción del flujo originado por las corrientes de marea, inducida por la presencia de la isla, haya tenido un efecto de aceleración sobre las corrientes y que esto haya contribuido a intensificar el proceso de erosión. Las **fotos 5.4. y 5.5.** muestran la intensa degradación del acantilado en las proximidades del arranque del viaducto que vincula la isla con la costa.



**Foto 5.4 – Erosión costera en Caleta Córdova**



**Foto 5.5. Erosión costera en Caleta Córdova**

La **Foto 5.5** muestra una antigua rampa, ubicada al sur del viaducto que vincula la isla con la costa, destinada al acceso de vehículos a la restinga en la época que en esta zona se realizaba explotación de hidrocarburos. En esa época existían sobre la restinga un sistema de pozos y pasarelas que fue desmantelado en la década del 70, previo a la construcción de las actuales obras portuarias. El frente costero ha sido fuertemente degradado destruyendo casi enteramente la rampa. Esto ayuda a cuantificar la escala de tiempos de los procesos de retrogradación de la costa .



**Foto 5.6**

Según lo refieren antiguos pobladores, puede estimarse que en el frente urbanizado, la costa ha retrocedido unos 30 a 40 m en los últimos 40 años. Una calle existía entonces entre la línea de casas y la costa. En la actualidad las propiedades se hallan directamente sobre la línea de costa (**Foto 5.6.**), algunas en franco riesgo de colapso. La situación ha motivado la realización de algunas defensas costeras precarias (**Foto 5.6.** y **Foto 5.7.**)

Al norte de Caleta Córdova existe una amplia playa que por su exposición directa al oleaje marino, muestra los fuertes efectos de erosión al pie del acantilado.



**Foto 5.7 – Defensas costeras precarias en el frente urbanizado**

A fin de controlar los procesos de erosión en 1990 se construyeron obras de protección de enrocado: tres espigones perpendiculares a la costa y otras obras más pequeñas a lo largo de la misma (**Foto 5.7.**). Aunque pueden observarse acumulaciones de grava en las adyacencias de los espigones y presumiblemente por su efecto, no parecen ser muy eficientes y no han impedido la erosión progresiva de la costa marítima.

Esto inicialmente hace pensar que los procesos de erosión se vinculan esencialmente al transporte transversal y no tanto al longitudinal, el que no debe ser relevante. Puede por otra parte observarse que los procesos de retroceso costero son generalizados y reconocen una causa común: el acantilado es sumamente disgregable por la acción marina. En toda la costa hay canto rodado de variadas granulometrías que tiene su origen en la disgregación del acantilado, pero la arena no abunda y hay pocas playas.

En el caso particular de Caleta Córdova la acción de las corrientes de mareas sobre la restinga podría contribuir a los procesos de degradación de la costa en algunos tramos de la misma y, tal vez, el efecto de la isla artificial al contraer el flujo haya incrementado localmente las velocidades a lo largo del frente costero donde se observan efectos erosivos particularmente importantes (como en el arranque del viaducto).

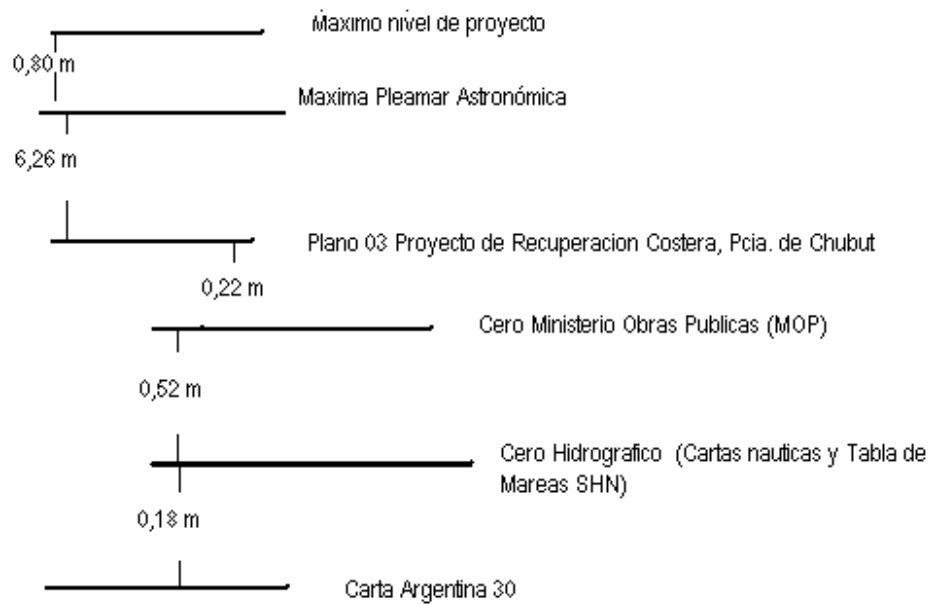
Si bien los espigones no son suficientes ante el presumiblemente escaso transporte litoral, es posible que éstos hayan contribuido a mitigar la erosión al atrapar algo de material y al reducir las corrientes de marea intensificadas por el estrechamiento del flujo.

En este contexto, se concluye que se requiere una obra longitudinal para fijación de la línea de costa que sea capaz de resistir la acción del oleaje que degrada el acantilado natural.

## 6 CARACTERIZACION FÍSICA DE LA REGION

### 6.1 Planos de referencia

Los planos de referencia altimétricos considerados en este estudio se indican en la **Figura 6.1**



**Figura 6.1. Planos de referencia**

### 6.2 Cartas Náuticas y relevamientos batimétricos

Cartas Náuticas publicadas por el Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina:

- H 356, Caletas Córdova y Olivares, de Punta Novales a Cabo San Jorge. Escala 1:20.000
- Cartas 59, Golfo San Jorge escala 1:400.000
- Carta 50 , De Río de la Plata a Cabo de Hornos escala 1:3.000.000

- Carta IGM 4566-31 en escala 1:100.000. Comodoro Rivadavia
- Relevamiento local (2400 m x 1600 m) febrero/marzo 2005.

### 6.3 Fotografías aéreas

Se dispone de dos relevamientos aerofotogramétricos realizados por el SHN en 1969 y 1999. Los vuelos fueron realizados a 3000 m de altura.

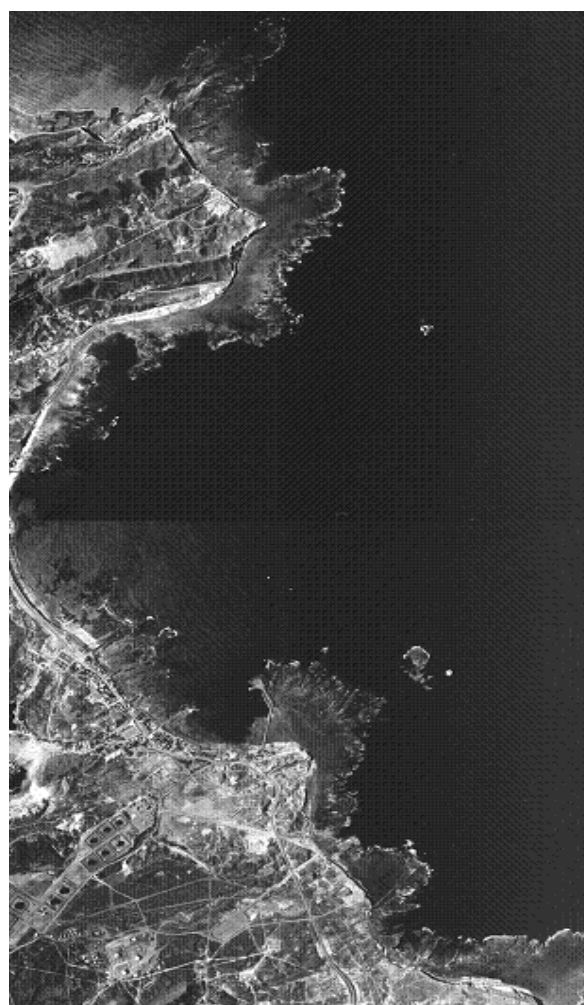
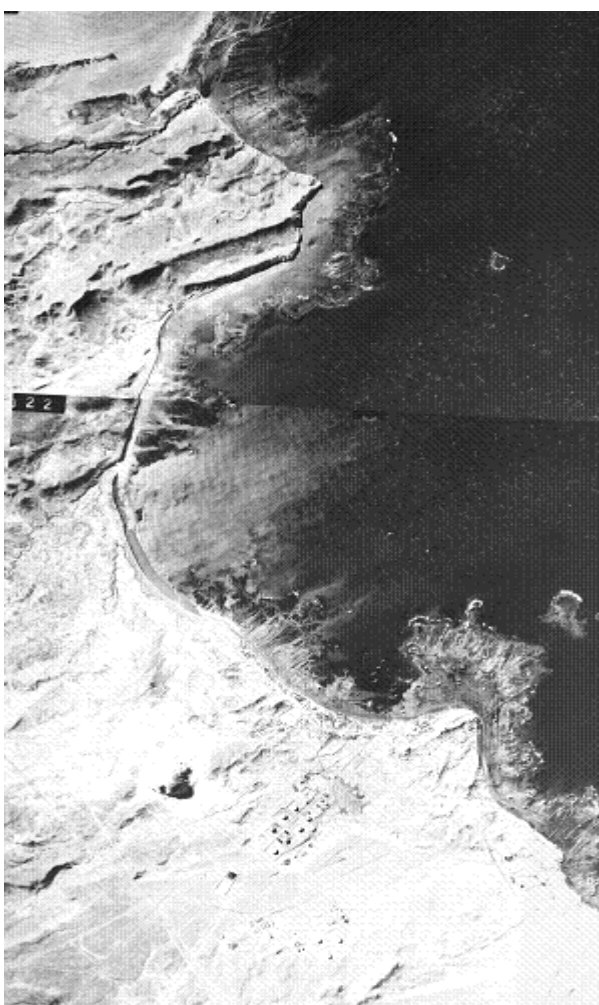


Foto 6.1 Vista aérea de Caleta Córdova en 1969 Foto 6.2 Vista aérea de Caleta Córdova en 1999

La **Foto 6.1.** permite observar el sistema de restingas y cómo las olas más grandes llegan a la playa Novales.

Puede verse claramente cómo el acantilado ha retrocedido menos en aquellas áreas donde hay restinga. La Punta Novalés, al Norte y la Punta Pando al Sur (que delimitan la Caleta Córdova) son dos claros ejemplos del efecto de protección que brinda la restinga. El retroceso más grande es precisamente en la playa Novalés. El acantilado que la limita ha retrocedido de tal manera que ha obligado a modificar la traza de la ruta.

La **Foto 6.2.** muestra las obras portuarias realizadas en 1980 y las defensas costeras conformadas por espigones, construidas en 1990.

#### 6.4 Nivel del mar

##### 6.4.1 Marea astronómica

En Caleta Córdova no existen registros sistemáticos del nivel del mar. Se han considerado en este estudio los valores de marea astronómica indicados por la tabla de predicción para el año 2005 confeccionada por el Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina correspondientes al puerto de Comodoro Rivadavia. Los valores son los siguientes:

**Tabla 6.1 - Marea astronómica en Comodoro Rivadavia.**

Pleamar		Bajamar		Amplitud	
Máxima	Media	Más Baja	Media	Máxima	Media
6.26	5.28	0.25	1.21	5.88	4.07

##### 6.4.2 Marea meteorológica

Otros mecanismos, originados en causas meteorológicas, pueden producir apartamientos (y en particular incrementos) ocasionales de los niveles debidos a causas puramente astronómicas: a) la presión atmosférica. b) vientos soplando hacia la costa. c) peralte de

---

origen geostrofico (fuerzas de Coriolis actuando sobre corrientes paralelas a la costa, generadas por vientos en esa dirección). d) efecto del paso de las olas.

Queda claro que la sobreelevación por efectos meteorológicos es un fenómeno complejo que involucra muchas variables meteorológicas y no resulta de estimación sencilla. Para la costa Patagónica el efecto meteorológico se estima entre 0.80m y 1.00 m para períodos de retorno de 5 a 50 años.

Debe señalarse que la marea astronómica y la sobreelevación por efecto meteorológico son variables independientes, y que la probabilidad combinada de ocurrencia es muy reducida, es decir presenta un período de retorno mayor que el correspondiente al de las variables consideradas en forma independiente. Por otra parte debe tenerse en cuenta que se tratará de una situación de corta duración.

#### **6.4.3 Calentamiento Global**

La creciente acumulación de dióxido de carbono y otros gases en la atmósfera, producidos por la actividad humana y conocido como “efecto invernadero”, es una posible causa de incremento de las temperaturas medias de la atmósfera, las que según las tendencias actuales podrían elevarse en algunos grados Celsius en los próximos 100 años.

Algunos estudios han concluido en que, como consecuencia de los cambios climáticos, el nivel medio del mar se ha incrementado a un ritmo de 1.0 a 1.5 mm/año a partir de 1880. Otros autores han encontrado un ritmo de incremento de 2.0 mm/año en los últimos 50 años.

La tendencia de aumento del nivel del mar ha sido explicada por algunos investigadores como consecuencia de la expansión térmica de las capas superiores del océano, resultado a su vez del calentamiento global de 0.4°C que se ha observado en el último siglo, el que puede explicar un aumento de 0.4 a 0.5 mm/año en el nivel medio del mar.

---

El incremento de las temperaturas medias globales también puede ser causa de un incremento en las tasas de fusión de casquetes polares y glaciares, lo que constituiría un factor adicional en el incremento del nivel medio del mar.

Mayores temperaturas inducirán una mayor presencia de vapor de agua en la atmósfera, que también es un gas invernadero, generándose una aceleración del proceso.

La proyección a futuro de esta situación es compleja por la naturaleza intrínseca del problema y por la dificultad de estimar las tendencias futuras de las tasas de emisión.

En términos generales se admite en la actualidad una tasa de crecimiento de entre 2 y 10 mm por año. Si esa tasa se mantiene, esto significa un incremento de 0.10 a 0.50 m en el término de 50 años. Un promedio entre estos extremos es de 0,30 m para el año 2050.

### ***6.5 Olas en la región off shore del Golfo San Jorge***

La información referente a olas y vientos se tomó de una serie cronológica de 10 años de duración provista por la Oficina Meteorológica del Reino Unido (United Kingdom Meteorological Office, UKMO). Los datos corresponden a un punto de pronóstico ubicado en aguas profundas a 240 km de la costa del Golfo San Jorge.

El desarrollo de las tareas de procesamiento y análisis de la información fue presentado en detalle en el informe correspondiente al estudio de Ampliación de las Obras Portuarias<sup>1</sup>. En este informe se presenta una breve síntesis con los resultados más significativos de dicho análisis, los cuales constituyen una importante información de base para el desarrollo del presente estudio.

---

<sup>1</sup> Ampliación del Puerto de Caleta Córdova ESTUDIO MEDIANTE MODELACION MATEMÁTICA PARA PARA LA OPTIMIZACION DEL PROYECTO - INFORME FINAL. Informe LHA-252-01-05 Noviembre, 2005

### 6.5.1 Olas generadas por vientos locales

A continuación se presentan las tablas y gráficos que resumen el resultado del procesamiento de la información contenida en el registro de olas generadas por vientos locales. Los datos analizados corresponden al período de tiempo comprendido entre Enero de 1995 y Julio de 2005.

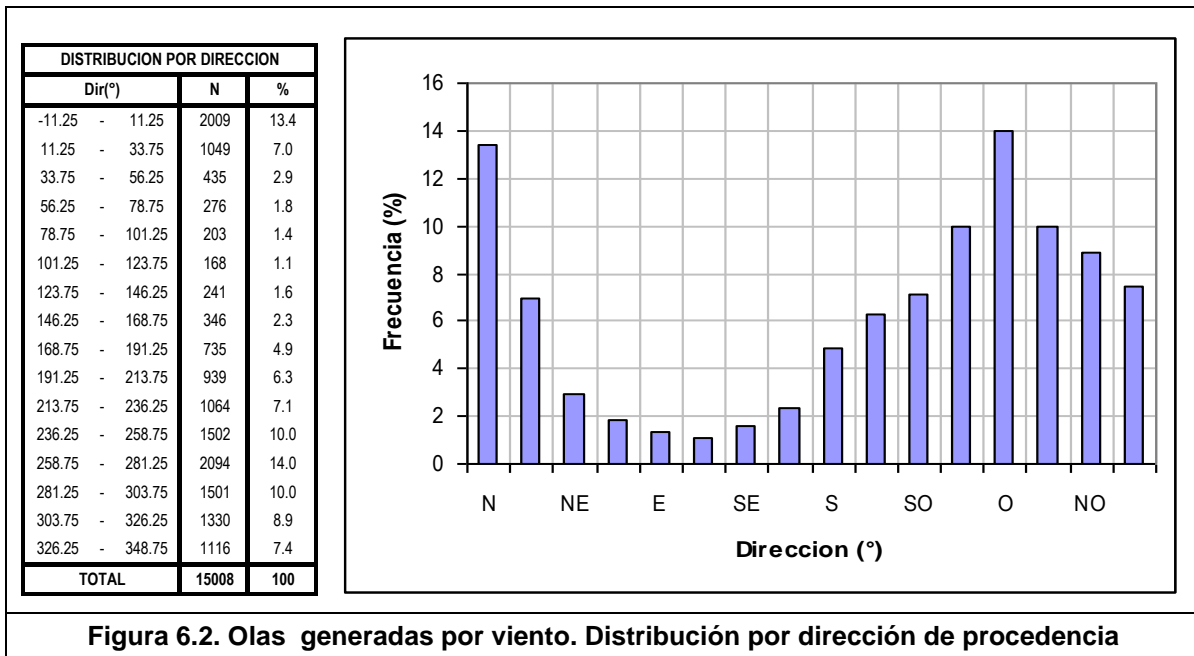
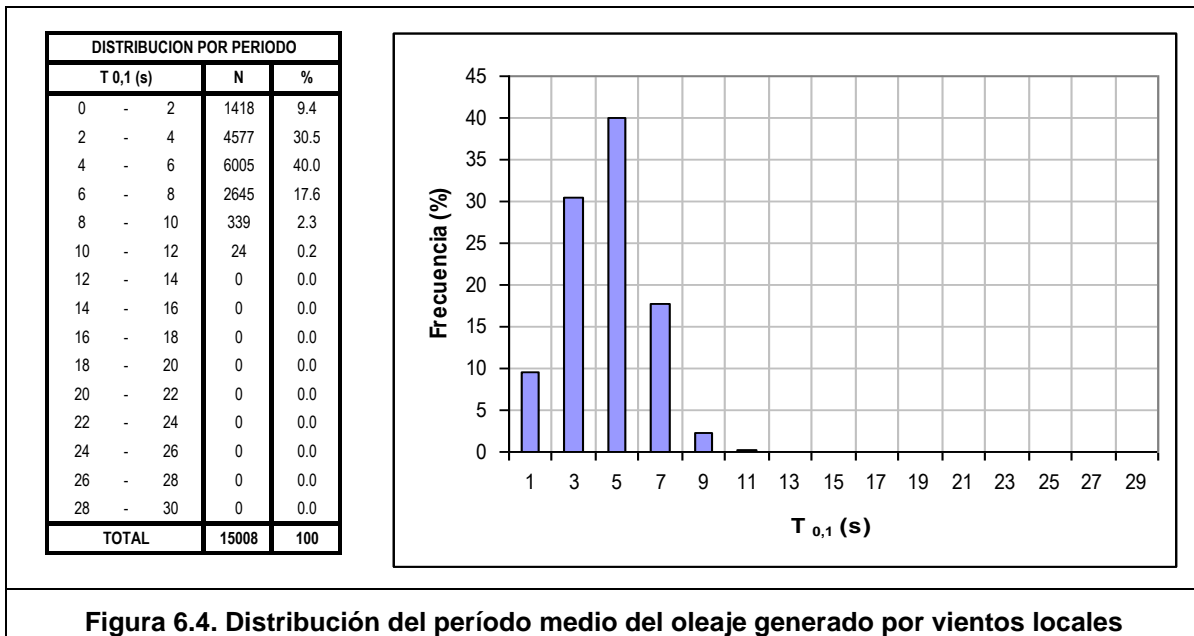
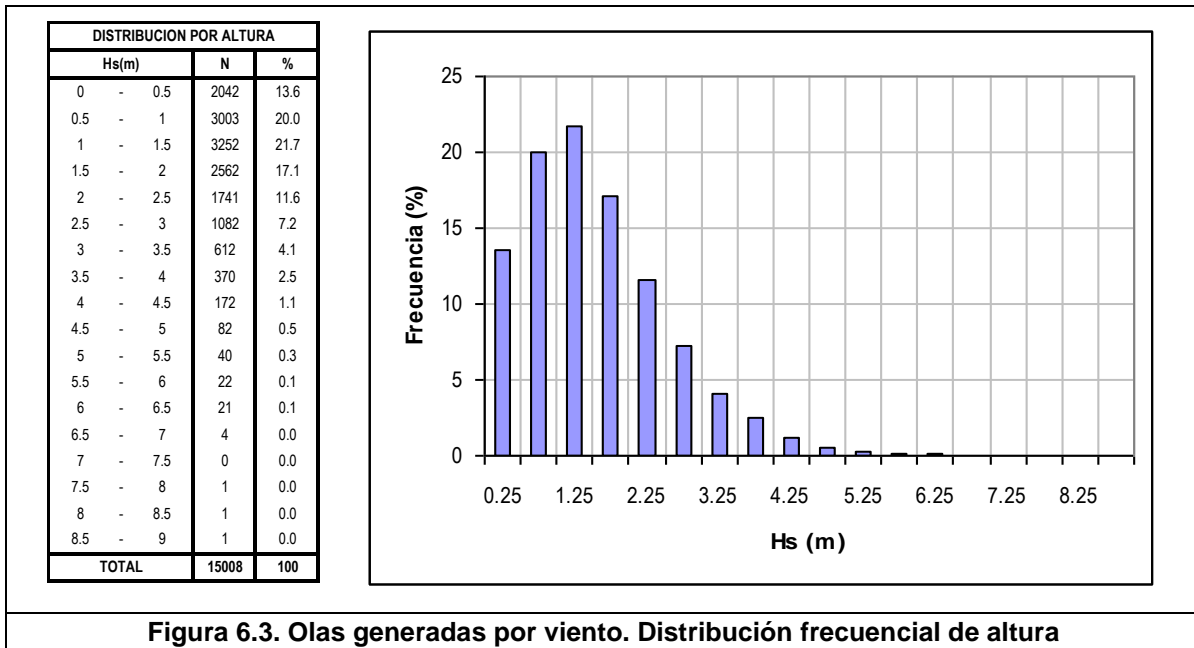


Figura 6.2. Olas generadas por viento. Distribución por dirección de procedencia



La **Figura 6.2** muestra para la distribución de direcciones un claro predominio de los cuadrantes SW y NW (oleaje generado por vientos que soplan desde el continente), entre

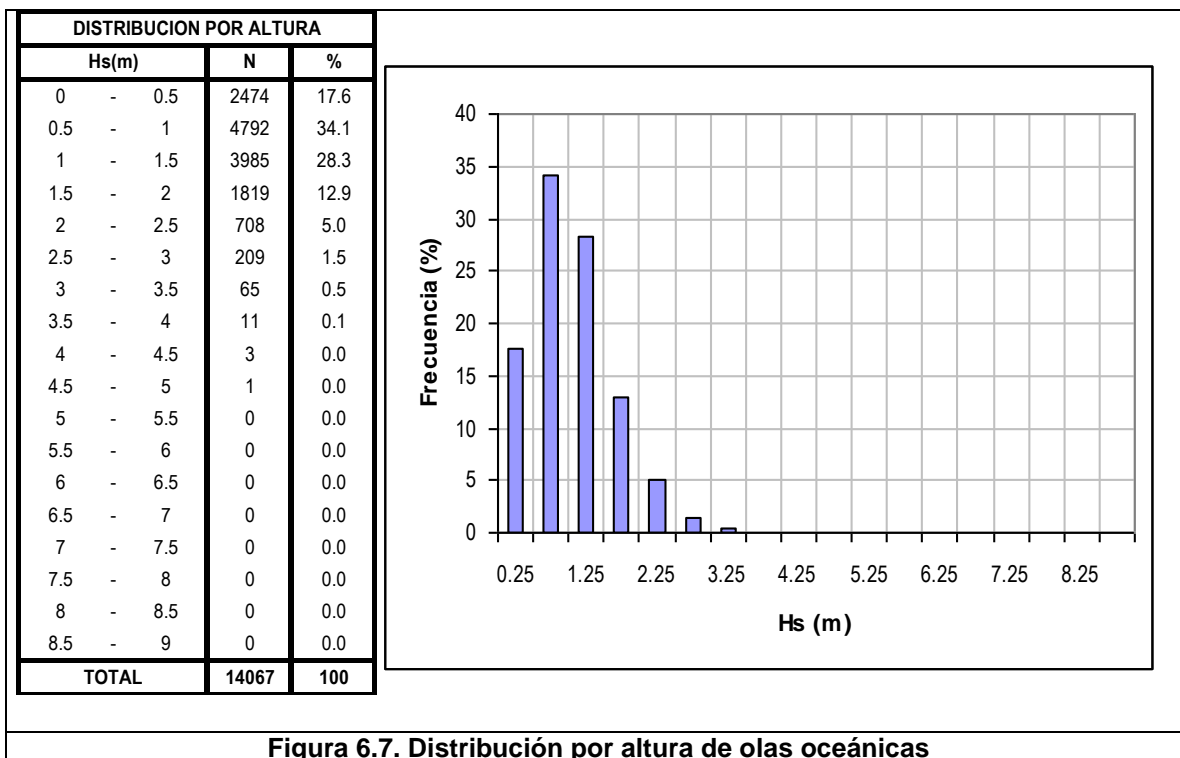
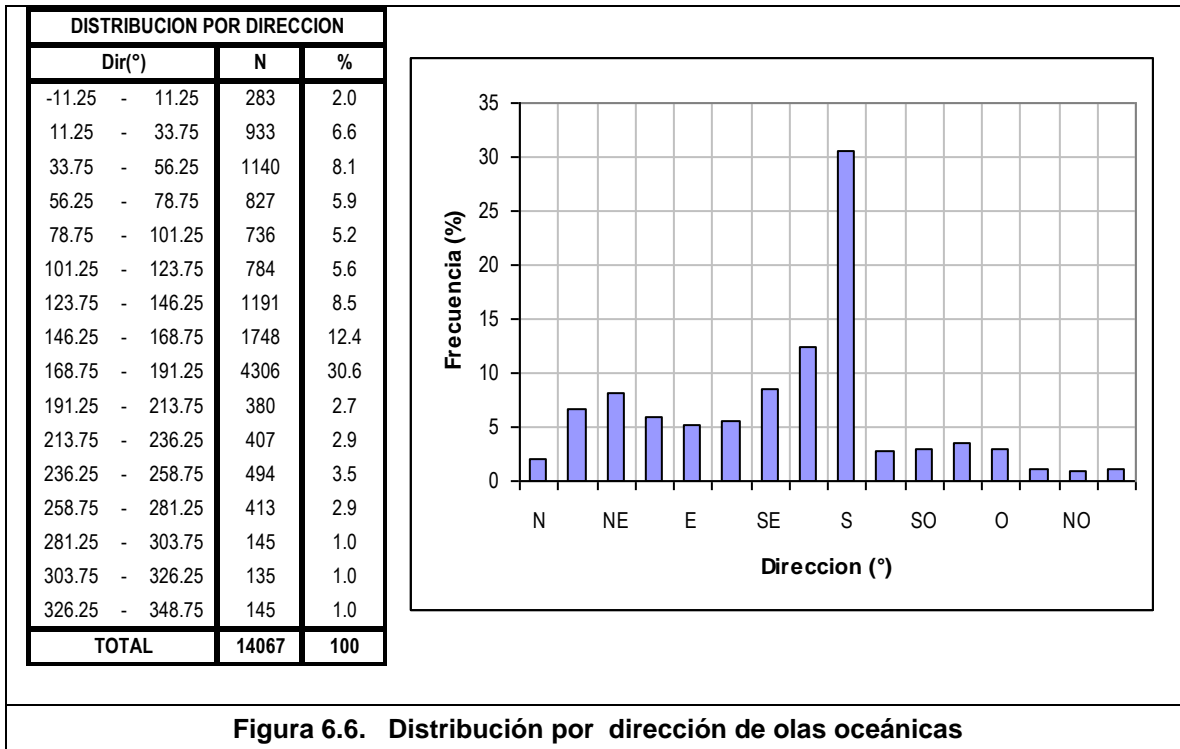
los cuales se concentra el 82% del total de casos observados. De estos cuadrantes solamente interesan las direcciones de N (13.4%) y S(4.9%), puesto que son las únicas que pueden propagarse desde el punto de pronóstico hacia la costa. Otro caso interesante es el de la dirección NNE que presenta un valor del 7.0%.

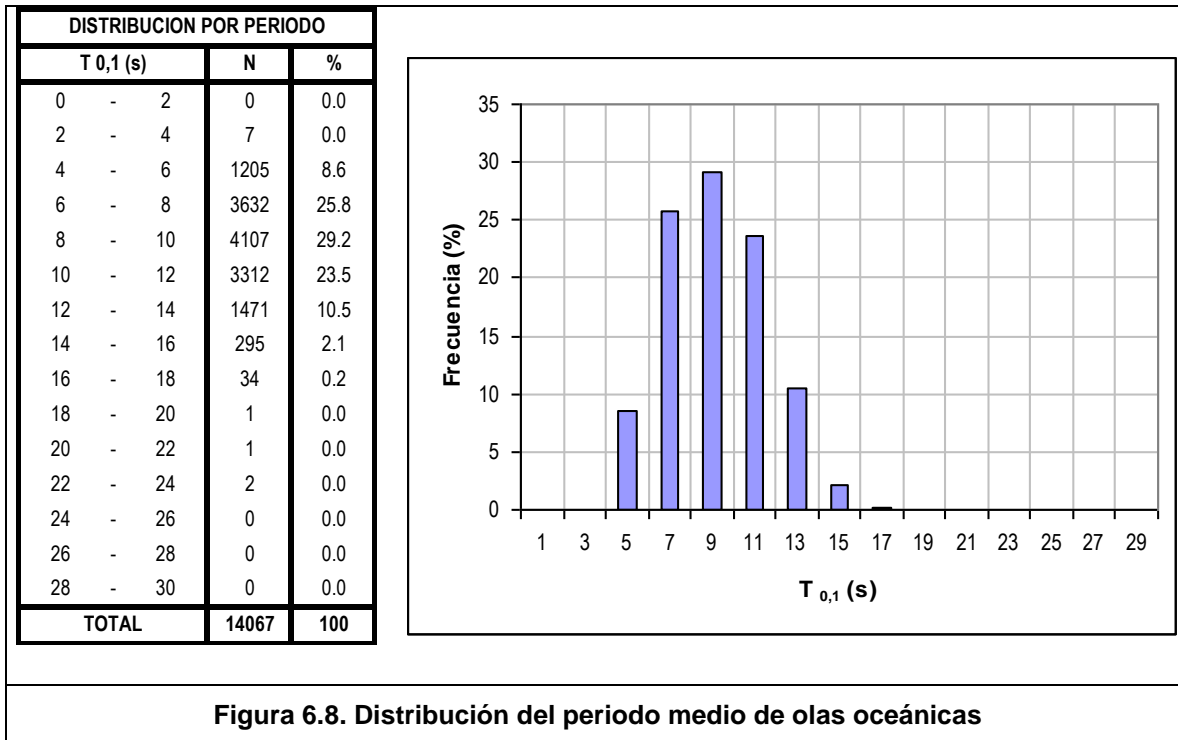
El análisis de la distribución de alturas significativas (**Figura 6.3**) señala que en el 91.3% de los casos los valores de Hs se mantienen por debajo de los 3 m, pero debe destacarse que el registro indica la presencia de eventos con alturas entre 6 y 6.5 m con una frecuencia del 0.1%.

La distribución del período medio del oleaje (**Figura 6.4**) se concentra fuertemente entre los 2 y los 8 s con un 88.1% del total de casos. Períodos mayores pueden encontrarse con bajos valores de ocurrencia, observándose valores entre 8 y 10 s. con 2.3% y entre 10 y 12 con 0.2%.

La **Figura 6.5.** muestra la distribución por dirección y altura (rosa) de olas generadas por vientos locales en el área oceánica.



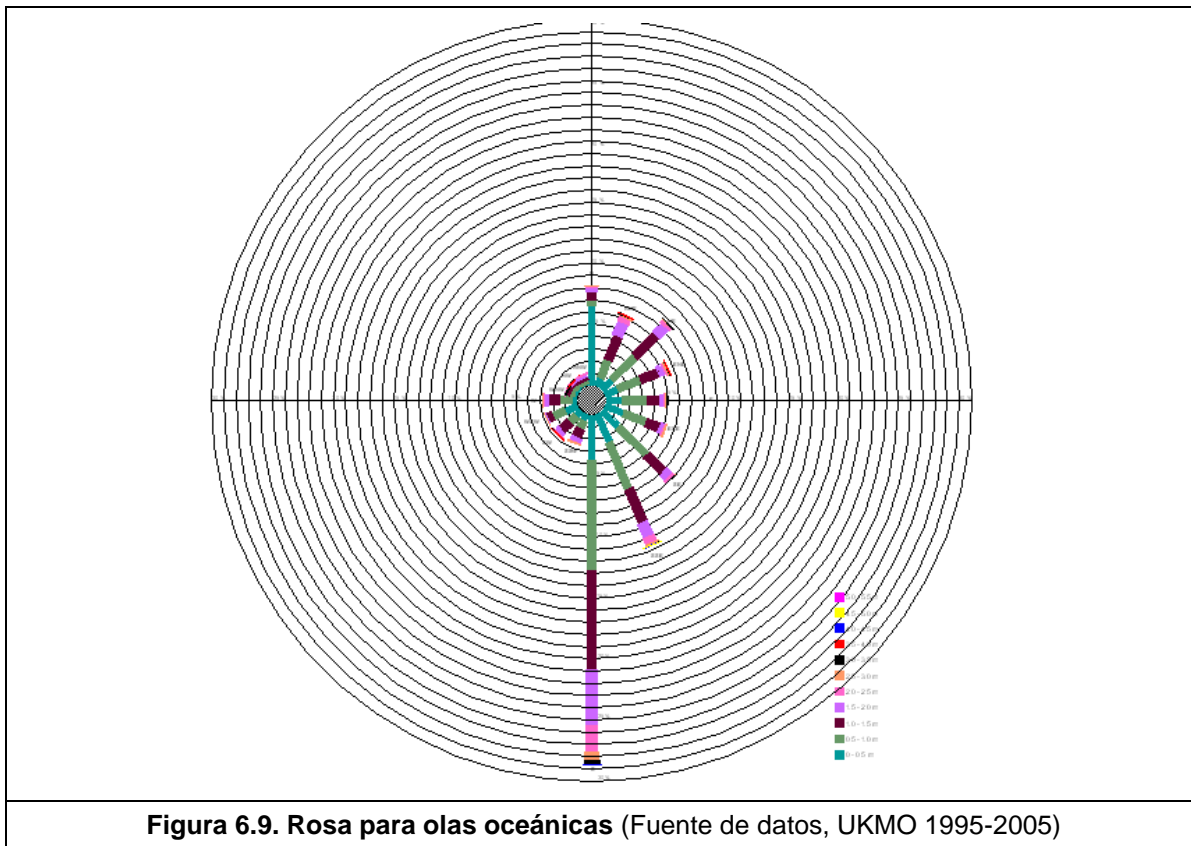




La **Figura 6.6** señala que el oleaje caracterizado como swell proviene preponderantemente de la dirección S, con una frecuencia del 28.7%. El resto de las direcciones de interés para este estudio (cuadrantes NE y SE) presenta valores de frecuencia que oscilan entre 5 y 10%, con excepción del SSE que presenta un valor de 11.6%.

La distribución para la altura significativa (**Figura 6.7**) muestra que los valores más frecuentes de Hs resultan inferiores a los observados para las olas generadas por vientos locales, con un 93.4% de casos por debajo de los 2 m y una frecuencia de 0.1% para los valores máximos, ubicados entre 3.5 y 4 m.

El período medio del oleaje (**Figura 6.8**) se concentra entre 6 y 12 s. con un 74.7% del total de casos, llegando a observarse valores comprendidos entre los 16 y 18 s. con un 0.2% de frecuencia.



### 6.6 *Análisis de valores extremos para Hs*

El propósito de este análisis es la determinación de valores de altura de ola significativa ( $H_s$ ) asociados a distintos períodos de recurrencia ( $T_r$ ). Dichos valores son utilizados posteriormente para la determinación de distintos escenarios de simulación para el estudio de la propagación del oleaje hacia la costa en situaciones de temporales intensos. Los resultados de este análisis se presentan en las **Tablas 6.2** y **6.3**, correspondientes a oleaje generado por vientos locales y oleaje oceánico, respectivamente.

**Tabla 6.2 . Valores de Hs (m) asociados a distintos períodos de retorno para olas generadas por vientos locales**

Tr (años)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
2	3.9	4.4	3.3	2.7	2.5	2.4	2.5	4.0	5.9
5	4.7	4.8	3.8	3.7	3.5	2.9	3.2	5.6	7.0
10	5.3	5.1	4.1	4.3	4.2	3.2	3.7	6.5	7.6
20	5.8	5.2	4.3	4.9	4.8	3.5	4.1	7.2	8.0
50	6.4	5.4	4.6	5.5	5.6	3.7	4.7	8.1	8.5
100	6.9	5.5	4.7	5.9	6.2	3.9	5.1	8.8	8.9

**Tabla 6.3. Valores de Hs (m) asociados a distintos períodos de retorno para olas oceánicas**

Tr (años)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
2	2.3	2.8	2.6	2.4	2.0	2.1	2.6	2.9	3.4
5	2.6	3.2	3.0	2.9	2.4	2.5	2.9	3.4	3.7
10	2.8	3.4	3.2	3.3	2.7	2.8	3.1	3.7	3.8
20	2.9	3.6	3.5	3.6	2.9	3.0	3.3	4.1	3.9
50	3.1	3.8	3.8	4.1	3.1	3.3	3.4	4.5	4.1
100	3.2	3.9	4.0	4.4	3.3	3.6	3.5	4.8	4.1

Dado que este análisis fue realizado con series de datos constituidas por diez valores (máximos anuales del período 1995-2004) es preciso señalar que los valores estimados para períodos de retorno elevados (50 y 100 años) se encuentran asociados a una incertidumbre natural manifestada por la escasa longitud de la serie. Este hecho no impide la utilización de estos datos para el estudio de las condiciones extremas del oleaje, por lo cual se utilizaron valores asociados a  $Tr=50$  para el desarrollo de las simulaciones numéricas.

### **6.7 Valores de $T_p$ asociados a olas oceánicas extremas**

En el informe de Ampliación de las Obras Portuarias (Ref. <sup>1</sup>) se presentó una metodología para la determinación de valores de período pico asociados a olas oceánicas extremas. El resultado de la aplicación de esa metodología es presentado en la **Tabla 6.4**.

**Tabla 6.4. Valores de Tp (s) asociados olas oceánicas extremas**

Dirección	Tp (s)
N	13.1
NNE	14.1
NE	15.2
ENE	16.4
E	18.3
ESE	13.3
SE	14.4
SSE	18.2
S	17.6

### **6.8 Régimen de Vientos**

Los vientos en superficie (a 10 m) son provistos en el registro de la UKMO en intensidad media y dirección, con un dato cada 6 horas.

La **Tabla 6.5.** muestra los valores clasificados en intervalos de intensidad de 2,5 m/s en una rosa de 16 direcciones. Las frecuencias indicadas son por mil.

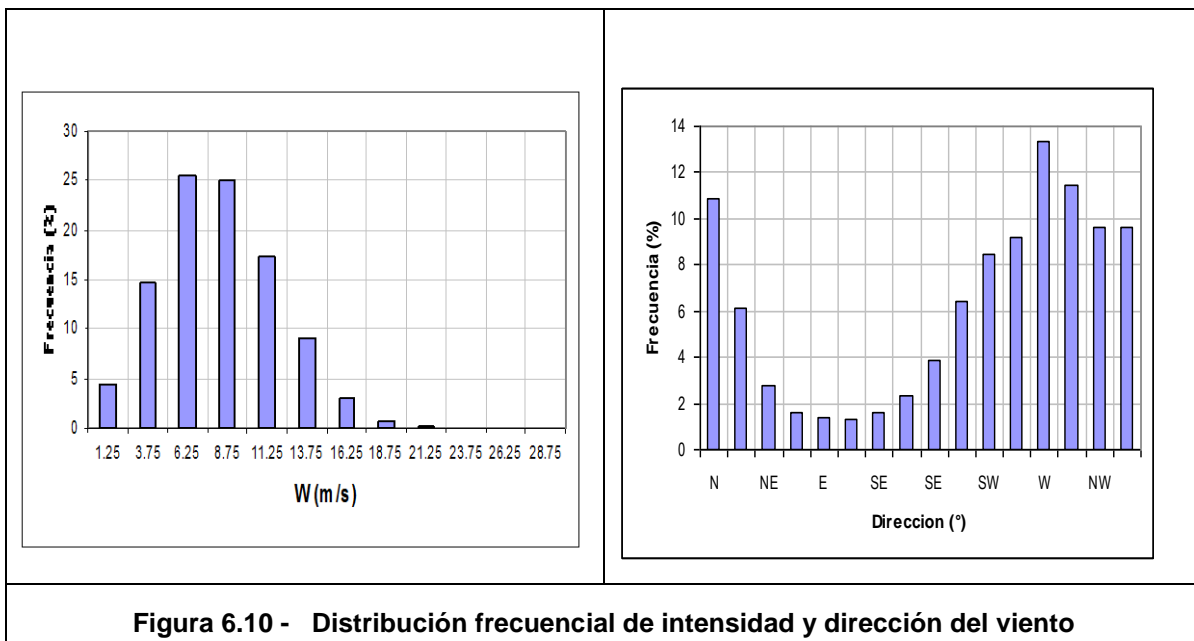
Puede notarse que los vientos desde el SSW al WNW (que para Caleta Córdova son vientos que soplan desde tierra) conforman el 68 % del total del registro, e incluyen los vientos más intensos, de 20 a 25 m/s (es decir hasta 90 Km/h de intensidad media).

Considerando las direcciones N hasta S inclusive, pasando por el E, los datos en estas direcciones representan casi el 32% del total, y las intensidades máximas están asociadas a las direcciones N y S. Los vientos que soplan más perpendicularmente hacia la costa (del E) tienen intensidades que no superan los 20 m/s. Esto es importante porque indica que las olas generadas por vientos locales y que pueden llegar a la costa son relativamente poco frecuentes.

**Tabla 6.5– Distribución frecuencial de vientos por dirección e intensidad**

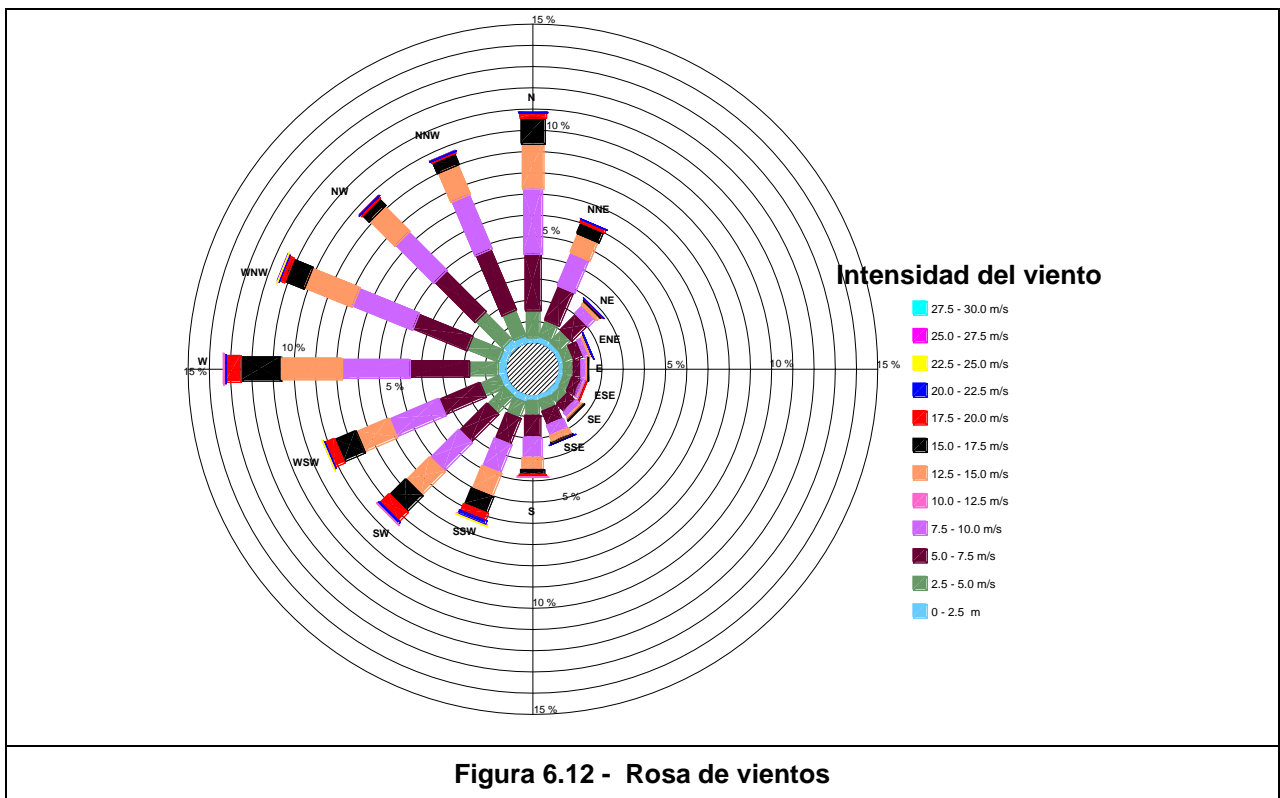
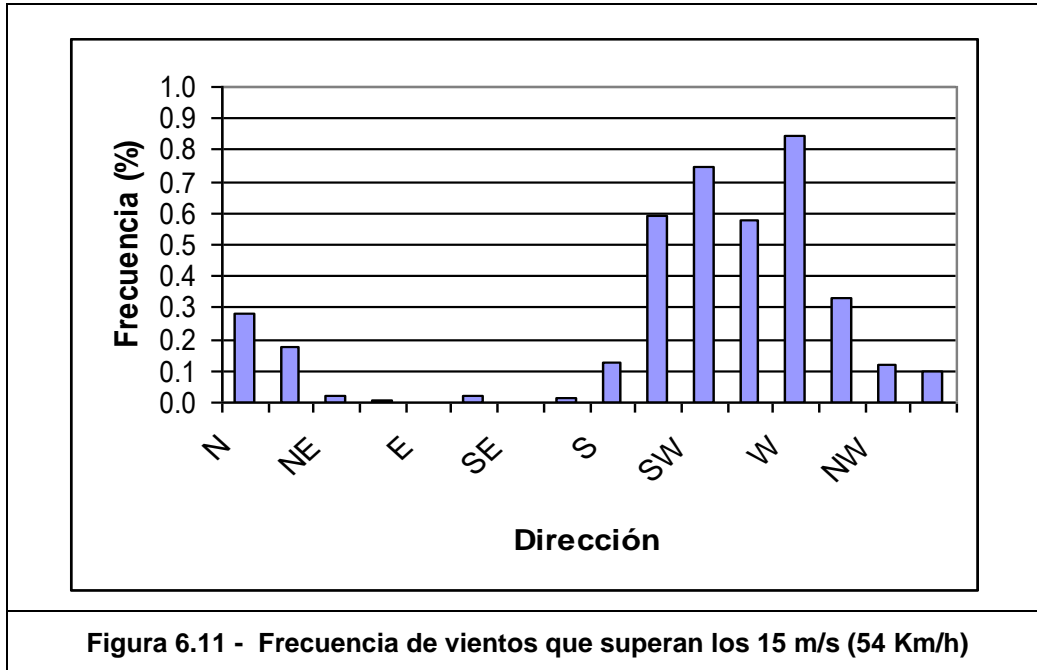
INTENSIDAD (m/s)	FRECUENCIA POR DIRECCION (POR MIL)															
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0.0 - 2.5	2.20	2.73	2.13	2.13	1.93	2.07	2.67	2.13	2.27	3.07	2.73	3.13	3.66	3.66	4.33	3.33
2.5 - 5.0	12.73	8.20	7.53	4.80	4.66	4.06	4.46	5.46	7.00	8.00	11.13	9.66	13.59	15.79	17.86	12.86
5.0 - 7.5	26.59	17.19	10.33	4.93	3.66	4.33	5.06	7.00	10.26	13.13	18.19	20.79	27.99	27.39	26.72	30.92
7.5 - 10.0	30.65	16.72	5.00	2.40	2.33	1.73	2.87	5.06	9.59	14.26	18.86	25.12	31.92	30.45	25.45	27.72
10.0 - 12.5	21.12	9.53	1.93	1.20	0.93	0.87	1.07	3.00	5.73	11.66	15.33	16.72	28.58	24.19	16.66	14.93
12.5 - 15.0	12.39	5.33	0.93	0.20	0.20	0.07	0.27	0.80	2.20	8.20	10.53	10.79	19.06	9.73	4.20	5.53
15.0 - 17.5	2.47	1.60	0.13	0.07	0.00	0.20	0.00	0.07	0.80	3.40	5.86	4.80	7.20	2.53	1.13	0.87
17.5 - 20.0	0.33	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.27	1.73	1.33	0.80	1.00	0.67	0.07	0.13
20.0 - 22.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.53	0.27	0.13	0.27	0.07	0.00	0.00
22.5 - 25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00
25.0 - 27.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27.5 - 30.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>108.48</b>	<b>61.43</b>	<b>28.05</b>	<b>15.72</b>	<b>13.73</b>	<b>13.33</b>	<b>16.39</b>	<b>23.59</b>	<b>38.31</b>	<b>64.23</b>	<b>84.22</b>	<b>92.02</b>	<b>133.26</b>	<b>114.54</b>	<b>96.42</b>	<b>96.28</b>

Tanto la **Tabla 6.5** como las **Figuras 6.10** y **6.11** muestran claramente que *los vientos más intensos* proceden predominantemente de los cuadrantes SW y NW , y que con relación al clima de olas costero existe una baja contribución de los vientos de las direcciones NE, E y SE que son los que permitirían la llegada más directa de olas al área costera de Caleta Córdova.



Los vientos intensos y frecuentes del cuadrante SW contribuyen a la presencia de olas de considerable amplitud en el Golfo de San Jorge, como lo muestra la **Figura 6.5**. pero no

son relevantes en el área costera. En la **Figura 6.12** se presenta la rosa de vientos correspondiente al registro total de datos.



## 7 OLAS EN EL AREA COSTERA

El estudio de las características del oleaje imperante en la zona del proyecto requiere la aplicación de un modelo matemático que permita modelar la propagación de las olas desde el punto de pronóstico, ubicado en aguas profundas, hacia la región de costera de Caleta Córdova. Esta tarea se desarrolló mediante la aplicación de SWAN (Simulating WAVes Nearshore, L.H. Holthuijsen, N. Booij y otros) desarrollado en Delft University of Technology.

Las características de este modelo y los requerimientos necesarios para su aplicación fueron presentados en detalle en el informe de Ampliación de las Obras Portuarias (Ref <sup>1</sup>). Las grillas de cálculo construidas en ese estudio para la aplicación del modelo fueron utilizadas nuevamente, permitiendo en este caso estudiar la propagación del oleaje hasta las proximidades de la línea de costa.

Realizando una cierta cantidad de simulaciones numéricas, en las cuales se estudió la propagación de olas en distintas direcciones con alturas y períodos diferentes, fue posible caracterizar el clima de olas en la zona del proyecto utilizando como fuente de información el resultado del análisis estadístico realizado sobre los registros de pronóstico en aguas profundas. Las **Tablas 7.1 y 7.2** presentan el conjunto de escenarios simulados para  $T_r = 50$  años.

**Tabla 7.1. Escenarios de cálculo para el oleaje generado por vientos locales ( $T_r=50$  años)**

Escenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dirección	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	ENE	E
<b>N (m)</b>	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	<b>7.36</b>	<b>7.36</b>
<b>Hs (m)</b>	5.4	4.6	5.5	5.6	3.7	4.7	8.1	5.5	5.6
<b>Tp (s)</b>	11.8	11.4	11.8	12.4	10.2	11.4	14.7	11.8	12.4
<b>W (m/s)</b>	20.6	18.9	20.6	21.1	17.1	18.9	24.5	20.6	21.1

**Tabla 7.2. Escenarios de cálculo para el oleaje oceánico (Tr=50 años)**

Escenario	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Dirección	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	ENE	E
N (m)	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	<b>7.36</b>	<b>7.36</b>
Hs (m)	3.8	3.8	4.1	3.1	3.3	3.4	4.5	4.1	3.1
Tp (s)	14.1	15.2	16.4	18.3	13.3	14.4	18.2	16.4	18.3

Los escenarios presentados en las tablas consideran valores de Hs, Tp y W asociados a períodos de retorno (Tr) de 50 años. Estos valores se combinan con dos niveles de mar diferentes, definidos en el **Apartado 6.3**: el nivel máximo actual (NM=7.06 m) y un nivel máximo probable (NM=7.36 m) que incluye los efectos del calentamiento global.

El resultado de las simulaciones es evaluado a partir de la información brindada por el modelo para el cálculo del oleaje sobre seis puntos de control ubicados en la proximidad de la línea de costa. La **Figura 7.1** muestra la posición de los puntos seleccionados para evaluar los resultados.

En las **Tablas 7.3 a 7.6** se presentan los resultados de la aplicación del modelo para los casos de análisis más significativos. El resto de los resultados, abarcando la totalidad de las simulaciones realizadas, se encuentran en el **Anexo A**.

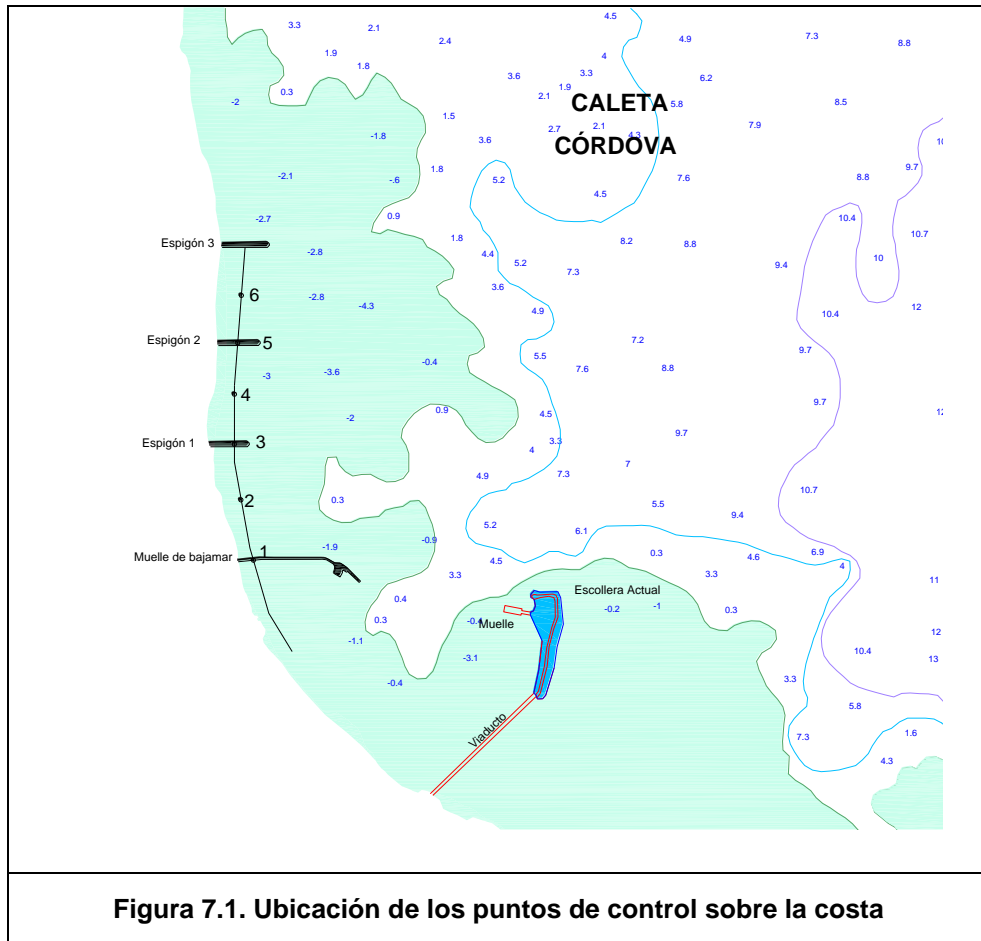


Tabla 7.3. Olas de viento – Dirección Este NM=7.06

Punto	Hs (m)	Tp (seg)	Tm01 (seg)	Dir (grados)	Prof. (m)	L. de Onda (m)
1	1.60	14.2	9.8	202.3	4.8	53.9
2	2.16	14.2	9.8	193.2	4.4	51.5
3	2.19	14.2	10.4	184.4	4.0	55.0
4	1.94	14.2	10.1	165.6	4.1	52.5
5	1.74	14.2	11.1	167.9	3.3	56.3
6	2.05	12.6	11.6	174.2	3.7	65.2

**Tabla 7.4. Olas de viento – Dirección Este NM=7.36**

Punto	Hs (m)	Tp (seg)	Tm01 (seg)	Dir (grados)	Prof. (m)	L. de Onda (m)
1	1.69	14.2	9.7	202.2	5.1	54.7
2	2.27	14.2	9.8	193.0	4.7	53.4
3	2.33	14.2	10.5	184.6	4.3	57.1
4	2.06	14.2	10.1	166.6	4.4	54.5
5	1.89	14.2	11.1	168.5	3.6	58.9
6	2.22	12.6	11.6	174.3	4.0	67.9

**Tabla 7.5. Olas Oceánicas – Dirección Este NM=7.06**

Punto	Hs (m)	Tp (seg)	Tm01 (seg)	Dir (grados)	Prof. (m)	L. de Onda (m)
1	2.57	20.0	9.8	189.4	7.0	57.6
2	2.32	20.0	8.7	184.4	7.0	49.5
3	2.49	20.0	10.0	178.8	7.0	59.6
4	2.67	20.0	11.6	174.3	6.9	73.6
5	2.76	20.0	11.6	177.1	6.8	72.9
6	2.59	20.0	11.3	180.1	6.9	69.5

**Tabla 7.6. Olas de swell – Dirección Este NM=7.36**

Punto	Hs (m)	Tp (seg)	Tm01 (seg)	Dir (grados)	Prof. (m)	L. de Onda (m)
1	2.63	20.0	9.7	189.4	7.3	57.1
2	2.36	20.0	8.6	184.9	7.3	49.0
3	2.55	20.0	9.8	179.3	7.3	58.6
4	<b>2.78</b>	20.0	11.4	174.7	7.2	73.0
5	<b>2.87</b>	20.0	11.4	177.2	7.1	72.4
6	2.70	20.0	11.1	180.0	7.2	69.3

Se realizaron además algunas simulaciones para determinar condiciones frecuentes de oleaje en el área costera. Los escenarios adoptados se muestran en las **Tablas 7.7 y 7.8**. El nivel del mar considerado para estos casos fue NM =7,06 m

**Tabla 7.7. Escenarios para olas generadas por viento – Condiciones frecuentes**

Escenario	19	20	21
Dirección	NE	E	SE
H(m)	2.5	2.0	2.5
T(s)	6.0	6.0	6.0
W(m/s)	11.5	10.1	11.5

**Tabla 7.8. Escenarios para olas oceánicas – Condiciones frecuentes**

Escenario	22	23	24
Dirección	NE	E	SE
H(m)	2.0	2.0	2.5
T(s)	8.0	10.0	10.0
W(m/s)	0	0	0

Los resultados completos para estos escenarios se muestra en las **Tablas A.3. (Anexo A)** y una síntesis en las **Tablas 7.9. y 7.10** para las condiciones más severas.

**Tabla 7.9 – Olas Generadas por Viento –Condiciones frecuentes Dirección NE - NM =7,06m**

Punto	Hs (m)	Tp (seg)	Dir (grados)	Tm01 (seg)	Prof. (m)	L. de Onda (m)
1	0.94	3.8	203.7	4.8	6.3	21.8
2	1.23	4.5	197.7	4.4	6.3	15.8
3	1.45	5.0	192.2	4.0	7.6	18.7
4	1.36	5.0	184.8	4.1	7.6	22.6
5	1.36	5.2	188.1	3.3	7.6	22.2
6	1.42	5.1	184.4	3.7	7.6	23.0

**Tabla 7.10 Olas Oceánicas. Condiciones frecuentes. Dirección E - NM =7,06m**

<b>Punto</b>	<b>Hs (m)</b>	<b>Tp (seg)</b>	<b>Dir (grados)</b>	<b>Tm01 (seg)</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>L. de Onda (m)</b>
1	1.10	9.5	185.3	8.0	7.0	50.4
2	1.07	9.5	181.4	7.6	7.0	46.8
3	1.27	9.5	179.3	7.9	7.0	50.6
4	1.49	9.5	177.7	8.2	6.9	54.5
5	1.49	9.5	176.3	8.1	6.8	53.1
6	1.47	9.5	177.5	8.2	6.9	53.4

## 8 CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE LA OBRA

### 8.1 Objetivo de la obra

La condición costera de Caleta Córdova determina que frente a la ocurrencia de eventos de marea asociados a eventos meteorológicos de cierta magnitud, se produzcan serios riesgos de generación de daños a la infraestructura pública y propiedad privada así como los consecuentes inconvenientes en el normal desarrollo de la vida urbana en general.

En el contexto planteado, surge la necesidad de mitigar los efectos del retroceso de la línea de costa por erosión marina y el riesgo de inundación, asociados a eventos marinos extremos, restituyendo aquellos elementos de protección que actualmente se encuentran colapsados o con un deficiente comportamiento respecto de los objetivos primarios para los cuales fueron diseñados y construidos.

En consecuencia, la obra de defensa que se propone es esencialmente una estructura longitudinal que se desarrollará a lo largo de la línea de costa con unos 725 m de extensión, entre el Muelle de Bajamar y el más alejado de los espigones, abarcando el frente urbano sobre las manzanas 5 a 10 del Plano Catastral, entre las calles Francisco Antonio y El Ancla

Su elevación sobre el terreno natural debe ser tal que permita controlar los efectos hídricos expuestos más arriba, en un marco de factibilidad técnica y económica.

Como objetivo complementario la obra de defensa deberá delimitar el ambiente natural constituido por la playa, del espacio urbano, generando en un tramo de la misma espacios de recreación y estableciendo entre el ámbito urbano y el ambiente natural una vinculación paisajística.

La Provincia de Chubut ha desarrollado un **Proyecto de Recuperación y Defensa Costera**, cuyo objetivo central es por una parte la fijación de la línea de costa evitando su retroceso por fenómenos naturales y por otra la protección de una franja urbana de la

población que bordea la costa marítima de los procesos de inundaciones que pueden ocurrir en ese sector a partir de eventos asociados de tormentas y mareas extremas. Se plantea, como objetivo complementario, la revalorización del territorio que se protegerá y de la costa en sí como elemento paisajístico y área para el desarrollo de actividades recreativas, sociales y culturales.

## **8.2 Grado de protección de las obras.**

Debido a las características de la zona que se desea proteger, los potenciales riesgos existentes en cuanto a niveles de anegamiento y perturbaciones a la vida urbana, y tomando en consideración antecedentes de obras similares, se ha considerado adecuado adoptar un período de retorno de 50 años para el predimensionamiento de la obra de defensa. A partir de esta condición básica de diseño se han adoptado los parámetros hidráulicos necesarios para verificar el diseño de la geometría de la protección propuesta por la Provincia de Chubut.

No obstante, teniendo en cuenta potenciales riesgos de superposición de efectos, se han considerado variables hidrodinámicas adicionales que influyen en el grado de protección final que presentarán las obras. En este contexto se consideró la variación de la marea astronómica, la sobreelevación por efectos meteorológicos (viento, presión atmosférica) y el efectos del calentamiento global sobre el nivel medio del mar.

La marea astronómica presenta variaciones a lo largo del mes lunar y del año. Esta combinación de olas y niveles extremos (eventos independientes) determina una condición de proyecto a la cual puede asociarse un período de retorno aún mayor que 50 años. Esta condición real de diseño ha sido considerada como un factor de seguridad adicional cuya adopción se sustenta en las potenciales consecuencias que podrían generarse frente a un excesivo sobrepaso de la obra o bien frente a un colapso de la misma.

### 8.3 Condiciones básicas de diseño

Para la verificación de la obra se escogieron seis secciones transversales típicas de la costa distribuidas uniformemente entre el muelle de Bajamar al Sur y el espigón norte, según se indica en la **Figura 7.1**. Las secciones corresponden al plano del Proyecto de Recuperación Costera elaborado por la Provincia de Chubut presentado en el **Anexo B**.

A partir del período de retorno adoptado, el cual determina que los eventos así caracterizados tienen una probabilidad de presentarse una vez cada 50 años en promedio, se han definido los principales parámetros hidráulicos para el diseño preliminar de las obras:

- **Nivel del mar:** se consideró: la marea astronómica + sobreelevación por viento + sobreelevación por calentamiento global.

$$NM_{\max} = 6.26\text{m} + 0.80\text{ m} + 0.30\text{ m} = +7.36\text{ m}.$$

- **Altura y período para la ola de diseño:** Las alturas y periodos de ola correspondientes a cada escenario y para cada uno de los seis perfiles de obra se indican en el **Anexo A**
- **Caudal medio de sobrepaso admisible:** En este caso se adoptó como valor máximo admisible para un período de retorno de 50 años un caudal medio de sobrepaso de hasta de 2 l/s/m. Para condiciones frecuentes (1 año de periodo de retorno) se adoptó un caudal medio de sobrepaso más estricto, de 0,3 litros por segundo. Estos valores surgen de la tabla ilustrada en la **Figura 8.1**<sup>2</sup>. El caudal de sobrepaso  $q = 0,3\text{ l/m/s}$  genera potencialmente daños menores en edificios e incomodidad pero no riesgo para los peatones. Se estima que un caudal de hasta 2 l/s/m puede ocasionar daños estructurales en edificaciones y peligro para peatones. No causa daños en el talud interno no protegido de la obra de defensa.

---

<sup>2</sup> COASTAL ENGINEERING MANUAL (CEM) , Cap. VI

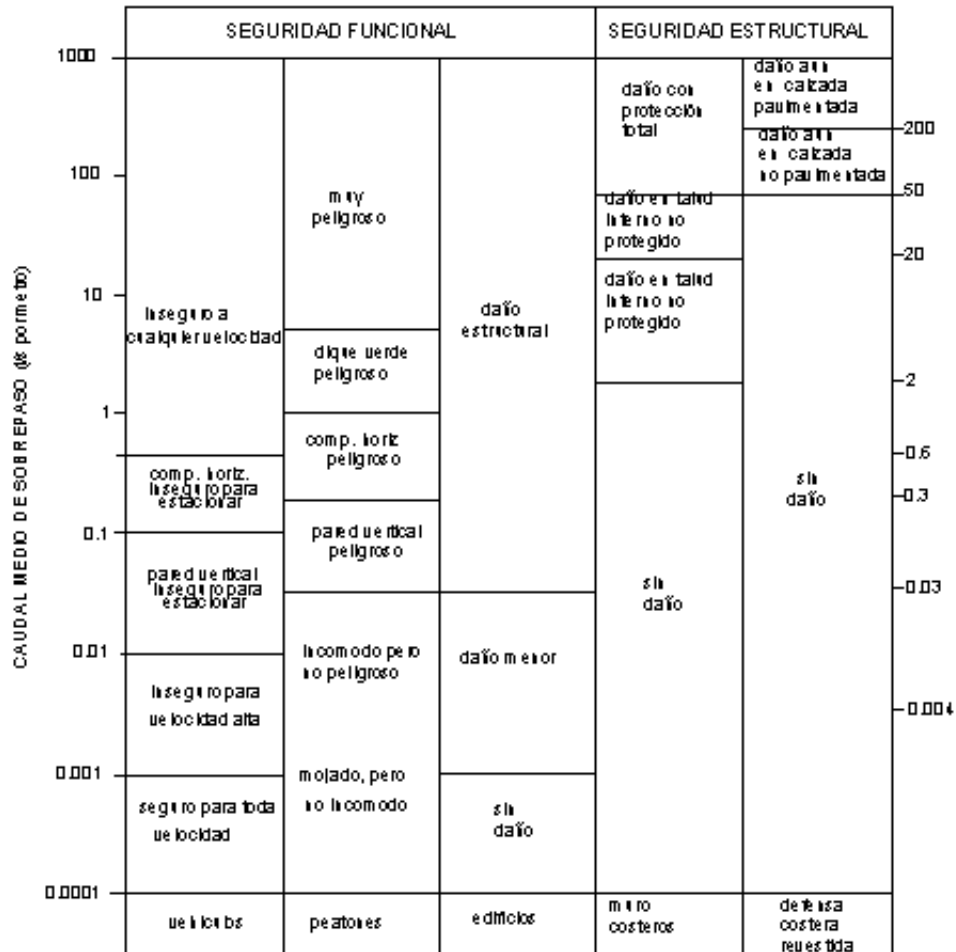


Figura 8.1. Caudal medio de sobrepaso admisible

#### 8.4 Criterios y premisas generales del proyecto

Sobre la base de la información básica considerada en el estudio, el nivel de protección establecido para las obras y las condiciones de borde hidráulicas antes mencionadas, se han adoptado los siguientes criterios y premisas para la verificación del diseño de las obras de protección:

1. La obra debe ser segura desde el punto de vista estructural y funcional para la condición de proyecto elegida.

2. Protección contra inundaciones adecuada al uso del terreno protegido: Los valores admisibles de sobrepaso ( 2l/s/m una vez en 50 años y 0,3 l /m/s una vez al año) por olas establecidos para el proyecto han sido definidos a partir de la literatura específica y corresponden a áreas urbanas.
3. La cota superior de las obras, determinante del caudal de sobrepaso por olas y del riesgo de inundación, deberá ser validada con los resultados de un modelo hidráulico, de los que eventualmente podrá surgir la conveniencia de realizar modificaciones.
4. El predimensionamiento estructural del talud protegido deberá ser verificado en modelos hidráulicos una vez definido el proyecto.
5. Aspectos arquitectónicos y ambientales. Se destaca la condición de que la obra no debe interrumpir las visuales al mar desde el área urbana protegida, funcionando como un elemento integrador entre el entorno natural (mar, costa) y el área urbana.

## **9 DESCRIPCION DE LA OBRA**

Como parte del Plan de Recuperación Costera de Caleta Córdova, la Dirección General de Infraestructura Portuaria de la Secretaría de Infraestructura, Planeamiento y Servicios Públicos de la Provincia de Chubut, ha desarrollado un proyecto para la obra de defensa que prevé la construcción de un talud de enrocado extendido a lo largo de la línea de costa afectada.

El proyecto encarado por la Provincia comprende la construcción de una obra de defensa costera longitudinal de unos 725 m de extensión, entre el Muelle de Bajamar y el más alejado de los espigones, abarcando el frente urbano sobre las manzanas 5 a 10 del Plano Catastral, entre las calles Francisco Antonio y El Ancla, tal como se observa en el **Plano 03** del **Anexo B** de este informe y siguiendo aproximadamente la línea de costa actual.

El **Plano 03** muestra en planta la ubicación de 37 perfiles transversales (numerados de 4 a 40), dispuestos a lo largo del tramo de costa que se busca proteger, definidos con el propósito de describir la topografía del terreno y facilitar el replanteo de la obra. En los **Planos 4 a 12** del **Anexo B** se presenta el detalle de cada uno de los perfiles mencionados, allí puede observarse el corte transversal del terreno natural junto con talud de la obra de protección proyectada.

Las obras prevén la colocación previa de una serie de mantas geotextiles para filtro de 400 gr/m<sup>2</sup>, provistos en rollos de 4,30 m x 100 m. Las mantas estarán solapadas 0,60 m, y se prolongarán 1 m antes y luego de concluida la base de la coraza. El geotextil servirá de asiento para el núcleo y la coraza de cada sección.

La solución adoptada para la obra es del tipo bicapa, conformada por un núcleo de rocas de menor tamaño y por una coraza de rocas de mayor peso.

Las pendientes de los taludes que están programados efectuar, serán de 1V:1,5H. La cota de coronamiento de 3,50 m de ancho será variable, iniciándose en cota +11,00, en el extremo Norte para que luego de 116 m, se alcance la cota +10,50, que desarrollados

unos 150 m bajo el anterior nivel se mantiene en +9,00 m hasta el final de la protección, en correspondencia con el muelle de Bajamar. Las mismas están referidas a un punto de referencia sobre el Muelle de Bajamar (cota +9,00 m).

El núcleo de las defensas está compuesto por piedras de cantera de tamaño variable con pesos comprendidos entre 5 y 200 Kg. El coronamiento del núcleo poseerá un ancho variable, y asentará sobre el terreno nivelado. La coraza de rocas estará compuesta por material de cantera de un peso mínimo de 2 tn.

## 10 VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE LA OBRA PROPUESTA

Para la verificación hidráulica de este proyecto es necesario comprobar la eficiencia de la obra en dos aspectos diferentes: por un lado, **la seguridad estructural**, verificando la estabilidad de la coraza resistente frente a la acción de oleajes extremos; en segundo lugar, **el control de sobrepaso**, asegurando la no inundabilidad del terreno lindante con la costa por efecto de la trepada de las olas.

### 10.1 Fórmulas de cálculo de estabilidad

Para la evaluación de la estabilidad del enrocado se siguieron las relaciones empíricas desarrolladas por Van Der Meer. Estas relaciones reemplazan a la extensamente utilizada fórmula de estabilidad de Hudson, con la ventaja de incorporar explícitamente algunas variables como las características y duración de las olas que inciden sobre el talud, y la porosidad de la cubierta de enrocado. El parámetro adimensional de Iribarren  $I_r$  permite incorporar las características del oleaje. Este parámetro se define como:

$$I_r = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_o}}} \quad (10.1)$$

donde

- $\alpha$  es la inclinación del talud
- H la altura de ola
- $L_o$  la longitud de onda en aguas profundas ( $L_o = 1,56 T_z^2$ , siendo  $T_z$  el período).

El valor límite del parámetro de Iribarren que separa los distintos tipos de rompiente (plunging/surging) se evalúa según:

$$I_{r_l} = (6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha})^{1/(P+0.5)} \quad (10.2)$$

Para una protección de determinado talud  $\alpha$  y porosidad P, valores inferiores de  $I_r$  al indicado por la ec. [10.2] corresponden al tipo de rotura "plunging" y valores mayores a la denominada "surging", para cada una de las cuales existe una fórmula de estabilidad diferente:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} * \sqrt{Ir} = 6.2 * P^{0.18} (S/\sqrt{N})^{0.2} \quad (\text{plunging, } Ir < Ir_i) \quad [10.3]$$

$$H_s / \Delta D_{n50} = 1.0 P^{-0.13} (S/\sqrt{N})^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} Ir^P \quad (\text{surgling } Ir > Ir_i) \quad [10.4]$$

donde:

$H_s$  = altura de ola significativa.

$Ir$  = parametro de Iribarren.

$T$  = periodo de cruce de cerros.

$\alpha$  = angulo del talud.

$\Delta$  = peso especifico relativo del enrocado,  $\frac{\gamma_r - \gamma}{\gamma}$ .

$D_{n50}$  = diametro nominal,  $(\frac{W_{50}}{\gamma_r})^{1/3}$ .

$W_{50}$  = peso medio del enrocado.

$P$  = permeabilidad.

$S$  = nivel de daño,  $A / D_{n5}^2$

$A$  = area erosionada en la seccion transversal.

$N$  = numero de olas ( duracion de la tormenta ).

La **Figura 10.1.** muestra un ejemplo de las ecuaciones 10.2. a 10.4 de las que surge que existe una situación (un parámetro de rotura particular) para la cual la resistencia del enrocado es mínima. Si la geometría de la sección está dada, esto significa que un nivel de daño determinado puede alcanzarse con olas de menor altura en correspondencia con el mínimo de la curva. Períodos más cortos o más largos inducen daños menores para la misma ola, o bien se requiere de olas mayores para producir el mismo nivel de daño.

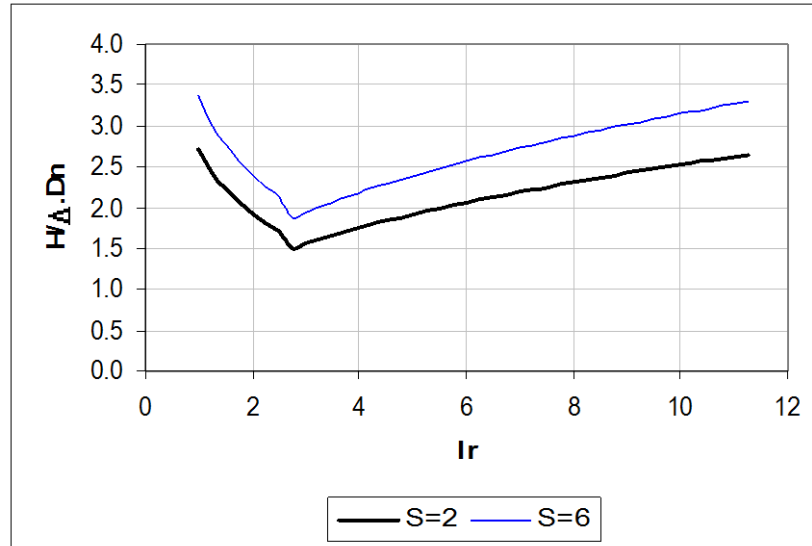


Figura 10.1. Estabilidad de enrocado –ecuaciones de van der Meer

## 10.2 Fórmulas de sobrepaso

Para la evaluación del sobrepaso  $q$  se utilizarán las ecuaciones de van der Meer dadas por:

$$\frac{q}{\sqrt{g.H_s^3}} \cdot \sqrt{\frac{S_{op}}{\tan \alpha}} = 0.06 \cdot \exp \left[ -5.2 \cdot \frac{R_c}{H_s} \cdot \frac{\sqrt{S_{op}}}{\tan \alpha} \cdot \frac{1}{\gamma_b \gamma_r \gamma_h} \right] \quad (I_r \leq 2) \text{ ec. [10.5]}$$

$$\frac{q}{\sqrt{g.H_s^3}} = 0.2 \cdot \exp \left[ -2.6 \cdot \frac{R_c}{H_s} \cdot \frac{1}{\gamma_b \gamma_r \gamma_h} \right] \quad (I_r > 2) \text{ ec. [10.6]}$$

donde (ver **Figura 10.2**):

$q$  es el caudal de sobrepaso, por unidad de longitud de obra, en  $m^3/m/s$ ;

$S_{op} = H/L_o$  es la pendiente de la ola en la que  $L_o$  está calculada con el periodo de pico espectral  $T_p$ ;

$R_c$  es la altura de la obra sobre el nivel del agua;

$\gamma_r$ ,  $\gamma_b$ ,  $\gamma_h$  son coeficientes de rugosidad, de berma y por incidencia oblicua de las olas respectivamente.

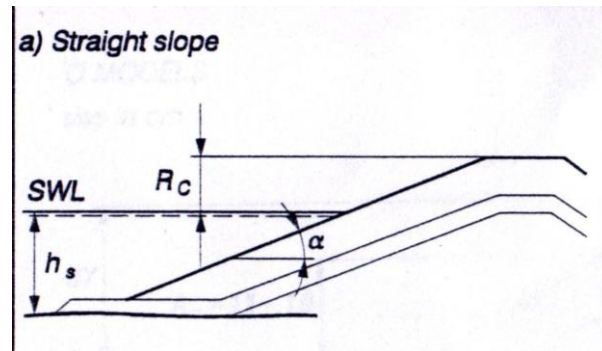


Figura 10.2

### 10.3 Verificación del proyecto

Se han realizado los cálculos de verificación de la estabilidad y caudal medio de sobrepaso por olas para el proyecto descrito en el **Capítulo 9** de este informe.

#### 10.3.1 Estabilidad

La aplicación de la fórmula de van der Meer (10.3, 10.4) con los valores de las variables indicadas en la **Tabla 8.1** y adoptando además los siguientes valores para el resto de los parámetros:

- Talud  $\cot \alpha = 1.5$
- Porosidad  $P = 0.4$
- Peso específico relativo  $\Delta = 2.65$
- Duración  $3 \text{ hs}$

S es el nivel de daño, número adimensional que expresa la relación entre área transversal erosionada y área transversal de una unidad de enrocado. Para una protección de espesor equivalente a 2 diámetros nominales de enrocado, el valor  $S = 2$  indica el inicio de daño. El valor máximo tolerable es  $S = 5$  a  $8$ . Para  $S = 10$  el filtro de apoyo resulta expuesto. Para este análisis se adoptó un valor de daño máximo admisible  $S = 6$  para un período de retorno  $T_r$  de 50 años.

Para la porosidad se adoptó el valor de  $P = 0.4$ , que corresponde a la siguiente situación:

- espesor del filtro equivalente a 1.5 veces el diámetro nominal del enrocado  $D_n$   
diámetro nominales del filtro =  $D_n/2$
- diámetro nominal del núcleo =  $D_n/8$

La verificación se realizó en dos pasos:

En primer lugar, se determinó el diámetro nominal resultante de la aplicación de las ecuaciones de estabilidad para los pares de valores H-T en cada uno de los 9 escenarios establecidos para el presente estudio y para cada una de las secciones analizadas. El cálculo se realizó para niveles de daño admisible  $S=2$ ,  $S=4$  y  $S=6$ . Los resultados completos se muestran en las **Tablas C.1 y C.2 (Anexo C)**.

En segundo lugar, se determinó el diámetro necesario para resistir la máxima ola del conjunto de escenarios, y con prescindencia del período, en correspondencia con la situación de mínima resistencia. Esto permite tener en cuenta que las curvas de estabilidad para un nivel de daño dado, presentan un mínimo (**Figura 10.1**) del parámetro adimensional  $H/\Delta.D_n$ . Los resultados se presentan en las **Tablas 10.1 y 10.2**, en las que se indica:

- Sección de cálculo (**Figura 7.1**)
- $H_{max}$ : altura de olas mayor correspondiente a la sección para el conjunto de escenarios analizados
- $D_n$ : Diámetro nominal máximo para la sección correspondiente, resultante del conjunto de pares de valores H – T para todos los escenarios
- $D_{no}$ : diámetro nominal correspondiente a la situación de mínima resistencia.

<b>S=2</b>	<b>S=2</b>																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seccion</th> <th>Dn (m) para S=2</th> <th>Hmax</th> <th>Dn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.52</td><td>1.69</td><td>0.69</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.74</td><td>2.27</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.76</td><td>2.33</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.67</td><td>2.06</td><td>0.84</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.59</td><td>1.89</td><td>0.77</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.76</td><td>2.22</td><td>0.90</td></tr> </tbody> </table>	Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn	1	0.52	1.69	0.69	2	0.74	2.27	0.92	3	0.76	2.33	0.95	4	0.67	2.06	0.84	5	0.59	1.89	0.77	6	0.76	2.22	0.90	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seccion</th> <th>Dn (m) para S=2</th> <th>Hmax</th> <th>Dn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.86</td><td>2.57</td><td>1.05</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.76</td><td>2.41</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.82</td><td>2.60</td><td>1.07</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.84</td><td>2.78</td><td>1.14</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.93</td><td>2.87</td><td>1.19</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.92</td><td>2.70</td><td>1.11</td></tr> </tbody> </table>	Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn	1	0.86	2.57	1.05	2	0.76	2.41	0.98	3	0.82	2.60	1.07	4	0.84	2.78	1.14	5	0.93	2.87	1.19	6	0.92	2.70	1.11
Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn																																																						
1	0.52	1.69	0.69																																																						
2	0.74	2.27	0.92																																																						
3	0.76	2.33	0.95																																																						
4	0.67	2.06	0.84																																																						
5	0.59	1.89	0.77																																																						
6	0.76	2.22	0.90																																																						
Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn																																																						
1	0.86	2.57	1.05																																																						
2	0.76	2.41	0.98																																																						
3	0.82	2.60	1.07																																																						
4	0.84	2.78	1.14																																																						
5	0.93	2.87	1.19																																																						
6	0.92	2.70	1.11																																																						
<table border="1"> <tr><td><b>Dn max=</b></td><td><b>0.95</b></td></tr> <tr><td><b>W (Kg)=</b></td><td><b>2268</b></td></tr> </table>	<b>Dn max=</b>	<b>0.95</b>	<b>W (Kg)=</b>	<b>2268</b>	<table border="1"> <tr><td><b>D<sub>n max</sub> (m)=</b></td><td><b>1.19</b></td></tr> <tr><td><b>W (Kg)=</b></td><td><b>4415</b></td></tr> </table>	<b>D<sub>n max</sub> (m)=</b>	<b>1.19</b>	<b>W (Kg)=</b>	<b>4415</b>																																																
<b>Dn max=</b>	<b>0.95</b>																																																								
<b>W (Kg)=</b>	<b>2268</b>																																																								
<b>D<sub>n max</sub> (m)=</b>	<b>1.19</b>																																																								
<b>W (Kg)=</b>	<b>4415</b>																																																								
<b>S=4</b>	<b>S=4</b>																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seccion</th> <th>Dn (m) para S=4</th> <th>Hmax</th> <th>Dn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.45</td><td>1.69</td><td>0.60</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.65</td><td>2.27</td><td>0.81</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.66</td><td>2.33</td><td>0.83</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.58</td><td>2.06</td><td>0.73</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.52</td><td>1.89</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.67</td><td>2.22</td><td>0.79</td></tr> </tbody> </table>	Seccion	Dn (m) para S=4	Hmax	Dn	1	0.45	1.69	0.60	2	0.65	2.27	0.81	3	0.66	2.33	0.83	4	0.58	2.06	0.73	5	0.52	1.89	0.67	6	0.67	2.22	0.79	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seccion</th> <th>Dn (m) para S=2</th> <th>Hmax</th> <th>Dn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.75</td><td>2.57</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.67</td><td>2.41</td><td>0.86</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.72</td><td>2.60</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.73</td><td>2.78</td><td>0.98</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.81</td><td>2.87</td><td>1.02</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.80</td><td>2.70</td><td>0.96</td></tr> </tbody> </table>	Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn	1	0.75	2.57	0.91	2	0.67	2.41	0.86	3	0.72	2.60	0.92	4	0.73	2.78	0.98	5	0.81	2.87	1.02	6	0.80	2.70	0.96
Seccion	Dn (m) para S=4	Hmax	Dn																																																						
1	0.45	1.69	0.60																																																						
2	0.65	2.27	0.81																																																						
3	0.66	2.33	0.83																																																						
4	0.58	2.06	0.73																																																						
5	0.52	1.89	0.67																																																						
6	0.67	2.22	0.79																																																						
Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn																																																						
1	0.75	2.57	0.91																																																						
2	0.67	2.41	0.86																																																						
3	0.72	2.60	0.92																																																						
4	0.73	2.78	0.98																																																						
5	0.81	2.87	1.02																																																						
6	0.80	2.70	0.96																																																						
<table border="1"> <tr><td><b>Dn max=</b></td><td><b>0.83</b></td></tr> <tr><td><b>W (Kg)=</b></td><td><b>1495</b></td></tr> </table>	<b>Dn max=</b>	<b>0.83</b>	<b>W (Kg)=</b>	<b>1495</b>	<table border="1"> <tr><td><b>D<sub>n max</sub> (m)=</b></td><td><b>0.94</b></td></tr> <tr><td><b>W (Kg)=</b></td><td><b>2215</b></td></tr> </table>	<b>D<sub>n max</sub> (m)=</b>	<b>0.94</b>	<b>W (Kg)=</b>	<b>2215</b>																																																
<b>Dn max=</b>	<b>0.83</b>																																																								
<b>W (Kg)=</b>	<b>1495</b>																																																								
<b>D<sub>n max</sub> (m)=</b>	<b>0.94</b>																																																								
<b>W (Kg)=</b>	<b>2215</b>																																																								
<b>S=6</b>	<b>S=6</b>																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seccion</th> <th>Dn (m) para S=2</th> <th>Hmax</th> <th>Dn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.42</td><td>1.69</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.60</td><td>2.27</td><td>0.74</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.61</td><td>2.33</td><td>0.76</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.53</td><td>2.06</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.48</td><td>1.89</td><td>0.62</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.61</td><td>2.22</td><td>0.73</td></tr> </tbody> </table>	Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn	1	0.42	1.69	0.55	2	0.60	2.27	0.74	3	0.61	2.33	0.76	4	0.53	2.06	0.67	5	0.48	1.89	0.62	6	0.61	2.22	0.73	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seccion</th> <th>Dn (m) para S=2</th> <th>Hmax</th> <th>Dn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.69</td><td>2.57</td><td>0.84</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.61</td><td>2.41</td><td>0.79</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.66</td><td>2.60</td><td>0.85</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.67</td><td>2.78</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.75</td><td>2.87</td><td>0.94</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.74</td><td>2.70</td><td>0.88</td></tr> </tbody> </table>	Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn	1	0.69	2.57	0.84	2	0.61	2.41	0.79	3	0.66	2.60	0.85	4	0.67	2.78	0.91	5	0.75	2.87	0.94	6	0.74	2.70	0.88
Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn																																																						
1	0.42	1.69	0.55																																																						
2	0.60	2.27	0.74																																																						
3	0.61	2.33	0.76																																																						
4	0.53	2.06	0.67																																																						
5	0.48	1.89	0.62																																																						
6	0.61	2.22	0.73																																																						
Seccion	Dn (m) para S=2	Hmax	Dn																																																						
1	0.69	2.57	0.84																																																						
2	0.61	2.41	0.79																																																						
3	0.66	2.60	0.85																																																						
4	0.67	2.78	0.91																																																						
5	0.75	2.87	0.94																																																						
6	0.74	2.70	0.88																																																						
<table border="1"> <tr><td><b>Dn max=</b></td><td><b>0.76</b></td></tr> <tr><td><b>W (Kg)=</b></td><td><b>1174</b></td></tr> </table>	<b>Dn max=</b>	<b>0.76</b>	<b>W (Kg)=</b>	<b>1174</b>	<table border="1"> <tr><td><b>D<sub>n max</sub> (m)=</b></td><td><b>0.94</b></td></tr> <tr><td><b>W (Kg)=</b></td><td><b>2196</b></td></tr> </table>	<b>D<sub>n max</sub> (m)=</b>	<b>0.94</b>	<b>W (Kg)=</b>	<b>2196</b>																																																
<b>Dn max=</b>	<b>0.76</b>																																																								
<b>W (Kg)=</b>	<b>1174</b>																																																								
<b>D<sub>n max</sub> (m)=</b>	<b>0.94</b>																																																								
<b>W (Kg)=</b>	<b>2196</b>																																																								
<b>Tabla 10.1. Estabilidad de enrocado Olas de viento local.</b>	<b>Tabla 10.2. Estabilidad de enrocado. Olas oceánicas.</b>																																																								

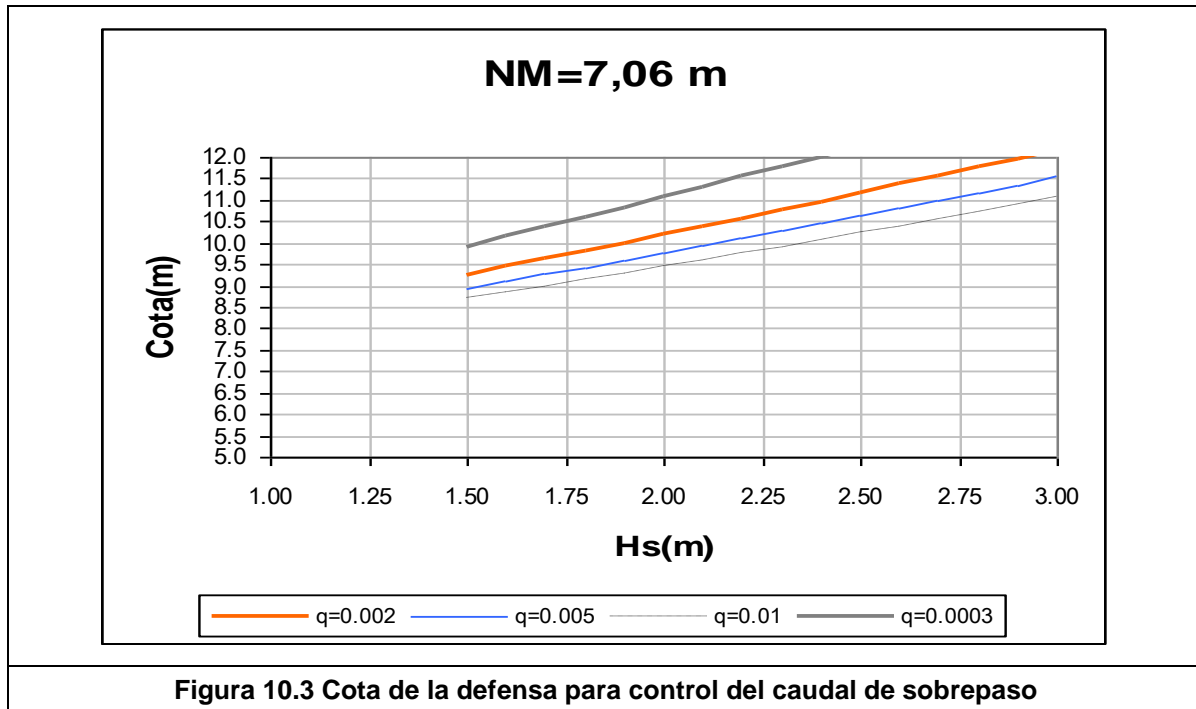
---

Puede notarse que los mayores diámetros de enrocado corresponden a las olas oceánicas. Las olas más grandes corresponden a los escenarios con nivel del mar  $NM = 7,36$  m. Para este nivel de mar y para nivel de daño  $S=6$  surge la necesidad de un diámetro nominal  $D_{no}=0,94$  m, en la sección más desfavorable, equivalente a roca de 2.200 Kg. El daño máximo esperable en 50 años para la condición más desfavorable ( $NM=7,36$  m) si el peso nominal del enrocado es de 2000 kg es  $S=7$ , valor que, aunque supera el propuesto de 6, se halla dentro del rango de lo admisible. Es de notar que esta situación ocurre sólo en la sección 5, mientras que el resto de las secciones demandan pesos inferiores a los 2000 kg.

Esos resultados permiten estimar y verificar la validez del dimensionamiento realizado en el anteproyecto de la Provincia, en lo que se adoptó un peso  $W=2000$  kg.

### ***10.3.2 Verificación del Sobrepaso por olas***

El cálculo del sobrepaso se realizó para un conjunto de valores de altura de ola y para cuatro valores de caudal de sobrepaso admisible ( $q_{ad}=0.0003$ ,  $q_{ad}=0.002$ ,  $0.005$  y  $0.010$   $m^3/s/m$ ). Se adoptó para el coeficiente de rugosidad  $\gamma_b = 0.6$ . Los resultados completos se presentan en las **Tabla C.3.** y **C.4.** (**Anexo C**). La **Figura 10.3** la **Tabla 10.3.** muestran una síntesis de los mismos



A los efectos de la interpretación de los resultados de la **Figura 10.3** y de la comparación entre las cotas resultantes de este análisis con las del **Plano 03** del Proyecto de Recuperación Costera, debe recordarse que el plano de referencia de dicho proyecto se halla 0.74 m por encima del plano de referencia (coincidente con el plano de referencia hidrográfico) utilizado en este informe. Así, una cota aquí calculada de 10,20 m para  $q=0.002 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , equivale a:  $10,20 - 0,74 = 9.46 \text{ m}$  del Proyecto de la Provincia. Las **Tablas C3 y C4** han incorporado esta corrección.

Debe notarse que, dadas las condiciones hidrodinámicas en la costa, el número de Iribarren ( $I_r$ ) será siempre mayor que 2, y la ecuación a utilizar para el cálculo de sobrepaso es la ec.[10.6], que no depende del período de las olas.

NM=7.06	q ad				Hs (m)	Cota (m)
	0.0003	0.002	0.005	0.010		
1.50	9.92	9.26	8.94	8.70		
1.60	10.14	9.44	9.10	8.85		
1.70	10.37	9.63	9.27	9.00		
1.80	10.60	9.81	9.43	9.14		
1.90	10.83	10.00	9.60	9.30		
2.00	11.07	10.19	9.77	9.45		
2.10	11.30	10.38	9.94	9.60		
2.20	11.54	10.58	10.11	9.76		
2.30	11.78	10.77	10.29	9.92		
2.40	12.02	10.97	10.46	10.08		
2.50	12.26	11.17	10.64	10.24		
2.60	12.51	11.37	10.82	10.40		
2.70	12.75	11.57	11.00	10.57		
2.80	13.00	11.77	11.18	10.73		
2.90	13.24	11.97	11.36	10.90		
3.00	13.49	12.18	11.55	11.07		

NM=7.36	q ad				Hs (m)	Cota (m)
	0.0003	0.002	0.005	0.010		
1.50	10.22	9.56	9.24	9.00		
1.60	10.44	9.74	9.40	9.15		
1.70	10.67	9.93	9.57	9.30		
1.80	10.90	10.11	9.73	9.44		
1.90	11.13	10.30	9.90	9.60		
2.00	11.37	10.49	10.07	9.75		
2.10	11.60	10.68	10.24	9.90		
2.20	11.84	10.88	10.41	10.06		
2.30	12.08	11.07	10.59	10.22		
2.40	12.32	11.27	10.76	10.38		
2.50	12.56	11.47	10.94	10.54		
2.60	12.81	11.67	11.12	10.70		
2.70	13.05	11.87	11.30	10.87		
2.80	13.30	12.07	11.48	11.03		
2.90	13.54	12.27	11.66	11.20		
3.00	13.79	12.48	11.85	11.37		

**Tabla 10.3. Cotas mínimas para caudales de sobrepaso admisibles**

Se realizaron complementariamente cómputos de sobrepaso de olas para condiciones de oleaje frecuentes. Para ello se analizaron tres escenarios adicionales para olas generadas por viento, y tres para olas oceánicas, los que se indican en las **Tablas 10.4 y 10.5** respectivamente:

**Tabla 10.4. Escenarios para olas frecuentes generadas por viento**

Escenario	H	T	W	Dir
19	2,50	6,0	11.5	NE
20	2,0	6,0	10.1	E
21	2,50	6,0	11.5	SE

**Tabla 10.5. Escenarios para olas oceánicas frecuentes**

Escenario	H	T	W	Dir
22	2	8	0	NE
23	2	10	0	E
24	2,5	10	0	SE

Los resultados completos se indican en las **Tablas C.5 y C.6 del Anexo C**. Una síntesis comparativa de todas las evaluaciones efectuadas, para olas extremas ( $Tr = 50$  años) y olas frecuentes se muestra en la **Tabla 10.6**. Todas las cotas indicadas se refieren al plano de proyecto.

Caudal de sobrepaso - Olas Generadas por viento						
PERFIL PLANO 03	SECCION	COTA DE P PROYECTO	Tr			
			1 año (NM=7,06)		50 años (NM=7,36)	
			H(m)	cota requerida (qad=0.3 l/s/m)	H(m)	cota requerida (qad=2 l/s/m)
40	1	9.0	0.94	7.9	1.69	8.9
34	2	9.0	1.23	8.6	2.27	10.0
28	3	9.0	1.45	9.1	2.33	10.1
22	4	9.0	1.36	8.9	2.06	9.6
16	5	10.5	1.36	8.9	1.89	9.2
10	6	11.0	1.55	9.3	2.22	9.9

Caudal de sobrepaso - Olas Oceanicas -						
PERFIL PLANO 03	SECCION	COTA DE P PROYECTO	Tr (años)			
			1 año (NM=7,06)		50 años (NM=7,36)	
			H(m)	cota requerida (qad=0.3 l/s/m)	H(m)	cota requerida (qad=2 l/s/m)
40	1	9.0	1.10	8.3	2.63	11.0
34	2	9.0	1.07	8.2	2.41	10.6
28	3	9.0	1.27	8.7	2.60	10.9
22	4	9.0	1.49	9.2	2.78	11.3
16	5	10.5	1.49	9.2	2.87	11.5
10	6	11.0	1.47	9.1	2.70	11.1

**Tabla 10.6. Cotas de obra para el control de caudal de sobrepaso por olas**

Las olas oceánicas son las que imponen las condiciones más severas y las que determinan en consecuencia la cota superior de la defensa. Para condiciones extremas ( $Tr = 50$  años) un caudal admisible máximo de 2 l/s/m exige una obra de cota +11.0m con mínima variación en toda su extensión (**Tabla C.4**).

Es importante señalar que estas cotas surgen del máximo nivel del mar asumido en el proyecto (+7,36 m), y que en el mismo se ha incorporado el efecto de la sobreelevación

del nivel medio del mar por calentamiento global; esta componente es de evolución gradual y la el valor adoptado corresponde a una proyección a 50 años.

Si esta situación no fuera considerada desde el inicio (Escenarios 8 y 9 para olas generadas por viento y 17 y 18 para olas oceánicas ) las cotas máximas para olas oceánicas pueden reducirse en aproximadamente 0,50 m. Resultando las cotas de +10,50 m para las secciones 1 a 3 inclusive y de +11,0 para las secciones 4, 5 y 6. La limitación de la serie de datos de olas analizado (10 años) agrega una fuente adicional de incertidumbre sobre las determinaciones realizadas. Finalmente los cómputos de caudal de sobrepaso efectuados han sido realizados a partir de expresiones empíricas y la verificación final del proyecto debe realizarse mediante un modelo hidráulico.

En este marco es recomendable una obra que admita a mediano plazo ser modificada en la medida en que se disponga de información más fehaciente respecto de las proyecciones a futuro del nivel medio del mar, así como también de los cambios climáticos que inciden directamente sobre el clima de olas.

## 11 OTRAS ALTERNATIVAS

### 11.1 Alternativa A: Talud de enrocado con muro de coronamiento

En este caso el talud de enrocado se halla respaldado por un muro de coronamiento permitiendo reducir la cota (**Figura 11.1**). La altura de enrocado se fija de manera de que para la condición de proyecto el muro no supere 1 m de altura.

Para el caso alternativo de un talud de enrocado con muro de coronamiento se ha utilizado la fórmula de Bradbury-Allsop<sup>3</sup>

$$\frac{q}{g \cdot H_s \cdot T_{om}} = a \left[ \left( \frac{R_c}{H_s} \right)^2 \sqrt{\frac{S_{om}}{2\pi}} \right]^{-b} \quad [11.1]$$

donde **a** y **b** con coeficientes que dependen de la configuración de la sección transversal y:

$$S_{om} = H_s / L_{om}$$

$L_{om}$  es la longitud de onda en aguas profundas determinada a partir del período medio  $T_m$ ;

$T_{om}$  es el periodo medio

$A_c$  es la altura de la berma sobre el nivel del agua;

$R_c$  es la altura del muro sobre el nivel del agua;

$B$  el ancho de la berma;

<sup>3</sup> U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, Coastal Engineering Manual PARTE VI, Cap. 5

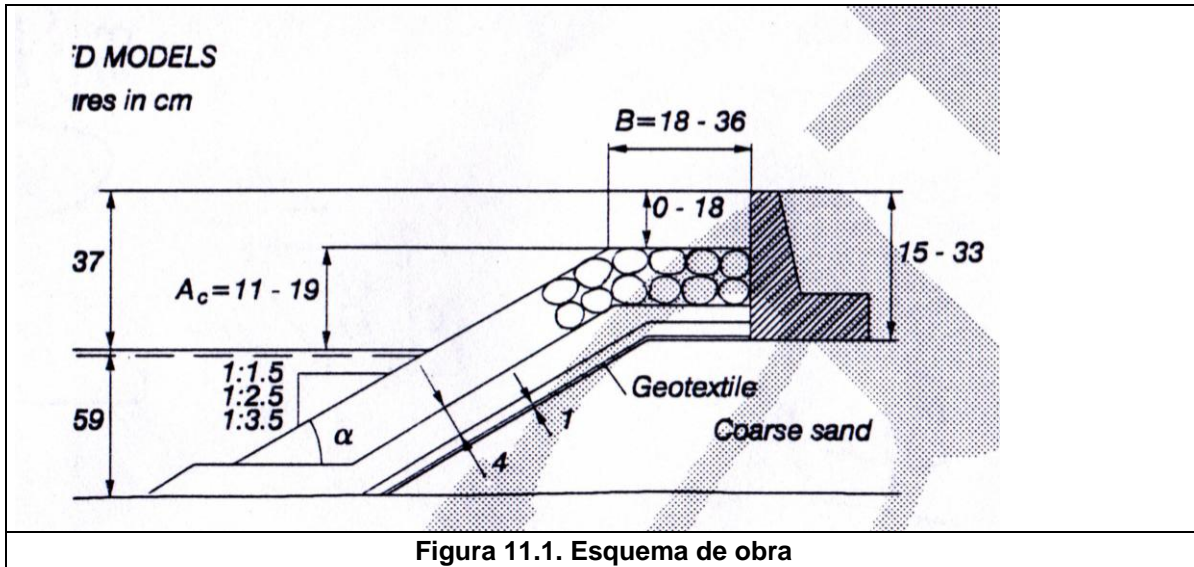


Figura 11.1. Esquema de obra

Para el cálculo preliminar se adoptó  $a = 1.0 \cdot 10^{-9}$  y  $b = 2.8$ . Esto corresponde a una berma superior de ancho equivalente a 6 diámetros nominales, es decir  $B \cong 6 \cdot 0.85 \cong 5$  m. Se señala la gran variabilidad del coeficiente  $a$  en función de la geometría de la sección, y por consiguiente de las estimaciones del caudal de sobrepaso, que depende linealmente de  $a$ .

La **Tabla 11.1** resulta de la aplicación de la ecuación [11.1] para dos caudales admisibles:  $q = 0.002 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  y  $q = 0.0003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  y para un rango de alturas de ola asociadas a un período de retorno de 50 años, calculadas sobre puntos ubicados a lo largo de la traza de la obra.

Hs	q=0.002m <sup>3</sup> /s/m		q=0.0003 m <sup>3</sup> /s/m	
	cota enrocado	altura muro	cota enrocado	altura muro
2.4	8.2	1	9.2	1.1
2.6	8.4	1	9.4	1.1
2.8	8.6	1	9.7	1.1

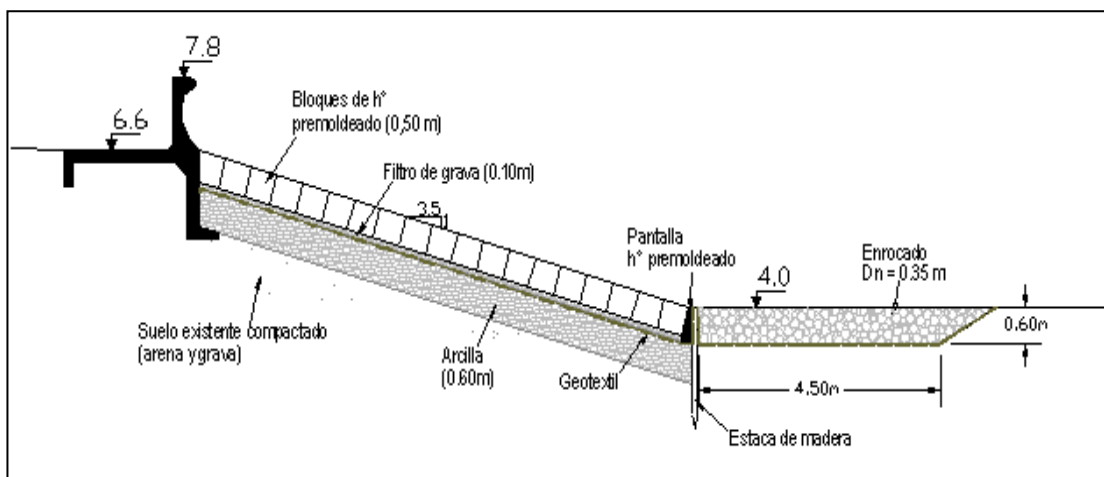
Tabla 11.1 Cota de obra para distintos caudales de sobrepaso

De acuerdo a estos resultados, y como surge de su comparación con el talud sin muro de coronamiento ni berma superior (**Tabla 10.3**), estos elementos aportan eficiencia a la obra de defensa en cuanto al control del sobrepaso. Estas conclusiones tienen un carácter preliminar, teniendo en cuenta que se apoyan en la aplicación de ecuaciones empíricas.

Por otra parte, la evaluación comparativa de la factibilidad económica de esta solución está fuera del alcance de este análisis, pero eventualmente surge como una alternativa para control de sobrepaso e inundaciones en los tramos más vulnerables de la obra de defensa, y en especial la adopción de este tipo de sección en algunos tramos de la obra permitirían adaptarla a la topografía natural del terreno manteniendo los criterios urbanísticos y sin perder eficiencia en los tramos más bajos de su traza.

### 11.2 Alternativa B: Talud protegido con elementos de hormigón premoldeados

Se analizó de manera preliminar una solución de talud protegido con elementos premoldeados de hormigón, como el que se indica en la **Figura 11.2**. Las dimensiones y cotas indicadas son sólo ejemplificativas.



**Figura 11.2. Esquema de un talud protegido con elementos de hormigón premoldeados**

La siguiente expresión para el diseño preliminar de coberturas de unidades vinculadas ha sido desarrollada por K. Pilarczyk (1998)<sup>4</sup>:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = \frac{F}{\xi_{op}^{2/3}} \quad \text{con un máximo de } \frac{H_s}{\Delta D} = 8 \quad [11.1]$$

donde: F = constante del revestimiento:

F = 4.5 para revestimiento de bloques

F = 6 para mantas con bloques vinculados con cables

F = 8 a 10 para losas.

H<sub>s</sub> = altura de ola significativa local (m)

Δ = densidad relativa

D = espesor de la capa de revestimiento

ξ = parámetro de rotura.

La densidad relativa se define como:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (11.2)$$

en la cual ρ<sub>s</sub> es la densidad del material de protección y ρ<sub>w</sub> es la densidad del agua, en (kg/m<sup>3</sup>).

El parámetro de rotura se define como:

---

<sup>4</sup> Dykes and revetments, K. Pilarczyk, ch. 16 Alternative Revetments, A. A. Balkema, 1998.

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_{op}}} \quad (11.3)$$

$\alpha$  es la inclinación del talud respecto de la horizontal y  $s_{op}$  es la pendiente de la ola definida como:

$$s_{op} = \frac{Hs}{L_{0p}} = \frac{2\pi Hs}{gT_p^2} \quad (11.4)$$

en la que  $L_{op}$  es la longitud de onda en aguas profundas correspondiente al período de pico del espectro (m) y  $T_p$  es el período de ola del pico del espectro (s).

La ventaja de expresiones como la **(11.1)** es la simplicidad de cálculo, aunque no incorpora ninguno de los parámetros involucrados en el fenómeno de estabilidad del bloque. La desventaja es que  $F$  es conocido para muy pocas estructuras y tiene un valor propio para cada revestimiento.

En otra referencia dada por el mismo autor<sup>5</sup> se propone como numerador de la expresión **(11.1)**:

$$F^* \cos \alpha$$

indicando para  $F^*$  un valor de 6 para el caso de coberturas formadas por bloques vinculados.

Los geotextiles se emplean para separar distintos tipos de suelos, controlar la erosión y facilitar el drenaje.

---

<sup>5</sup> Unification of stability formulae for revetments, K. Pilarczyk.

Entre el filtro de apoyo y la cobertura de bloques puede colocarse o no un geotextil, dependiendo de si los mismos presentan aberturas que permitan la salida del material de filtro.

La capa de arcilla además de tener la función de evitar la inestabilidad geotécnica. Esta constituye una capa impermeable y confiera resistencia residual en el caso que en un evento superior al de diseño la cobertura y filtro puedan ser desalojados.

La granulometría del filtro que se colocará entre la cobertura y la capa de arcilla deberá conocerse previo al proyecto definitivo a fin de adecuar los parámetros de cálculo de la protección y verificar la estabilidad interna del filtro.

Las **Tablas 11.2.** y **11.3.** muestran los espesores de revestimiento para olas de 2,60 m de altura y 15 s de periodo, para los casos  $F = 6$  (bloques vinculados) y  $F = 10$  (losa).

H (m)	cota $\alpha$	$\zeta_0$	Hs/ $\Delta$ .Dn	D (m)
2.6	3.0	3.87	2.30	0.87
2.6	3.5	3.32	2.58	0.77
2.6	4.0	2.9	2.85	0.70
2.6	4.5	2.58	3.10	0.64
2.6	5.0	2.32	3.34	0.60

**Tabla 11.2. Espesor de revestimiento para distintas inclinaciones del talud (F=6)**

H (m)	cota $\alpha$	$\zeta_0$	Hs/ $\Delta$ .Dn	D (m)
2.6	3.0	3.87	3.83	0.52
2.6	3.5	3.32	4.30	0.46
2.6	4.0	2.9	4.75	0.42
2.6	4.5	2.58	5.17	0.39
2.6	5.0	2.32	5.57	0.36

**Tabla 11.3. Espesor de revestimiento para distintas inclinaciones del talud (F=10)**

De este cálculo preliminar surge que, dadas las significativas solicitaciones a las que resultará expuesto el talud, se requieren importantes espesores de revestimiento, y que como consecuencia de ello, este tipo de solución indicaría una desventaja desde el punto de vista económico frente a la alternativa de enrocado.

### **11.3 Alternativa C: Talud protegido con Geotextil**

Un tipo de defensa costera longitudinal compuesta de membranas ancladas de geotextil rellenas con material granular se muestra en las **Figuras 11.3 y 11.4.** <sup>6</sup>

Se destacan las ventajas en cuanto a la simplicidad constructiva y disponibilidad de materiales para relleno. El envejecimiento de la membrana por la acción de rayos ultravioletas, o el vandalismo, pueden imponer limitaciones a la vida útil de la defensa así construida.

<sup>6</sup> Beach Nourishment and Dune Protection. H. Dette, A. Raudkivi. ASCE, XXIV International Coastal Engineering Conference, 1994.

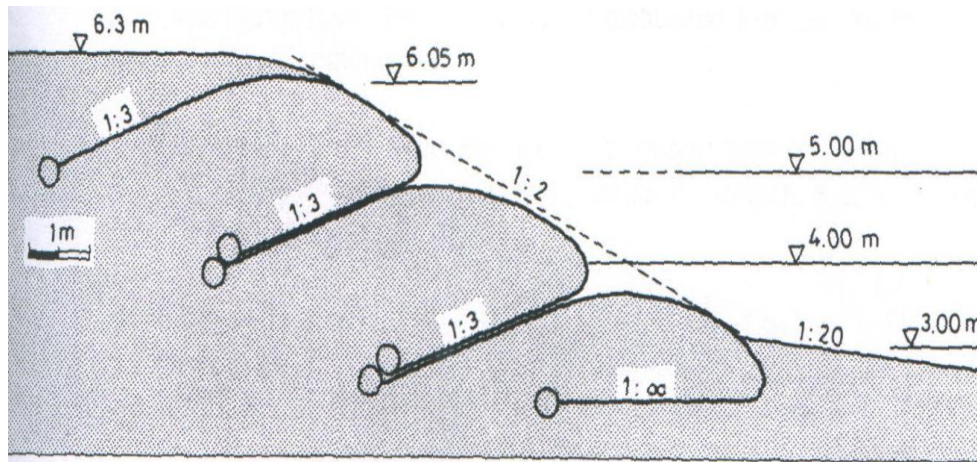


Figura 11.3. Protección de geotextil

Este tipo de protecciones han sido probadas en un canal de ensayos con olas de hasta 1,30 m y han sido colocadas a lo largo de 2 Km de costa como protección contra huracanes en 1991/92 , habiendo mostrado un comportamiento satisfactorio.

La membrana además de tener adecuadas propiedades resistentes a la tracción y abrasión y debe además permitir la circulación de agua, es decir ser más porosa que el material granular de relleno.



**Figura 11.4. Protección de Geotextil**

## 12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. A los efectos de su dimensionamiento, a partir de datos oceanográficos en aguas profundas y de la utilización de modelos matemáticos, se determinaron las condiciones hidráulicas a lo largo del frente costero en que se ubicará la obra de defensa.
2. Se establecieron criterios de diseño, relacionados con el daño máximo admisible y el sobrepaso de olas.
3. De manera preliminar se verificó la estabilidad de la estructura proyectada por la provincia, habiéndose establecido que el enrocado de peso nominal  $W_n = 2$  tn satisface los criterios de daño máximo admisible establecidos para un período de retorno de 50 años.
4. Mediante métodos empíricos se realizó una verificación de las cotas de obra necesarias para asegurar que no se supera el caudal medio de sobrepaso por olas establecido para el proyecto. Se determinó la necesidad de una obra de cota superior aproximadamente constante a lo largo de toda la traza para la tipología de obra contemplada en el proyecto.
5. En algunos tramos de la defensa en los que la cota del área urbana resguardada es menor, una solución combinada de talud de enrocado y muro permitiría alguna reducción de la cota de la obra, permitiendo una mejor adaptación a la cota natural del terreno, manteniendo los requerimientos urbanísticos y paisajísticos y sin perder eficiencia en cuanto al grado de protección establecido.
6. Las evaluaciones realizadas referentes a estabilidad de la estructura y control de sobrepaso por olas ha sido realizado sobre la base de ecuaciones empíricas. Se requiere una verificación mediante modelación hidráulica para la definición final del proyecto.

7. Se presentaron algunas tipologías de obra conceptualmente diferentes al proyecto por la provincia que fueron analizadas de manera preliminar. El resultado de los cálculos realizados indicó que, en principio, el talud de enrocado se muestra como la alternativa más viable para el proyecto.