

MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS
SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS



PROVINCIA DEL CHUBUT
PUERTO DE COMODORO RIVADAVIA

ESTUDIOS HIDRÁULICOS PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO SOBRE LA COSTA POR LA PROLONGACION DE LA ESCOLLERA SUR

Junio, 2010

Informe LHA- 311-01-10

LABORATORIO DE HIDRAULICA

PROVINCIA DEL CHUBUT
PUERTO DE COMODORO RIVADAVIA

ESTUDIOS HIDRÁULICOS PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO SOBRE LA COSTA POR LA PROLONGACION DE LA ESCOLLERA SUR

RESUMEN

Se presenta una evaluación de las nuevas condiciones hidrodinámicas inducidas por la prolongación de la escollera sur del puerto de Comodoro Rivadavia. Se comparan las propiedades del oleaje y las corrientes generadas por el mismo para tres configuraciones: la escollera original (1924), la ampliación realizada en 1996 y la obra proyectada. Se utilizó un modelo matemático basado en la resolución de ecuaciones de tipo Boussinesq. Como respaldo a las conclusiones que surgen de la modelación matemática, se realizó una comparación de líneas de costa históricas a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

PALABRAS CLAVE

Olas – propagación de olas - modelación matemática – Agitación por oleaje – puertos - Comodoro Rivadavia

Informe	LHA-311-01-10
Fecha	Mayo, 2010
PROYECTO	962
COMITENTE	Provincia del Chubut Dirección General de Infraestructura

**INA
LABORATORIO DE HIDRAULICA**

DIRECTOR

Ing. J.C. De Lio

JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA MARÍTIMA

Ing. R. D. Castellano

Informe producido por

Ing. N. Tomazin

Equipo de trabajo

*Ing. R. Cáceres
Sr. C.A. Haspert
Sr. S.L. Peralta*

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCION	6
2	OBJETIVOS.....	7
3	METODOLOGIA	8
4	INFORMACION DE BASE.....	9
4.1	Estudios anteriores	9
4.2	Planos de referencia	9
4.3	Batimetría.....	9
4.4	Nivel del mar	10
4.5	Olas y vientos	10
4.6	Imágenes aéreas	11
5	EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DEL ÁREA COSTERA BAJO ESTUDIO	12
5.1	Descripción física de la costa	12
5.2	Evolución morfológica de la línea de costa.....	13
6	MODELACION DE LA PROPAGACIÓN DEL OLEAJE EN LA REGIÓN COSTERA.....	19
6.1	Características generales del modelo.....	19
6.2	Aplicación del modelo en la zona de influencia del Puerto de Comodoro Rivadavia.....	20
6.3	Grillas de cálculo	20
6.4	Condiciones de contorno	22
6.5	Escenarios de cálculo.....	23
6.6	Selección de secciones de control.....	25
6.7	Resultados de las simulaciones	26

7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN	30
7.1	Temporales frecuentes	31
7.2	Temporales extremos	34
7.3	Síntesis de resultados.....	38
8	RECOMENDACIONES SOBRE LA FACTIBILIDAD DE OBRAS.....	40
8.1	Planteo de obras de defensa.....	41
8.2	Aspectos generales para el proyecto	45
9	CONCLUSIONES	50
10	REFERENCIAS.....	52

Anexo I.- Valores de altura de ola e intensidad de la corriente para el tramo costero modelado.

Anexo II.- Comparación de valores altura de ola e intensidad de la corriente para las configuraciones de planta portuaria analizadas.

Anexo III.- Diferencias porcentuales entre las Configuraciones.

Anexo IV.- Evaluación hidrodinámica adicional: incorporación de un espigón transversal en la zona de playa.

PROVINCIA DEL CHUBUT
PUERTO DE COMODORO RIVADAVIA

ESTUDIOS HIDRÁULICOS PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO SOBRE LA COSTA POR LA PROLONGACION DE LA ESCOLLERA SUR

Junio, 2010

1 INTRODUCCION

La Provincia del Chubut lleva a cabo la 3ª Etapa de ampliación del Puerto de Comodoro Rivadavia. Entre otras mejoras, el proyecto incluye la ampliación la obra de abrigo Sur.

Con la nueva extensión de la Escollera Sur se propone mejorar la prestación de los servicios portuarios, a través del cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Disminuir la agitación en la dársena pesquera, considerando además que está en marcha una nueva ampliación del muelle pesquero en un total de 56 m.
- Reducir la agitación frente al muelle de ultramar, para oleajes en régimen medio, ya que se ha observado una excesiva agitación durante las operaciones.
- Generar una zona de calma en una posible área destinada al atraque de cruceros.

A partir de estudios previos en los que se evaluaron algunas alternativas de proyecto (INA, 2008) la DIRECCION GENERAL DE PUERTOS de la Secretaría de Infraestructura, Planeamiento y Servicios Públicos de la Provincia del CHUBUT (D.G.P.) ha determinado como alternativa más conveniente la correspondiente a la prolongación de la actual Escollera Sur en una extensión de 400 m en dirección N.

El presente informe se refiere al estudio del impacto de las nuevas obras sobre el área costera desde el punto de vista hidráulico teniendo en cuenta que potencialmente la misma puede

afectar la llegada del oleaje en la zona de influencia, modificando los sistemas de corrientes inducidos por las olas y consecuentemente la capacidad de transporte del sedimento que constituye la playa, alterando eventualmente las actuales condiciones de estabilidad de la misma.

2 OBJETIVOS

El problema de erosión costera en el área de Comodoro Rivadavia tiene su origen en diversas causas antrópicas y naturales. El objetivo que se persigue en el presente estudio es evaluar el impacto que sobre el entorno costero tendrá la prolongación de la escollera desde el punto de vista de la alteración de las condiciones hidrodinámicas generadas por su presencia.

3 METODOLOGIA

En líneas generales, se mencionan las diferentes etapas que conforman la metodología aplicada para el desarrollo de este estudio:

- Búsqueda y recopilación de información de base
- Análisis de la evolución morfológica de la costa
- Estudio histórico comparativo de condiciones hidrodinámicas

A los efectos de permitir focalizar el impacto de las obras portuarias sobre el área costera, con prescindencia de causas naturales u otras causas antrópicas, la metodología que se propone se basa en un análisis histórico del retroceso de la línea de costa a partir de la comparación de fotografías aéreas, y en la evaluación de las condiciones hidrodinámicas resultantes en el área costera para situaciones equivalentes de oleaje y marea, analizando tres situaciones de configuración portuaria, a saber:

- Puerto original (1924)
- Extensión de la escollera (1994)
- Proyecto de extensión de la Escollera Sur

Considerando la interacción entre el oleaje y las estructuras portuarias para cada una de las configuraciones evaluadas se determinaron: alturas de ola, periodo y dirección de incidencia a lo largo del frente costero; como así también corrientes litorales inducidas por el oleaje en la franja costera. Esto se realizó para un conjunto de situaciones conformado por escenarios frecuentes y escenarios extremos representativos del clima de olas local.

La comparación entre los resultados obtenidos para las tres configuraciones de planta portuaria permitió inferir el posible grado de alteración de la nueva obra sobre las condiciones hidrodinámicas y el transporte de sedimentos en el área costera, respecto de la situación actual y de la configuración histórica. De esta manera es posible evaluar los futuros beneficios y los perjuicios vinculados a estos aspectos que pudieran derivarse de la concreción del proyecto, pudiendo para este último caso prever las medidas de control necesarias para revertir posibles efectos perjudiciales.

Para la evaluación de las condiciones hidrodinámicas se aplicó el modelo matemático BOUSS-2D, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de EE.UU.

4 INFORMACION DE BASE

4.1 Estudios anteriores

La información básica utilizada para el desarrollo de este trabajo surge en gran medida de estudios previos realizados por el INA para la descripción del clima de ola en el entorno del puerto de Comodoro Rivadavia y para el análisis de agitación por oleaje en las distintas alternativas evaluadas para la modificación de la planta portuaria, a saber:

- *PUERTO DE COMODORO RIVADAVIA: ESTUDIO MEDIANTE MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LAS NUEVAS OBRAS DE ABRIGO. PARTE 1 - CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA DE OLAS. Informe LHA- 273-01-08.Junio, 2008.*
- *PUERTO DE COMODORO RIVADAVIA: ESTUDIO MEDIANTE MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LAS NUEVAS OBRAS DE ABRIGO. PARTE 2 - AGITACIÓN EN EL INTERIOR DEL PUERTO. Informe LHA- 273-02-08.Junio, 2008.*

4.2 Planos de referencia

El 0 MOP se halla a 0,52 m sobre el plano hidrográfico.

4.3 Batimetría

La información batimétrica en el área, necesaria para la construcción de grillas de modelación del terreno, fue obtenida a partir de un relevamiento de detalle realizado entre Marzo y Abril de 2007 a requerimiento de la D.G.P. y consistió en una batimetría y taquimetría desde el Puerto Comodoro Rivadavia hasta el Barrio Presidente Ortiz. Para la dicha tarea se utilizó una ecosonda de registro digital y un GPS geodésico. El sistema se completó con otro GPS geodésico ubicado fuera en la playa. La ecosonda empleada fue un equipo SIMRAD, modelo EA501 P, portátil con conexión directa y simultánea al GPS. La precisión en la determinación de los valores de profundidad es del orden de 2 cm. Para el posicionamiento planimétrico se utilizó GPS (geodésico), en modo diferencial. También se instaló un sensor de nivel Modelo

Génica para realizar el registro de nivel del mar durante el período de relevamiento de batimetrías, que permitió corregir los registros batimétricos y referirlos al Punto MOP.

La taquimetría se efectuó con una equidistancia de 25 m, desde el nivel de pelo de agua, hasta donde las instalaciones privadas lo permitieron o si no hasta cumplir los requerimientos del comitente. Se utilizó la Poligonal de apoyo y se realizó con estación total.

4.4 Nivel del mar

El régimen de mareas es semidiurno. El nivel medio del mar es 3,14 m respecto del plano de referencia hidrográfico. La siguiente **Tabla 4.1** muestra la marea astronómica en el Puerto de Comodoro Rivadavia¹

Tabla 4.1. Marea astronómica					
Alturas en metros sobre el plano de reducción, correspondientes a la predicción 2005				Amplitud	
Pleamar		Bajamar		Máxima	Media
Máxima	Media	Más baja	Media		
6.26	5.28	0.25	1.21	5.88	4.07

4.5 Olas y vientos

La información de base utilizada en este estudio corresponde al clima de olas local obtenido a partir de los estudios presentados en el informe *LHA- 273-01-08, Junio de 2008*. El mismo fue construido mediante la propagación desde aguas profundas de un conjunto de datos generados por un modelo de oleaje global. Los datos utilizados en este caso fueron producidos por la Oficina Meteorológica del Reino Unido (United Kingdom Meteorological Office, UKMO) y corresponden a la ubicación 45,36° S y 64,38° W entre el 1/1/95 y el 25/5/99, y 45,83° S 64,58° W entre el 28/05/99 y el 31/07/2005.

¹ Servicio de Hidrografía Naval, TABLA DE MAREAS

4.6 Imágenes aéreas

Las imágenes aéreas disponibles para el estudio de evolución de la línea de costa provienen de dos fotogramas en escalas 1:20000 y 1:8000 relevadas en 1969 y 1995 respectivamente (fuente: Servicio de Hidrografía Naval), y dos imágenes satelitales de alta resolución del 2003 y 2009 (fuente: Google Earth).

5 EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DEL ÁREA COSTERA BAJO ESTUDIO

5.1 Descripción física de la costa

En las adyacencias de Comodoro Rivadavia se identifican formas marinas de erosión y de acumulación. Entre las primeras se destacan los acantilados marinos que alcanzan alturas de hasta 40 m. Los mismos presentan paredes verticales de areniscas y pelitas poco consolidadas y una estratificación horizontal, lo que facilita su degradación y retroceso (Codignotto y del Valle, 1995). Entre las formas de acumulación se destacan los cordones litorales compuestas por gravas en parte arenosas.

La erosión en los acantilados se debe a la acción combinada del escurrimiento superficial originado por eventos de precipitaciones intensas, y temporales de fuerte oleaje y niveles extraordinarios de marea. En la Figura 5-1 se muestra una vista de la costa acantilada entre el Puerto de Comodoro Rivadavia y el Muelle de YPF.



Figura 5-1 Vista de la costa acantilada entre el Puerto de Comodoro Rivadavia y el Muelle de YPF

El acantilado actúa como fuente de aporte sedimentario que se deposita inicialmente sobre el pie del mismo. En la Figura 5-2 se presenta una vista de la playa de arenas y gravas ubicada al norte del Puerto de Comodoro Rivadavia.



Figura 5-2 Vista de la playa de gravas y arenas ubicada al norte del puerto de Comodoro Rivadavia

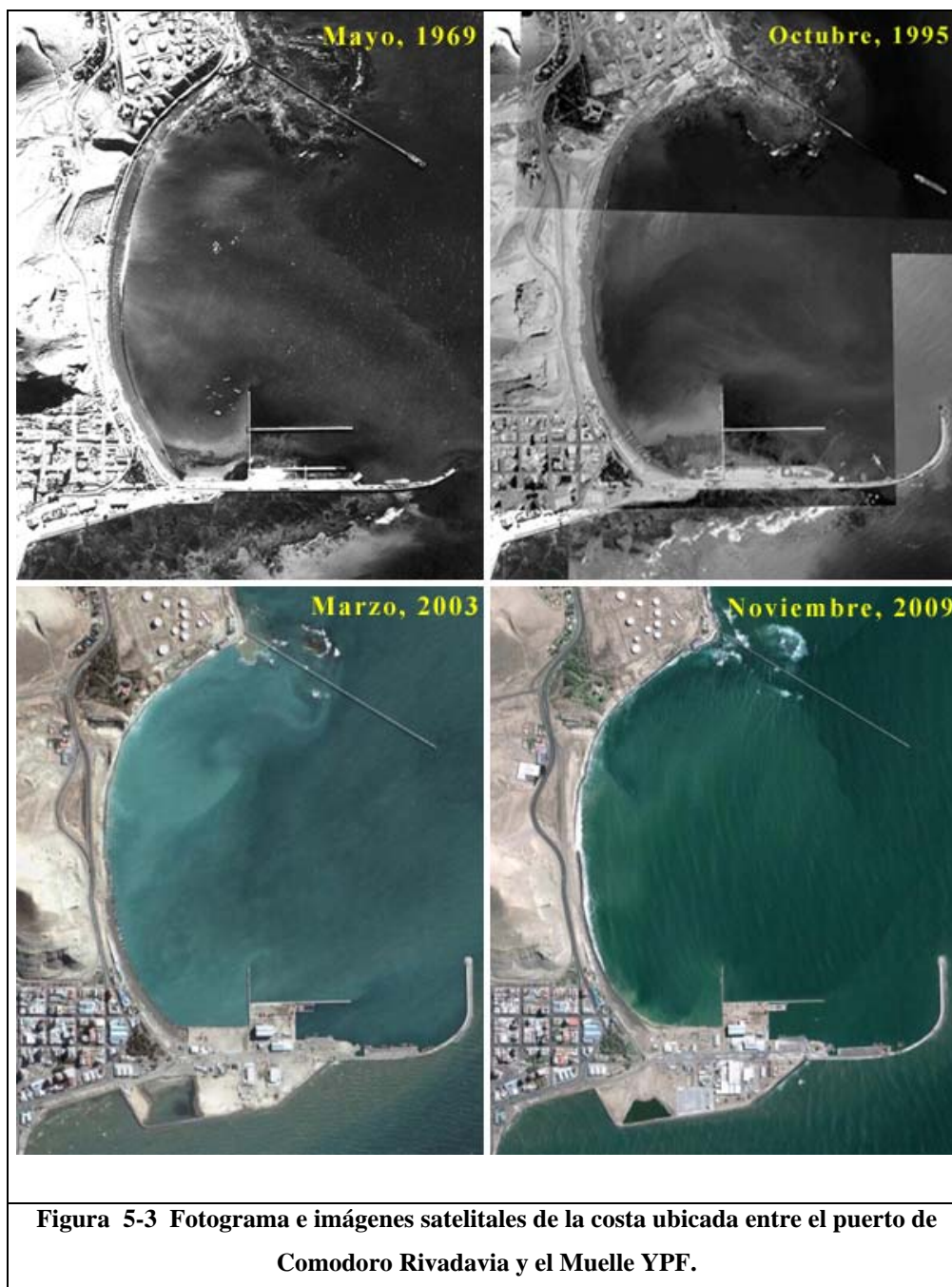
5.2 Evolución morfológica de la línea de costa

Como se mencionó anteriormente las fuentes de información disponibles para el análisis de la evolución de la línea de costa provienen de fotos aéreas y dos imágenes satelitales de alta resolución (fuente: Google Earth). En la **Figura 5-3** se presentan las cuatro imágenes citadas, en donde se puede observar la antigua configuración del puerto de Comodoro Rivadavia en el año 1969, sin la prolongación de 300 m de escollera realizada en el año 1994, y con una menor área operativa portuaria.

El período de tiempo abarcado para el estudio es de 40 años y comprende principalmente dos etapas, una correspondiente a la situación sin obra (1969 a 1995) y otro corresponde a la configuración con la prolongación de 300m (1995 a 2009).

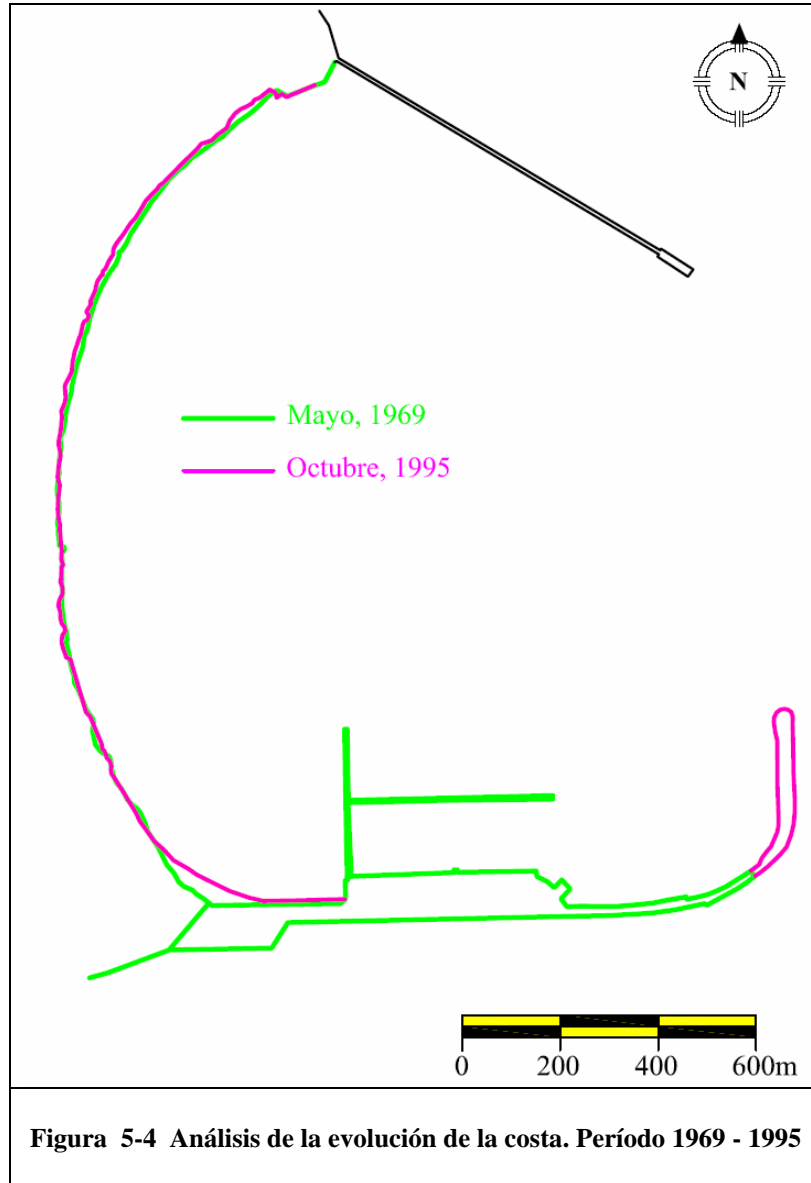
Las dificultades que presenta un análisis de la evolución de la línea de costa con fotogramas e imágenes satelitales se debe principalmente a los errores inherentes a las imágenes (desplazamientos por refracción atmosférica, efecto de la curvatura terrestre, entre otros) y a la diferencia de origen de las fuentes de información (distintas altura de vuelo, errores en la manipulación de las imágenes, etc.). No obstante cuando no existen registros históricos de

perfiles batimétricos de playa son la única fuente de información que permite realizar un análisis cualitativo importante y una estimación de las tasas de erosión o sedimentación en la costa.



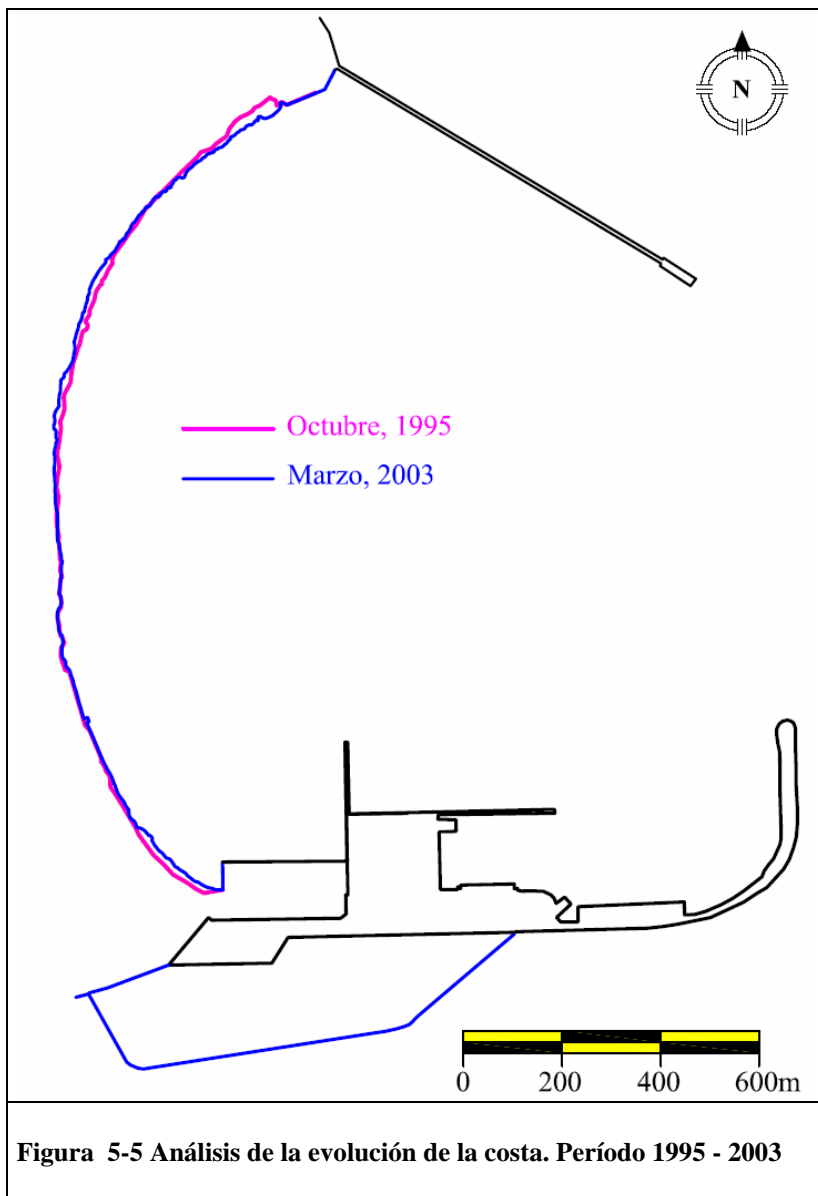
En la Figura 5.4, Figura 5.5, Figura 5.6 se presenta el análisis de la evolución de la línea de costa. En la primera imagen se compara el Fotograma del año 1969, previo a la extensión de la escollera original, y el fotograma del año 1995 donde recientemente se había prolongado la

obra de abrigo en 300 m. En la segunda y tercera se presentan la comparaciones para los períodos 1995–2003 y 2003-2009, un período de 15 años en el que no hubo modificación de las obras de abrigo.

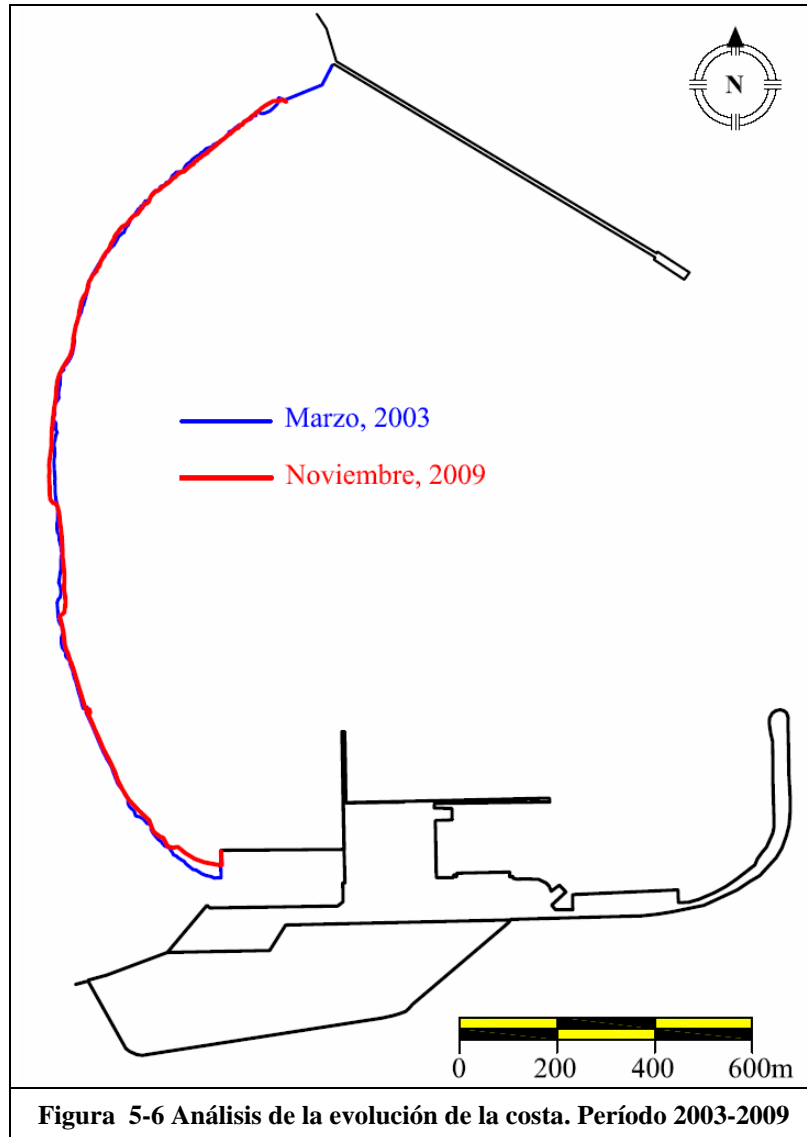


En la Figura 5-4 se observa que los cambios en la línea de costa no fueron significativos en la zona cercana al puerto, mientras que en la zona norte de la playa se observa un leve retroceso de la línea de costa. Por otra parte en la Figura 5-5 se presenta un período de 7 años inmediatamente posterior a la prolongación de la obra de abrigo. Allí se observa un aumento del

retroceso de la línea de costa en algunos sectores próximos al muelle de YPF y una leve tendencia al avance en la zona sur de la playa cercana al puerto.

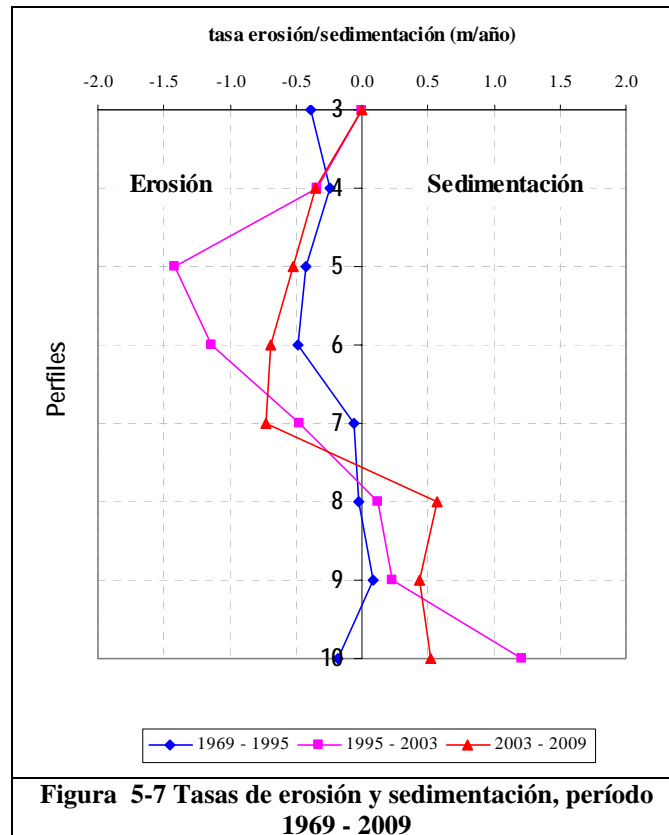


En la **Figura 5-6** se muestra la comparación entre la línea de costa del 2003 y 2009 donde se observan tendencias similares de erosión y sedimentación a las observadas en el período 1995–2003 pero menos significativas.



Para una mejor comprensión de evolución de la línea de costa se establecieron zonas de control. Dichas zonas se utilizan en la modelación que se describe posteriormente en el **Capítulo 6**. Principalmente se reconocen dos grupos de secciones de control, las correspondientes a la zona norte de la playa en los perfiles 3 al 7 y las de zona sur próxima al puerto en los perfiles 8 al 10 (ver Figura 6-6).

Para la medición de los cambios en la línea de costa se consideró a ésta como el límite externo del depósito de gravas y arenas al pie del acantilado. En la **Figura 5-7** se presentan las tasas de erosión y sedimentación promedios estimadas para los sectores de control mencionados anteriormente.



En la **Figura 5-7** se observa que luego de la prolongación de la escollera (período 1995 - 2003) la tasa de erosión aumentó en los sectores 4 al 7 (norte y centro). En dicho período también se produjo un aumento de la tasa de sedimentación en las zonas 8 al 10 respecto del período 1969 - 1995 (sector sur).

En el período 2003 - 2009 las tasas de erosión y sedimentación siguen siendo mayores que las determinadas previo a la prolongación de la escollera (período 1969 - 1995) pero muestran una reducción con respecto al período inmediatamente posterior a la construcción de la obra.

Una interpretación de este comportamiento es que la línea costera haya tendido a un nuevo estado de equilibrio. Es decir, previo a construirse la prolongación de la escollera las tasas de retroceso eran muy bajas en los sectores centro y norte, y prácticamente no había acumulación en el sector sur. Es probable que al construirse la obra de prolongación de la escollera se haya modificado el equilibrio de las fuerzas actuantes sobre el medio y por tanto las tasas de erosión/sedimentación se vieron alteradas notablemente en un principio y luego gradualmente el sistema tiende a un nuevo estado de equilibrio.

6 MODELACION DE LA PROPAGACIÓN DEL OLEAJE EN LA REGIÓN COSTERA

La modelación de la propagación del oleaje en la zona de influencia de un puerto requiere la consideración de procesos físicos lineales y no lineales generados por la acción combinada de una excitación exterior (oleaje) y la presencia de estructuras portuarias con determinadas características geométricas y propiedades reflejantes de la energía. Al mismo tiempo, resulta determinante la influencia de las características morfológicas del lecho marino, que en aguas restringidas es generador de procesos de refracción y rotura del oleaje.

El desarrollo de un estudio de este tipo demanda la aplicación de técnicas numéricas avanzadas que permitan encarar la solución de problemas matemáticamente complejos. Dado este contexto, para el desarrollo del estudio solicitado en el área de influencia del Puerto de Comodoro Rivadavia se aplicó el modelo BOUSS-2D (*Nwogu et al., 2001*), el cual es considerado especialmente apto para este propósito y dada su versatilidad permitió estudiar los efectos de la incidencia de diferentes escenarios de propagación del oleaje sobre la región costera que se analiza.

6.1 Características generales del modelo

BOUSS-2D es un modelo numérico perteneciente al sistema SMS (Surface-Water Modeling System) desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. El mismo se encuentra basado en una solución dominio-tiempo de ecuaciones tipo Boussinesq.

El planteamiento original de las ecuaciones de Boussinesq para la propagación del oleaje en aguas de profundidad variable fue derivada por Peregrine (1967), y reformulado posteriormente por Nwogu (1993, 1996) y por Wei et al. (1995). Estas modificaciones permitieron extender el rango de aplicabilidad de las ecuaciones al incorporar los efectos de la mayoría de los procesos físicos asociados a la transformación del oleaje que resultan de interés para el campo de la ingeniería de puertos y costas, entre los que cabe mencionar:

- *Bajío.*
- *Refracción.*
- *Difracción.*
- *Reflexión parcial o total.*
- *Fricción de fondo.*

- *Interacción no lineal entre distintas componentes de onda.*
- *Rompimiento de olas y Run-up.*
- *Corrientes inducidas por acción del oleaje.*
- *Interacción entre olas y corrientes.*

En el **ANEXO I** de este informe puede encontrarse una descripción ampliada de las características de este modelo.

6.2 Aplicación del modelo en la zona de influencia del Puerto de Comodoro Rivadavia

La aplicación del modelo en la zona de estudio tuvo el propósito de evaluar las condiciones hidrodinámicas generadas en el área de influencia del Puerto de Comodoro Rivadavia para distintos escenarios de oleaje incidente, considerando tres configuraciones diferentes para la planta portuaria que se corresponden con el desarrollo histórico del puerto y con el proyecto de una futura ampliación. Consecuentemente, las configuraciones portuarias evaluadas en este informe fueron denominadas como: Antigua, Actual, y Proyectada.

La implementación de modelo requiere básicamente de la definición del área a modelar, la elección de una resolución para la discretización espacial (Δx , Δy) y la construcción de una malla o grilla de cálculo, y de un paso temporal Δt . En segunda instancia es necesario definir las propiedades de los contornos y los escenarios hidrodinámicos que constituyen las condiciones de borde.

6.3 Grillas de cálculo

Para la construcción de las grillas de cálculo necesarias para la aplicación del modelo se utilizó la información batimétrica provista por la DGP, consistente en relevamientos de detalle realizados en la zona de estudio. Dado que no se cuenta con información referida a la evolución histórica de la batimetría en esta zona, se utilizó la misma información de base para las tres configuraciones analizadas.

El área modelada para este estudio abarca una superficie del orden de 6.7 km², discretizada en un grilla regular constituida por un total de 510 X 525 nodos, separados entre si por una distancia $\Delta x = \Delta y$ de 5 m, lo cual brinda una resolución espacial adecuada para encarar la solución del problema planteado. La Figura 6-1 a la Figura 6-3 se muestran las grillas de cálculo

confeccionadas para la aplicación del modelo, permitiendo observar la totalidad del área modelada.

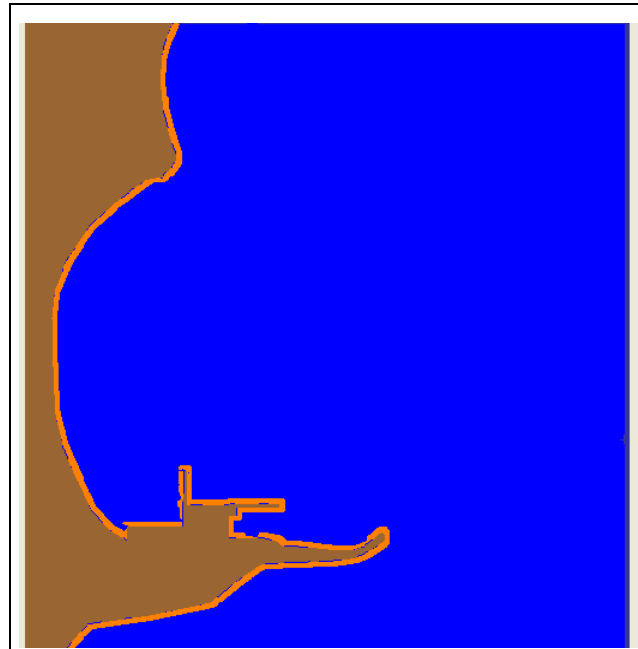


Figura 6-1 Área de la Modelación para la configuración original del puerto

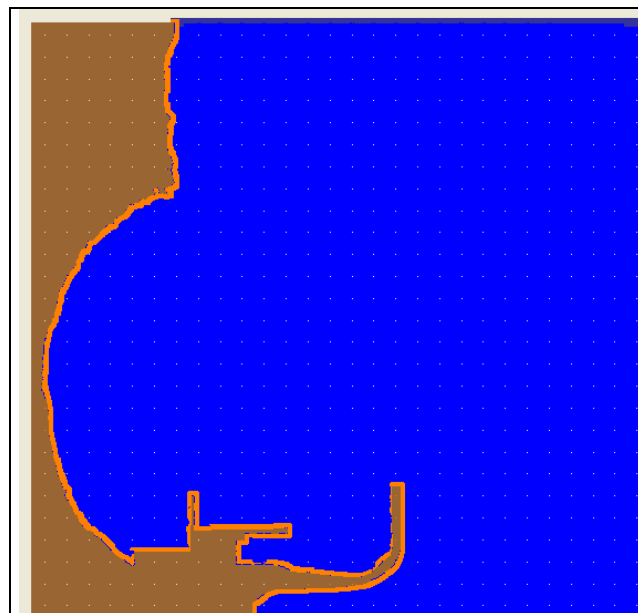
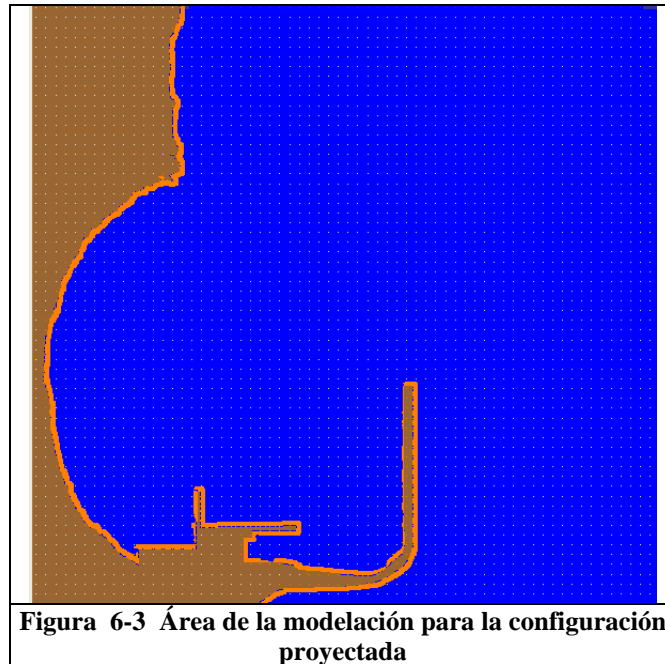


Figura 6-2 Área de la modelación para la configuración actual



6.4 Condiciones de contorno

Los bordes laterales del modelo, bordes “oceánicos”, fueron considerados como fronteras totalmente absorbentes, permitiendo de esta manera el egreso del sistema de la energía reflejada por la presencia de las estructuras portuarias y la costa.

Para los contornos interiores del puerto y la costa se consideraron diferentes condiciones de reflexión, expresados en el modelo a través del coeficiente de amortiguamiento α , en este caso se utilizaron los siguientes valores:

- Zona de playa: $\alpha=0.75$ (altamente absorbente)
- Escollera (enrocado y acropodos): $\alpha=0.5$ (parcialmente reflejante)
- Sector de muelles $\alpha=0.1$ (altamente reflejante)

Para la adopción de estos valores se tuvieron en cuenta las observaciones realizadas en una visita de reconocimiento al lugar, como así también distintas recomendaciones bibliográficas y experiencias previas obtenidas en trabajos similares.

6.5 Escenarios de cálculo

El análisis del clima de olas en la región presentado en el *Informe LHA- 273-01-08* permitió seleccionar un conjunto de escenarios de oleaje, representativos tanto de situaciones frecuentes como de temporales extremos, utilizados para el desarrollo de las simulaciones numéricas de este informe.

La **Figura 6-4** y la **Figura 6-5** transcriben las tablas que representan los resultados del clima de olas para el punto A (**Figura 6-6**), ubicado en las proximidades del puerto. Estas tablas señalan la cantidad de casos observados, distribuidos por dirección y por rango de altura de olas, en un período de información de 11 años (01-01-1995 / 31-12-2005). Se señalan por separado los casos correspondientes a olas locales y los que corresponden a swell.

Hs(m)	DIRECCION																TOTAL
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0 - 0,5	0	0	50	282	132	54	76	108	216	0	0	0	0	0	0	0	918
0,5 - 1	0	0	0	492	224	44	157	390	194	0	0	0	0	0	0	0	1501
1 - 1,5	0	0	0	201	262	58	197	530	3	0	0	0	0	0	0	0	1251
1,5 - 2	0	0	0	12	215	39	155	50	0	0	0	0	0	0	0	0	471
2 - 2,5	0	0	0	0	36	32	107	2	0	0	0	0	0	0	0	0	177
2,5 - 3	0	0	0	0	3	13	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
3 - 3,5	0	0	0	0	1	3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
3,5 - 4	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
4 - 4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,5 - 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	50	987	873	245	744	1080	413	0	0	0	0	0	0	0	4392

Figura 6-4 Clima de olas en el punto A. Olas locales

Hs(m)	DIRECCION																TOTAL
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0 - 0,5	0	0	0	42	865	2150	4331	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7388
0,5 - 1	0	0	0	21	725	965	1018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2729
1 - 1,5	0	0	0	0	111	296	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	486
1,5 - 2	0	0	0	0	17	75	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112
2 - 2,5	0	0	0	0	2	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
2,5 - 3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3 - 3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,5 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,5 - 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	0	63	1720	3497	5452	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10732

Figura 6-5 Clima de olas en el punto A. Swell

El criterio utilizado para seleccionar escenarios que representaran condiciones de temporales frecuentes tuvo en cuenta aquellas situaciones para las cuales desde las distintas direcciones de propagación se observarían valores significativos de Hs con un número de ocurrencia de al menos 50 veces en todo el período de información. Los escenarios seleccionados, tanto para olas locales como para swell, son caracterizados por valores de altura significativa (Hs); dirección, y período de pico espectral (Tp) de las olas; y se presentan en la **Tabla 6.1**.

Tabla 6.1. Escenarios Frecuentes

Escenario	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Casos observados
Viento ENE	1.25	5.0	67.5°	201
Viento E	1.75	5.5	90°	215
Viento SE	2.25	6.5	135°	107
Viento SSE	1.75	6.0	157.5°	50
Swell E	1.25	12.0	90°	111
Swell ESE	1.75	14.0	112.5°	75
Swell SE	1.25	12.0	135°	79

En todos los casos, los valores presentados para Hs, Tp y dirección, corresponden a una ubicación donde la profundidad natural es del orden de los 11 m, coincidente con la zona definida como borde de la modelación desde la cual se propagan las olas hacia la costa.

La dirección de propagación se encuentra medida desde el Norte en sentido horario y desde donde provienen las olas, es decir que a las olas procedentes del Este les corresponde un ángulo de 90° y a las procedentes del Sur 180°.

Todas las simulaciones se realizaron considerando el nivel medio de la marea, correspondiente a N=2.6 m según el plano de referencia MOP; y un nivel de pleamar media correspondiente a N=4.75 m MOP.

En segunda instancia se realizó una evaluación para condiciones asociadas a temporales extremos. Para ello se extrajo información del *Informe LHA- 273-02-08*, donde se presentó un análisis de valores extremos sobre la base de los resultados obtenidos para el clima de olas en la región de Comodoro Rivadavia. Para la selección de escenarios de modelación se decidió

utilizar los valores asociados a períodos de retorno de TR=50 años, tanto para el caso de olas locales como para el swell. La Tabla 6.2 presenta el resumen de la información seleccionada para simular las condiciones de temporales extremos.

Tabla 6.2. Escenarios Extremos

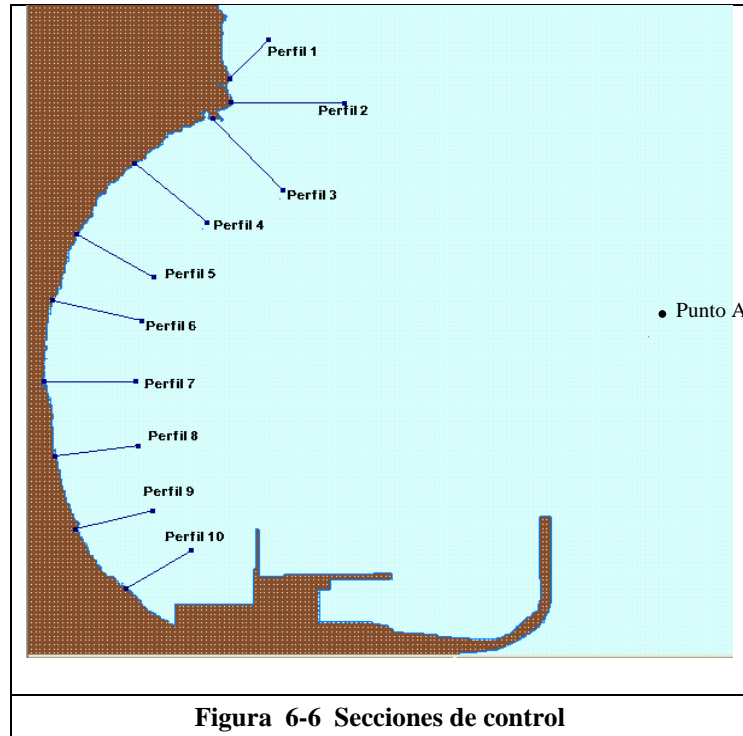
Escenario	Hs (m)	Tp (s)	Dirección	Período de retorno
Viento ENE	2.16	7.5	67.5°	TR=50 años
Viento E	3.27	10.0	90.0°	TR=50 años
Viento ESE	4.21	12.0	112.5°	TR=50 años
Viento SE	3.91	11.0	135°	TR=50 años
Swell ENE	0.76	15.0	67.5°	TR=50 años
Swell E	2.00	15.0	90.0°	TR=50 años
Swell ESE	2.66	17.5	112.5°	TR=50 años
Swell SE	2.45	17.0	135°	TR=50 años

En este caso, las simulaciones realizadas consideraron un nivel de mar coincidente con el de pleamar máxima, representado por N=5.75 m MOP.

6.6 Selección de secciones de control

Para la evaluación de los resultados se seleccionaron un conjunto de perfiles que constituyeron secciones de control a partir de las cuales fue posible caracterizar las condiciones hidrodinámicas (alturas de ola y velocidad de la corriente) resultantes de cada simulación a lo largo de toda el área costera de interés. La Figura 6-6 muestra la ubicación del conjunto de perfiles seleccionados para dicho propósito.

Tal como indica la figura, los perfiles se distribuyeron a lo largo de la zona costera de interés siendo numerados de 1 a 10 en sentido norte-sur. Los perfiles 1, 2, y 3, se encuentran ubicados sobre la Restinga Coronel en un sector que constituye el límite de la zona de interés para este estudio. El resto de los perfiles, desde el 4 hasta el 10, se encuentra en la zona de playa sobre la cual pueden generarse los procesos erosivos de mayor interés.



6.7 Resultados de las simulaciones

Cada uno de los escenarios presentados en el apartado anterior fue objeto de una simulación numérica. Para cada aplicación del modelo, los espectros de energía del oleaje correspondiente fueron representados por la función TMA, y en cada caso se modificó convenientemente el paso temporal para el avance del cálculo de manera tal de controlar la estabilidad del mismo. Dada la discretización espacial de la grilla, y en función de los diferentes escenarios simulados (distintas celeridades de onda), los valores de Δt asociados al cálculo se mantuvieron en el orden de entre 0.15 y 0.20 s.

La totalidad de los resultados de la aplicación del modelo se encuentran en el **ANEXO I**, en el cual se presentan valores puntuales de altura significativa de ola (H_s) y velocidad de la corriente (V) sobre los perfiles seleccionados, para cada una de las tres configuraciones de planta analizadas. Los valores puntuales presentados en dichas tablas corresponden, en cada caso, al máximo valor de la variable observado sobre todo el perfil.

Así mismo, en el **ANEXO II** se presenta un conjunto de figuras en forma de gráfico de barras que muestran la comparación directa de los valores obtenidos en las distintas configuraciones para todos los escenarios analizados.

El análisis comparativo de estos resultados, en líneas generales, da cuenta de un importante grado de atenuación en las alturas de ola que afectan el área costera de interés para la configuración Proyectada frente a los valores obtenidos para las configuraciones Antigua y Actual. Dicha atenuación se observa tanto en los escenarios frecuentes como en los extremos, haciéndose más notoria a medida que la dirección del oleaje se mueve hacia el sur.

Para los escenarios frecuentes el promedio general (considerando todos los escenarios) de atenuación de la altura de ola a lo largo de todo el frente costero resultó del 4.5 % comparando la configuración Actual contra la configuración Original, y del 16% si se compara la configuración Proyectada contra la Actual. Para los escenarios extremos estas diferencias resultaron mayores, siendo del 8% y del 19%, respectivamente (ver **ANEXO III**). Si bien en algunos casos puntuales pueden observarse variaciones significativas en las intensidades de las corrientes, los promedios generales de estas diferencias resultaron prácticamente nulos. (Sólo se consideraron para el cómputo del promedio valores de $H_s > 0.5$ m).

En todos los casos se observa que el sector de la Restinga Coronel (perfiles 1 a 3) es el que se encuentra más expuesto a la acción de las olas, independientemente de la configuración portuaria evaluada. Por el contrario, el tramo de playa comprendido entre los perfiles 4 y 10 es el que recibe los mayores beneficios de la prolongación de la escollera, presentándose en este sector las mayores reducciones en las alturas de ola.

Con respecto al análisis de las corrientes generadas por la acción del oleaje, se observa que las mayores intensidades se presentan en la zona de la Restinga Coronel. En este aspecto, los perfiles 1 a 3 se destacan claramente sobre el resto en la mayoría de los escenarios analizados, con valores puntuales que llegan a ser del orden de $V=1$ m/s.

A continuación, las Figuras 6.7 a 6.12 ilustran en forma parcial los resultados derivados del proceso de modelación, y la comparación entre las tres configuraciones, presentando los campos de alturas de olas obtenidos para dos escenarios de particular interés. En el primer ejemplo se muestra el caso del escenario de Swell ESE frecuente, el cual posee la mayor frecuencia de ocurrencia; mientras que el segundo ejemplo ilustra un temporal extremo con Viento SE, el cual presenta alturas de ola de gran consideración.

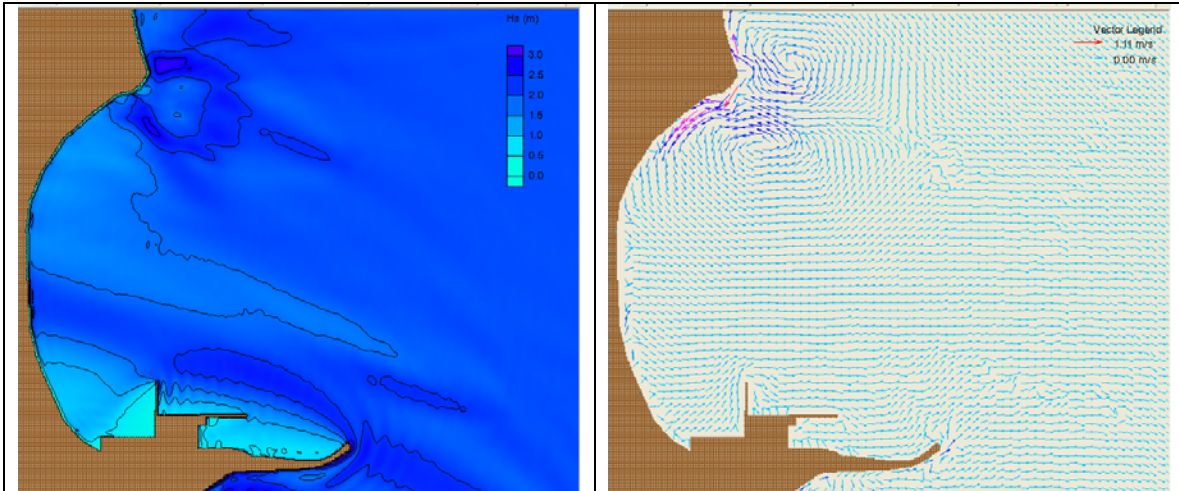


Figura 6.7. Swell ESE frecuente. Alturas de ola y corrientes para configuración Original

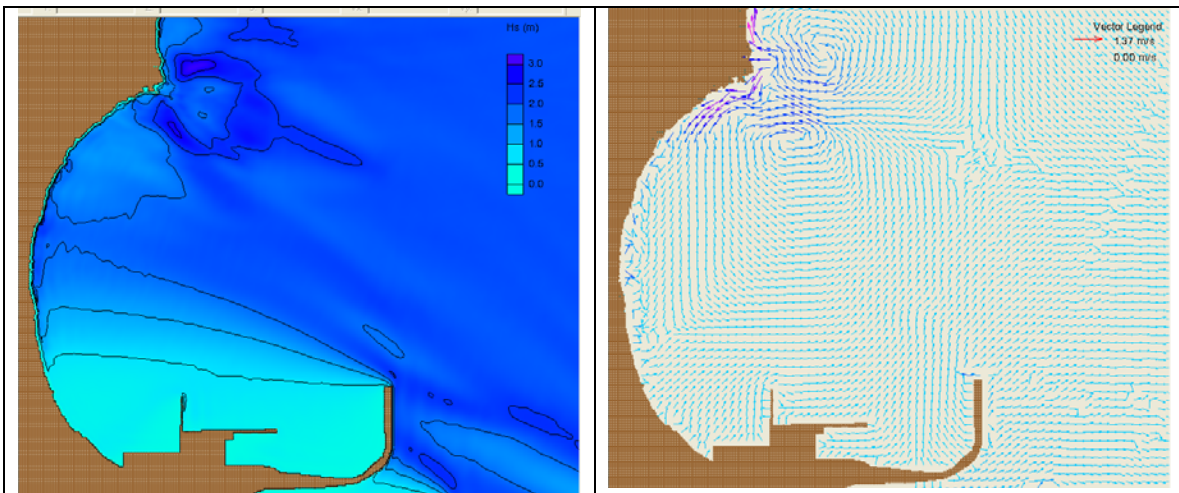


Figura 6.8. Swell ESE frecuente. Alturas de ola y corrientes para configuración Actual

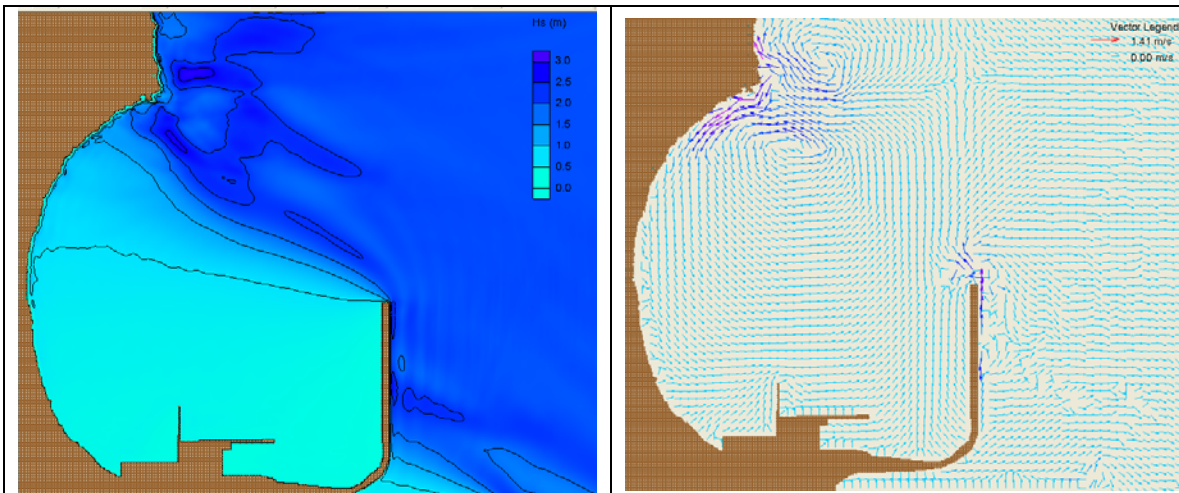


Figura 6.9. Swell ESE frecuente. Alturas de ola y corrientes para configuración Proyectada

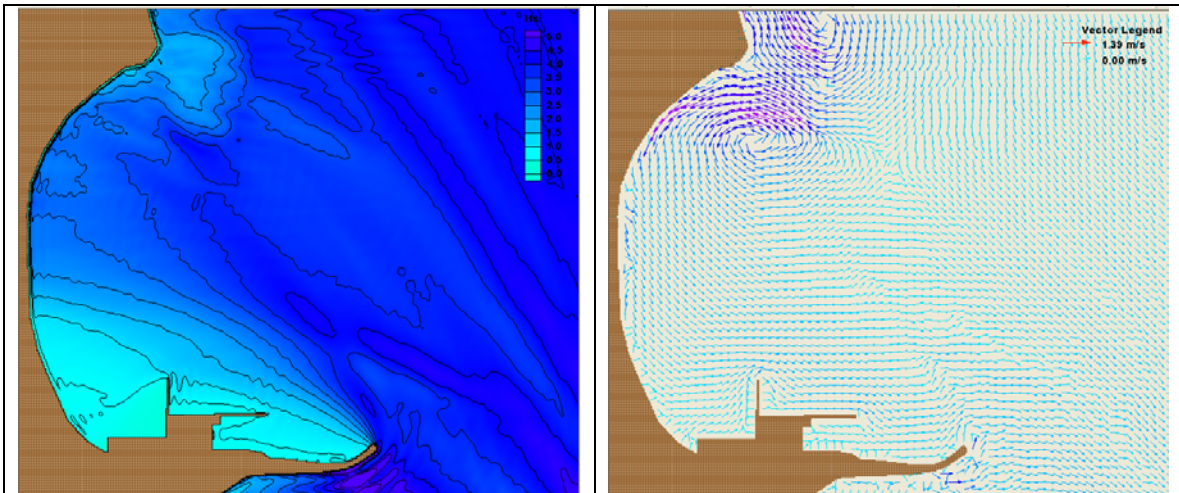


Figura 6.10. Viento SE extremo. Alturas de ola y corrientes para configuración Original

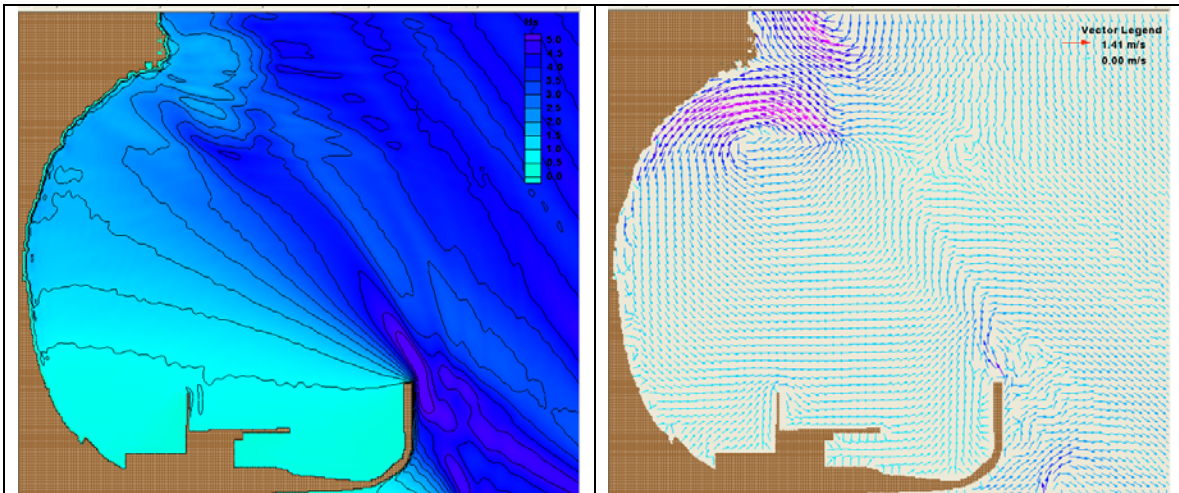


Figura 6.11. Viento SE extremo. Alturas de ola y corrientes para configuración Actual

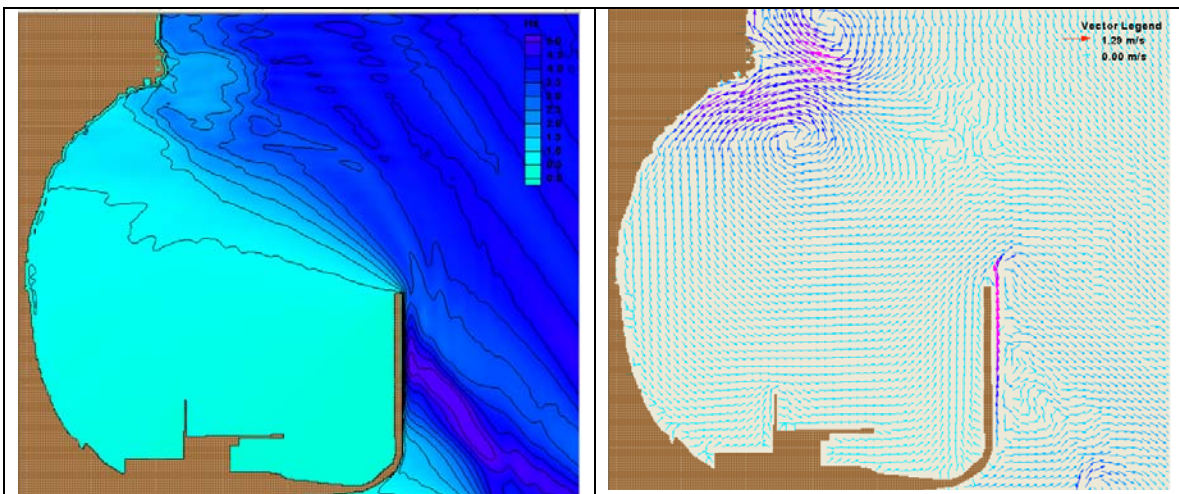


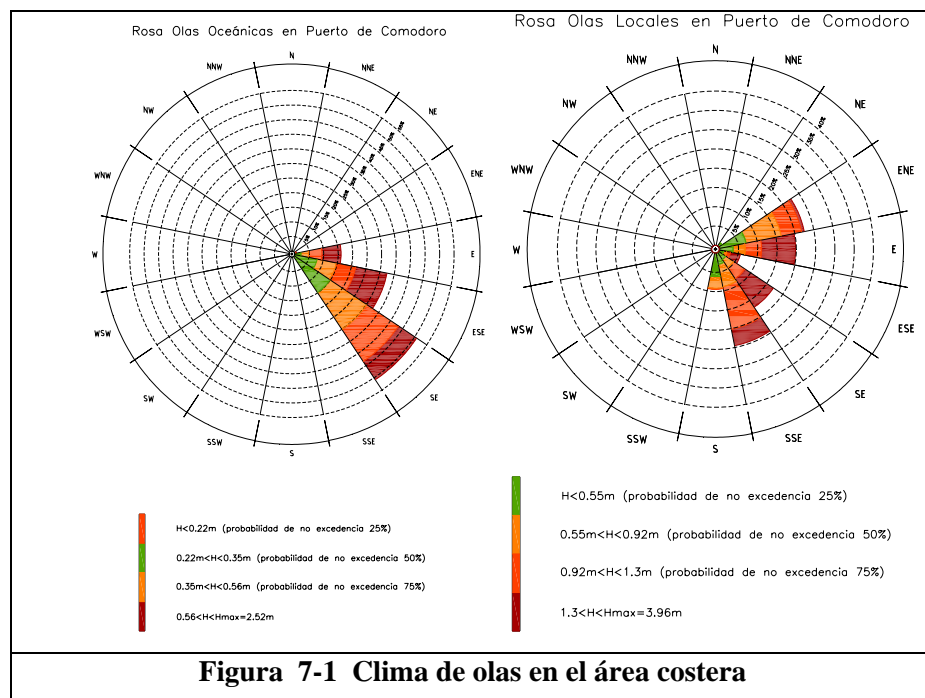
Figura 6.12. Viento SE extremo. Alturas de ola y corrientes para configuración Proyectada

7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

La amplia colección de resultados obtenidos en el proceso de modelación, presentados en los anexos de este informe, permitió seleccionar un conjunto de situaciones de particular interés para el análisis de condiciones hidrodinámicas generadas en distintos tramos del área costera. Con esta evaluación se pretende interpretar el desarrollo de los procesos erosivos observados en el **Capítulo 5**, como así también se intenta detectar alguna tendencia que posibilite predecir el impacto potencial de la prolongación de la Escollera Sur.

Consecuentemente, se analizaron los resultados obtenidos sobre determinados perfiles del tramo costero evaluado, comparando valores de altura de ola e intensidad de la corriente para las distintas configuraciones de puerto y para escenarios asociados tanto a temporales frecuentes como a situaciones de oleaje extremo. Los perfiles sobre los cuales se apoya el análisis realizado se han indicado en la Figura 6-6.

Para facilitar la interpretación del significado de los escenarios modelados se incorpora la **Figura 7-1**, en la que se muestra la frecuencia direccional del oleaje estimada en el área costera.



7.1 Temporales frecuentes

La observación global de los resultados obtenida por la interpretación de las figuras presentadas en el **Anexo II** señala que el tramo costero comprendido entre los perfiles 4 y 10 es el sector en el cual pueden encontrarse las mayores diferencias entre las alturas de olas correspondientes a las distintas configuraciones analizadas. Atendiendo a ello, las Figuras 7.2 a 7.4 presentan los valores de Hs (m) obtenidos sobre los perfiles 4, 6 y 8, respectivamente, considerando los resultados correspondientes a las tres configuraciones analizadas, para los escenarios asociados a situaciones de temporales frecuentes y nivel de mar coincidente con la pleamar media.

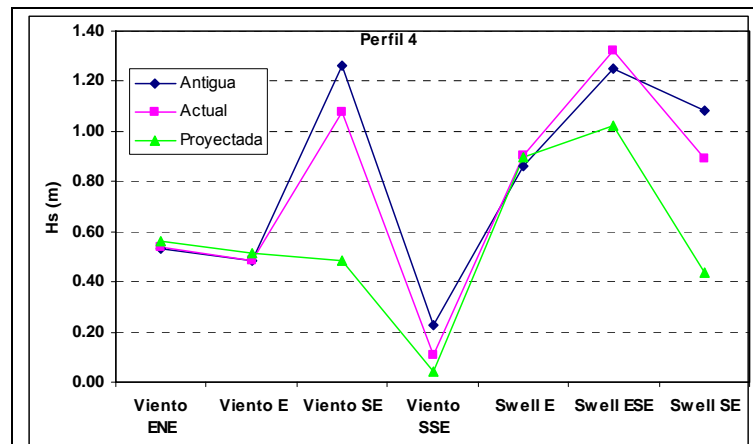


Figura 7.2. Valores máximos de altura de ola sobre el perfil 4

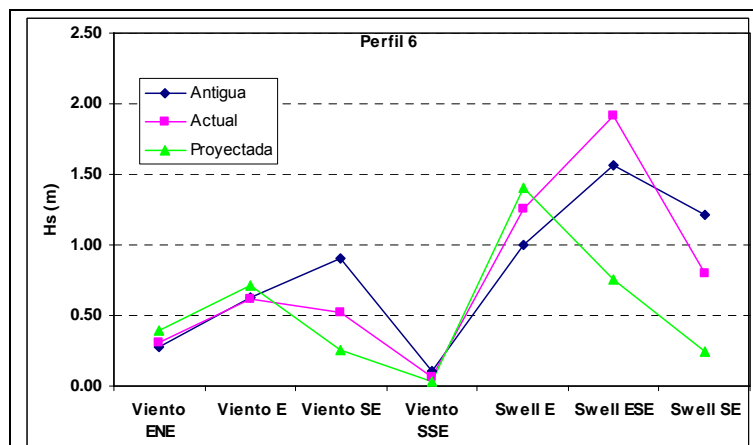
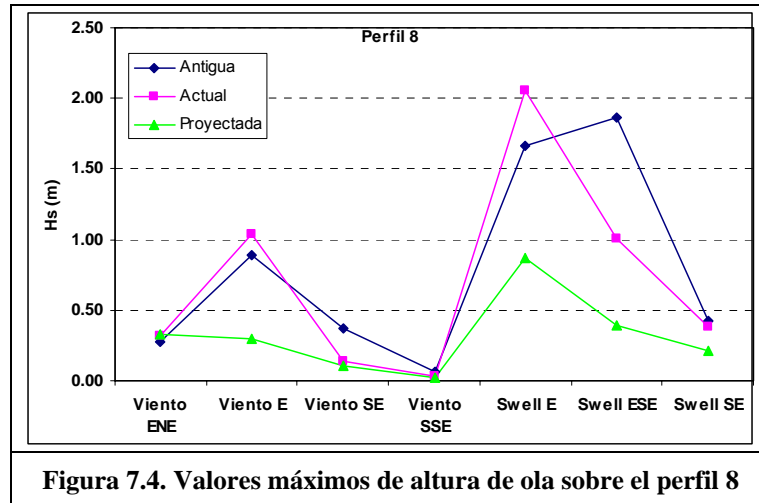


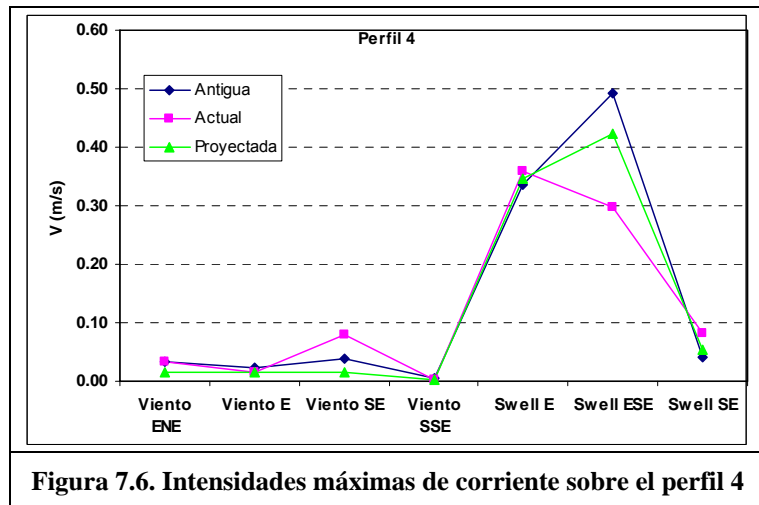
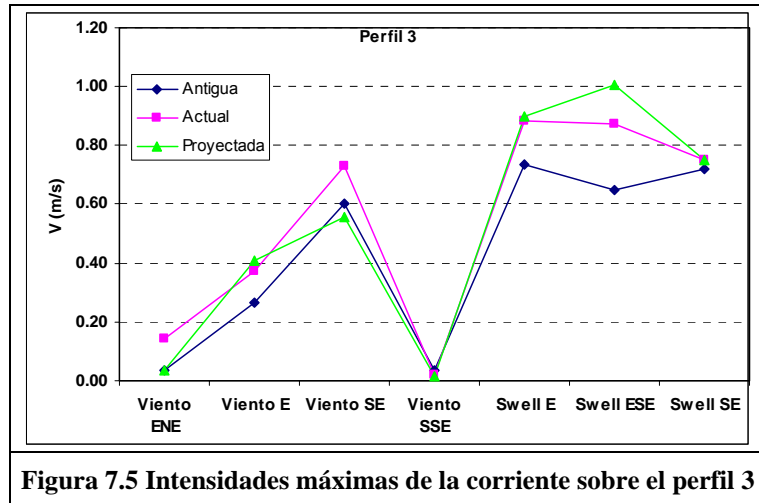
Figura 7.3. Valores máximos de altura de ola sobre el perfil 6



Como tendencia general se aprecia que la altura de ola disminuye considerablemente para el caso de la configuración Projectada frente a los valores obtenidos para las dos configuraciones restantes. La atenuación en los valores de la altura de ola sobre la costa se hace particularmente significativa para los perfiles 6 y 8, correspondientes al tramo central del sector de playa, en el cual pueden observarse valores de Hs de hasta 2 m para las configuraciones Original y Actual, en tanto en presencia de la obra proyectada Hs resulta inferior a 1,5 m

Con estos resultados puede inferirse que la prolongación de la escollera generará un aumento significativo en el grado de protección del sector de playa frente a la acción del oleaje incidente en condiciones frecuentes.

Con referencia a las corrientes generadas por la acción del oleaje, se ha señalado que el sector de mayor interés corresponde a la zona de la Restinga Coronel. Por tal motivo, se presentan en las Figuras 7.5 y 7.6 los resultados obtenidos sobre los perfiles 3 y 4, ubicados en cercanías de dicho sector.



Estas figuras señalan que para los escenarios de Swell las corrientes en la zona de la restinga (principalmente en el perfil 3) pueden alcanzar valores considerables, del orden de $V=1$ m/s. Asimismo, estos valores pueden verse incrementados en un orden de un 10 % con la prolongación de la escollera, dado que ésta modifica la dirección de llegada de las olas por efecto de la difracción.

Esta situación podría generar la aceleración de un proceso erosivo para esta zona, o en caso de que hubiese material disponible, intensificar una situación de transporte de sedimentos hacia el sector Sur de la playa, tal como queda evidenciado en el mapa de corrientes presentados en la Figura 6.9.

7.2 Temporales extremos

Del mismo modo que en el apartado anterior, se graficaron los valores de Hs sobre los perfiles 4, 6 y 8; comparando los resultados obtenidos con las tres configuraciones diferentes para la simulación de los escenarios de oleaje extremo con un nivel de mar coincidente con la pleamar astronómica máxima. Dichos gráficos son presentados en las Figuras 7.6 a 7.8.

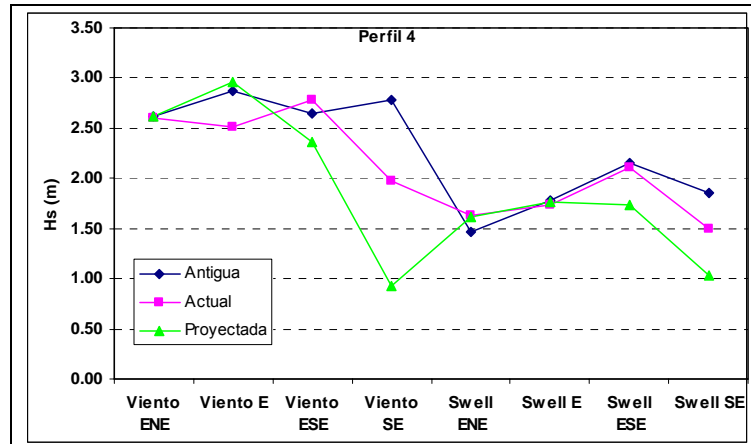


Figura 7.7. Valores máximos de altura de ola sobre el perfil 4

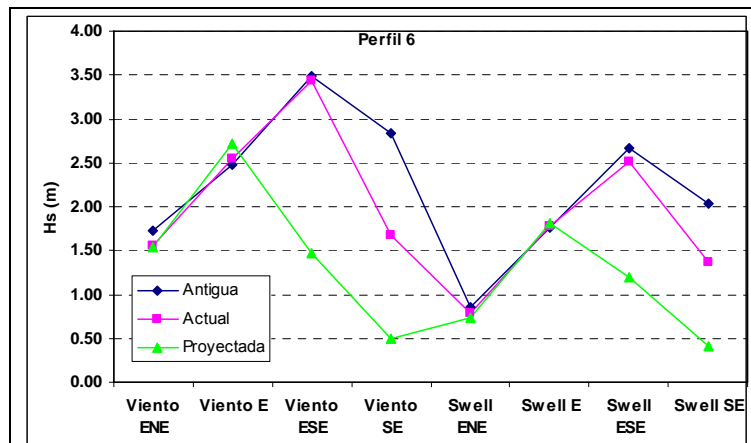
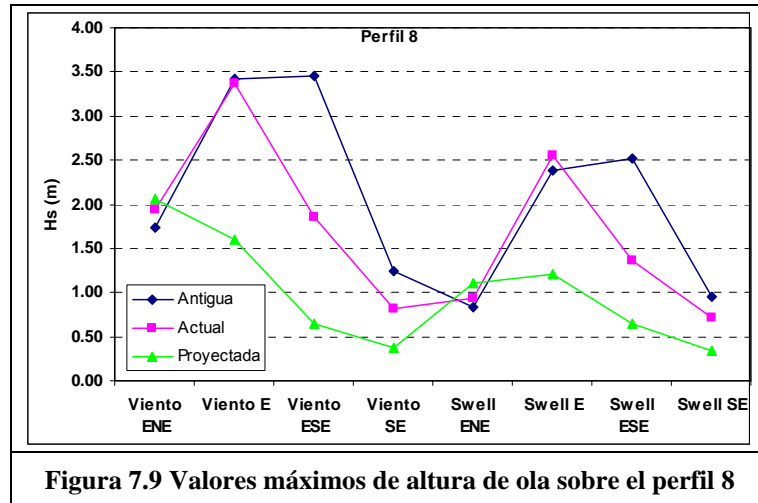


Figura 7.8 Valores máximos de altura de ola sobre el perfil 6



Exceptuando el caso puntual del escenario Viento E, para el cual sobre el perfil 4 se observa un leve incremento de altura de Hs para la configuración Proyectada respecto de la Actual, la obra de prolongación de la escollera sería altamente beneficiosa para la reducción de la altura de ola sobre la costa en situaciones de temporales extremos. Las figuras presentadas muestran que, como era de esperar, la atenuación del oleaje generada por la configuración proyectada aumenta para el perfil 6 respecto del 4, y para el perfil 8 respecto del 6.

Puede apreciarse además que, en líneas generales, la configuración Actual ha producido una atenuación importante en la altura de olas extremas sobre la costa respecto de los valores asociados a la configuración Original.

Con respecto a las corrientes, los valores de mayor intensidad pueden observarse nuevamente en la zona de la restinga (perfiles 1 a 3), pero en relación a los resultados obtenidos para los escenarios de temporales frecuentes los valores observados para el tramo de playa más expuesto crecen considerablemente con la ocurrencia de algunos escenarios de temporales extremos. Las Figuras 7.10 a 7.13 ilustran esta situación presentando los gráficos correspondientes a los perfiles 3, 4, 5 y 6.

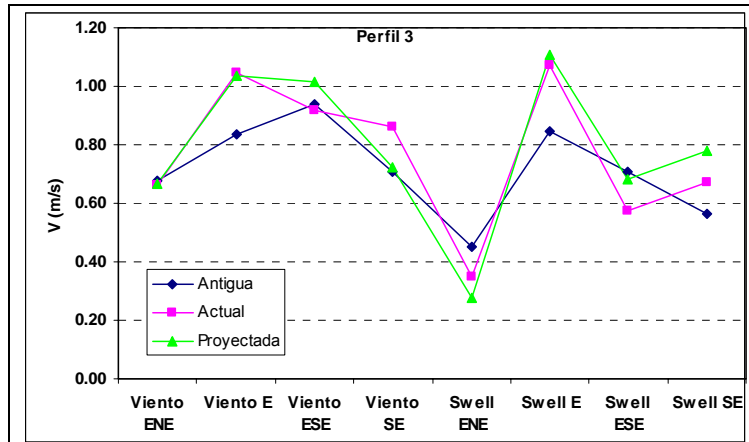


Figura 7.10 Intensidades máximas de corriente sobre el perfil 3

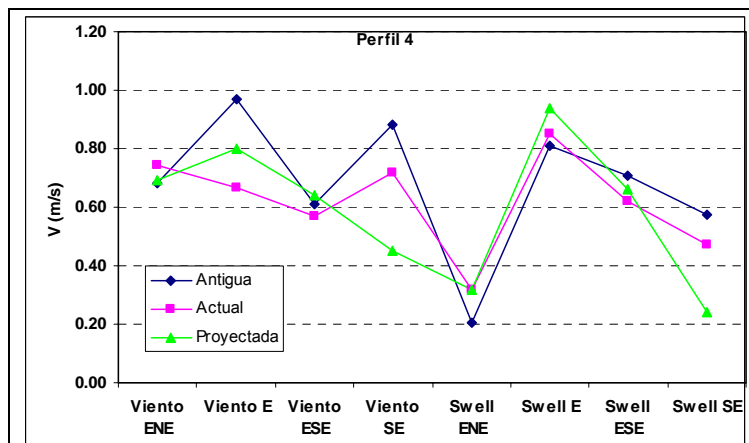


Figura 7.11 Intensidades máximas de corriente sobre el perfil 4

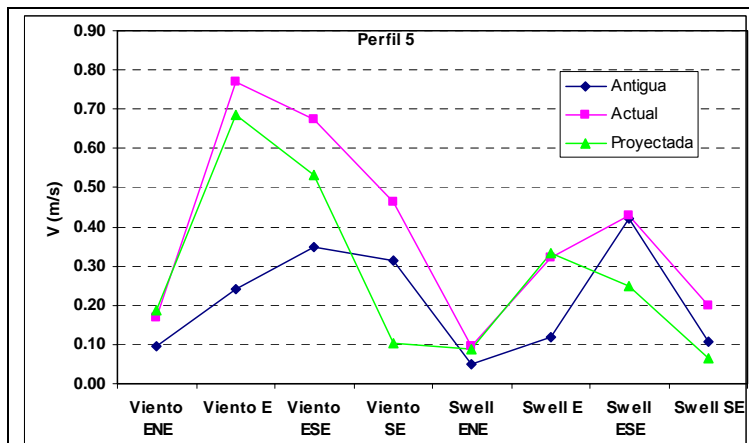
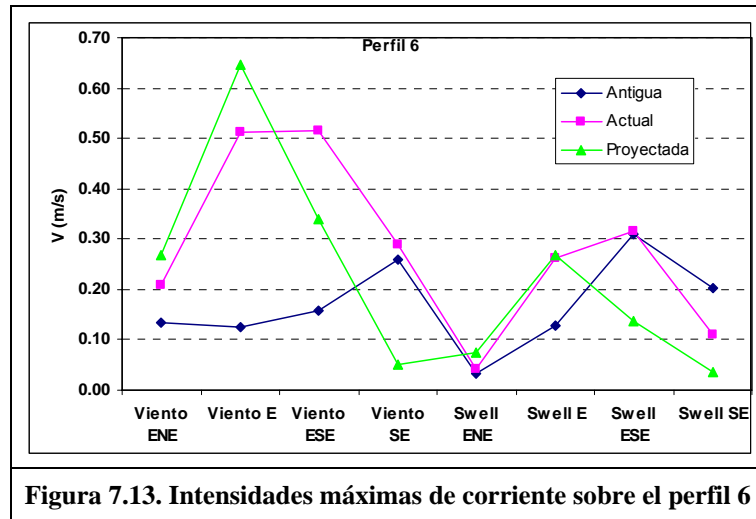


Figura 7.12. Intensidades máximas de corriente sobre el perfil 5



Para el perfil 3, ubicado sobre la restinga, los valores obtenidos en las tres configuraciones resultaron relativamente cercanos. Cabe destacar el caso de los escenarios con oleaje del Este, tanto de Viento como de Swell, donde los valores de V (m/s) correspondientes a las configuración actual y proyectada superan en un 20 % a los de la configuración Antigua.

En el perfil 4 se observa, en líneas generales, una leve reducción de la intensidad de corrientes comparando las configuraciones Actual y Proyectada contra la configuración Antigua.

Sobre los perfiles 5 y 6 los resultados señalan que la presencia de la configuración Actual ha incrementado sustancialmente la intensidad de las corrientes respecto de la configuración Antigua, aunque estos valores continúan siendo inferiores a los observados en el sector de la restinga. Estos incrementos se hacen más notables para los temporales de olas de viento. Por su parte, la configuración proyectada tiende a reducir las intensidades de la corriente respecto de las condiciones actuales, con excepción del caso correspondiente al escenario de Viento E, con el cual se produciría un aumento de corrientes para el sector del perfil 6.

En todos los casos analizados el sentido de circulación de las corrientes resultó norte-sur, lo que podría promover el desplazamiento de materiales sueltos hacia la zona de playa lindante con el puerto, perfiles 9 y 10, donde la disminución de las corrientes favorecerían la deposición del mismo.

7.3 Síntesis de resultados

Los resultados obtenidos en la comparación entre la configuración Actual respecto de la Antigua indican que la prolongación realizada en 1994 provocó para algunos escenarios un aumento de la altura de ola en el sector norte y centro del tramo de costa estudiado (perfiles 4 a 8). Tales situaciones corresponden al oleaje oceánico (swell) de las direcciones E y ESE, los cuales presentan valores significativos de frecuencia de ocurrencia y altura de ola, como surge de la observación de las rosas de oleaje de las **Figuras 7-1**. Dicho fenómeno se repite para olas locales de la dirección E, la cual presenta una menor frecuencia de ocurrencia respecto al oleaje oceánico pero con una mayor altura de ola, y afecta principalmente al sector central de la playa (perfiles 7 y 8).

Estos resultados se encuentran en franca correspondencia con observaciones realizadas en el análisis de la evolución de la línea de costa, ya que en el período posterior a la construcción de la prolongación de la obra de abrigo (período 1995 - 2009) se observó un aumento considerable de la tasa de retroceso de costa en comparación con el período de análisis correspondiente a la configuración original (1969-1994). En efecto, la zona más afectada por la erosión corresponde al sector centro y norte (perfiles 5 al 7), los cuales presentan mayor afectación del oleaje como se mencionó en el párrafo anterior.

Del análisis morfológico se aprecia también un incremento de las tasas de acumulación en el sector sur de la playa. Dicho efecto concuerda con el análisis hidrodinámico ya que en todos los casos analizados el sentido de circulación de las corrientes resultó norte-sur, lo que provoca el desplazamiento de materiales sueltos provenientes de procesos de erosión hacia la zona de playa lindante con el puerto (perfiles 9 y 10) donde la disminución de las corrientes y menor agitación por oleaje favorecieron la deposición del mismo.

A partir de la evaluación de las condiciones hidrodinámicas generadas por distintos escenarios de oleaje en el área de estudio para la escollera proyectada con una extensión de 400 m, se aprecia como tendencia general una marcada reducción de la altura del oleaje sobre el frente costero analizado con respecto a los valores determinados para el puerto original y la configuración actual. La atenuación en los valores de la altura de ola sobre la costa se hace particularmente notable para el tramo central de la playa (perfiles 5 al 8, Figura 6-6).

Como caso excepcional, se observó una situación de incremento de la altura de ola sobre el perfil 4 para el escenario de oleaje extremo de Viento E, donde los valores podrían aumentar desde $H_s=2.5$ m a $H_s=3$ m al prolongarse la escollera en 400 m. Si bien se trata de una circunstancia particular con una baja probabilidad de ocurrencia, y que afectaría a un sector muy localizado de la costa, este resultado debería ser tenido en cuenta como un indicador de tendencia para la identificación a un posible tramo erosivo.

Asimismo, se ha observado que como efecto de prolongación de la Escollera Sur, dada la modificación en los patrones de difracción del oleaje que ésta induciría, para algunos escenarios podrían modificarse los sistemas de corrientes generadas por el oleaje, aún cuando los valores de H_s no sufrieran variaciones considerables. Como caso relevante se destaca el escenario frecuente de Swell ESE, el cual presenta como la situación de mayor frecuencia de ocurrencia en la **Figura 7.1**. Para este escenario, sobre la zona de restinga (perfil 3) se observa un incremento en los valores de intensidad de la corrientes del orden de 15%, pasando de $V=0.87$ m/s a $V=1.01$ m/s, para las configuraciones Actual y Proyectada, respectivamente. Cabe recordar que, tal como expresa la formulación de Van Rijn (1984), la capacidad de transporte de materiales sueltos (q_s) tiene una alta sensibilidad a la variación de la velocidad (\bar{U}):

$$q_s = 0.005\bar{U}h \left\{ \frac{\bar{U} - \bar{U}_{cr}}{[(s-1)gd_{50}]^{1/2}} \right\}^{2.4} \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{1.2}$$

Otra situación en la que se incrementa la capacidad de transporte de materiales sueltos por efecto del aumento de la intensidad de la corriente corresponde al caso temporal extremo de Viento E para los perfiles 4 y 6. Esto significa que en las ubicaciones indicadas, correspondientes al sector norte del tramo de costa analizado, podría eventualmente manifestarse algún incremento localizado de los procesos erosivos, aunque deberá tenerse en cuenta que el desplazamiento del material suelto sólo podrá hacerse efectivo si las características del sedimento (tamaño y distribución granulométrica) lo permiten.

8 RECOMENDACIONES SOBRE LA FACTIBILIDAD DE OBRAS

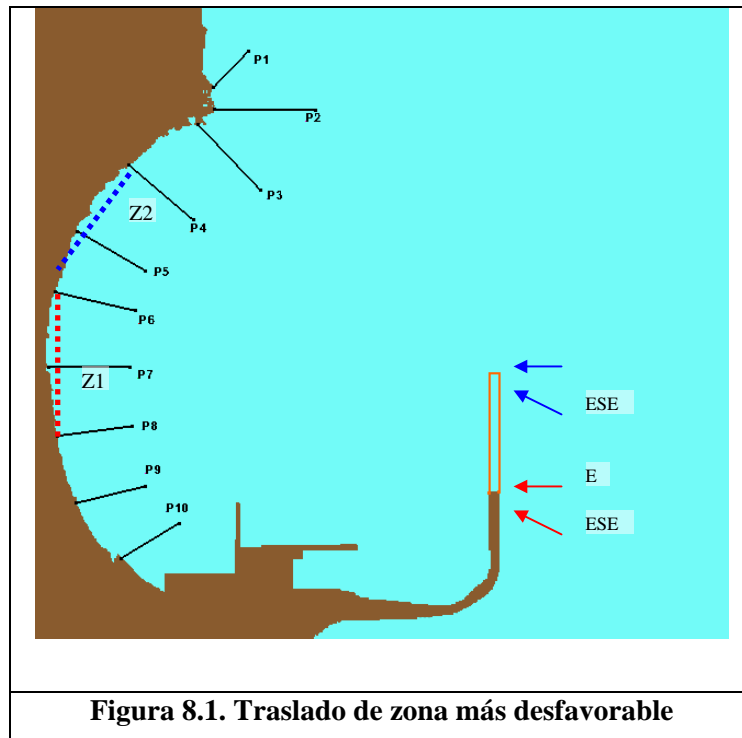
A la luz de los resultados obtenidos en las evaluaciones desarrolladas en los capítulos anteriores, debe señalarse que el sector norte de la costa analizada es un tramo que históricamente ha sufrido de procesos erosivos, los cuales se vieron agudizados por la prolongación de la obra de abrigo del puerto completada en 1994. La obra proyectada en la actualidad, consistente en una extensión en 400 m de la Escollera Sur, resultará beneficiosa en términos generales para la protección de la costa, aunque no será suficiente para el control de los procesos erosivos generados naturalmente por la acción del mar y agentes meteorológicos.

En efecto, el resultado del análisis de condiciones hidrodinámicas sugiere que la prolongación de la Escollera Sur aumentaría el grado de resguardo frente a la acción de las ola para un tramo importante de la costa, al mismo tiempo que, al alterar los patrones de difracción del oleaje dominante en la región, ocasionaría el traslado hacia el norte del tramo costero más expuesto a procesos erosivos. Tal como se esquematiza en la Figura 8.1, es esperable que los efectos de difracción inducidos por la presencia del morro de la escollera actual para la zona comprendida entre los perfiles 6 y 8 (Z1, sector costero que en la actualidad se encuentra parcialmente protegido con enrocado) se trasladen hacia la zona comprendida entre los perfiles 4 y 6 (Z2), como consecuencia de la reubicación del morro de la nueva obra de abrigo, y considerando la preponderancia de los temporales incidentes desde la direcciones E y ESE.

Bajo estas circunstancias será recomendable la planificación de obras de defensa costera para ese tramo, teniendo en cuenta por otra parte las importantes obras de infraestructura que pueden resultar afectadas.

Dentro de este contexto, en el presente capítulo se señalan un conjunto de lineamientos generales orientados al propósito de estabilización de la línea de costa, considerando fundamentalmente los siguientes elementos:

- Tipología de obra recomendada
- Dimensiones típicas en función de aspectos oceanográficos
- Aspectos constructivos
- Aspectos ambientales



8.1 Planteo de obras de defensa

Las medidas de protección costeras se implementan en general para defender de la erosión marina la propiedad pública y privada, obras de infraestructura como así también para la preservación de valores recreacionales y estéticos.

La elección de una apropiada estrategia para la defensa de una costa debe ser realizada a la luz de las causas que originan el problema, de la respuesta dinámica de la playa, de la capacidad de recuperación y de la extensión del retroceso costero.

Las actuaciones en la costa dependen de los objetivos que se persiguen y del origen del problema que debe controlar. Una diversidad de soluciones son posibles para el control del riesgo de retroceso costero². El manejo costero puede implicar la regulación del espacio costero para evitar el riesgo generado por la erosión, o bien proponer el uso de técnicas de ingeniería “blandas” o “rígidas”.

² *Alternative Shore Protection Strategies: Innovative Options and Management* Jennifer Lyne Dare. Project Report Submitted To Marine Resource Management Program College of Oceanic and Atmospheric Sciences Oregon State University Corvallis, OR 97333 July 11, 2003 in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science September 2003.

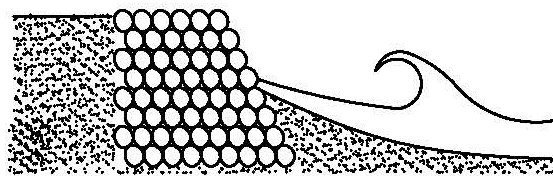
Dentro de las obras de defensa blandas suelen englobarse aquellas en que únicamente se actúa sobre el material sedimentario que compone la playa. Los métodos de ingeniería blanda apuntan entonces a trabajar a partir de la naturaleza dinámica de la playa; el más difundido y conocido método es el de alimentación artificial de playas.

Una estrategia de origen relativamente reciente es el uso de lo que se ha denominado “revestimientos dinámicos” o bermas de grava o canto rodado. Este tipo de defensa consiste en la construcción de una playa artificial de materiales gruesos sobre el frente costero a ser protegido. Puede ser considerada como una solución intermedia entre una playa por alimentación artificial y una protección de enrocado.

Las actuaciones duras son aquellas que conllevan una estructura resistente. Se clasifican en obras longitudinales y obras transversales a la línea de costa.

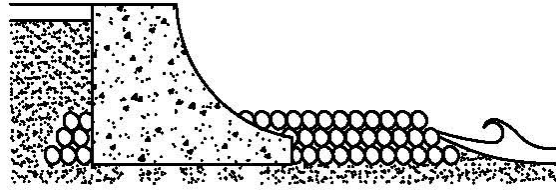
En el caso bajo estudio, el retroceso costero obedece básicamente a la llegada de olas altas en correspondencia con niveles extraordinarios del mar, lo que afecta la base del acantilado constituido por materiales sumamente degradables. Las lluvias y el drenaje por sobre el borde del acantilado también contribuyen a su deterioro. Por tal motivo, las obras que se proyecten deberán estar acompañadas de aquéllas necesarias para el control de la erosión pluvial. Acorde con lo indicado, **la obra que se propone es de tipo longitudinal**, con el propósito de reforzar este punto vulnerable del perfil frente a la acción marina.

Existen numerosas formas de materializar una obra longitudinal, ya sea mediante terraplenes protegidos por bloques de hormigón prefabricados, taludes de enrocado, muros de hormigón de variadas geometrías, tablestacados, o algunas soluciones combinadas. Algunas variantes de protección longitudinal se observan en las Figuras 8.2 y 8.3. La elección de uno u otro diseño dependerá de las condiciones técnicas y económicas del área donde se ejecutará el proyecto.



Protección de escollera en talud

Figura 8.2. Perfil de obra longitudinal constituida por materiales sueltos

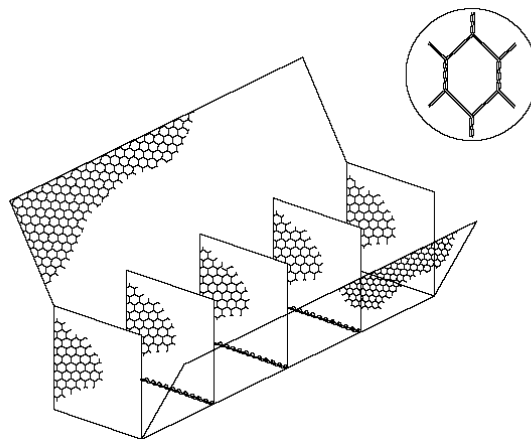


Muro con forma especial

Figura 8.3. Perfil de obra longitudinal constituida por un muro de hormigón

Una alternativa interesante son los muros construidos mediante gaviones rellenos con materiales de granulometría adecuada. La disponibilidad en el área costera al norte de Comodoro Rivadavia de gravas gruesas y cantos rodados señala a esta variante como una alternativa viable desde el punto de vista económico, presentando además una suma de consideraciones positivas en la evaluación de los aspectos ambientales y paisajísticos.

El gavión caja es una estructura metálica, en forma de paralelepípedo, cuyas tres dimensiones son de la misma magnitud. Un único elemento, producido con malla hexagonal de doble torsión, forma la base, la tapa y las paredes laterales. Al elemento de base son unidas, durante la fabricación, las dos paredes de extremidad y los diafragmas. Debidamente desdoblado en obra y ensamblado, asume la forma de un paralelepípedo Figura 8.4.

**Figura 8.4. Esquema de Gavión caja**

Las dimensiones de los gaviones caja son estandarizadas. El largo, siempre múltiplo de 1 m, varía de 1m a 6 m, con la excepción del gavión de 1,5m, mientras que el ancho es siempre de 1m. La altura puede ser de 0,50 o 1,00m.

Las protecciones construidas con gaviones, son obras verticales que resisten por gravedad, por tanto resultan de vital importancia el tipo de cimentación y la protección del pie, de modo tal que se minimicen los asentos e impida el socavamiento del muro. En caso de presentar una cimentación segura el esquema de obra recomendado³ para obras con gaviones es el indicado en la Figura 8.5.

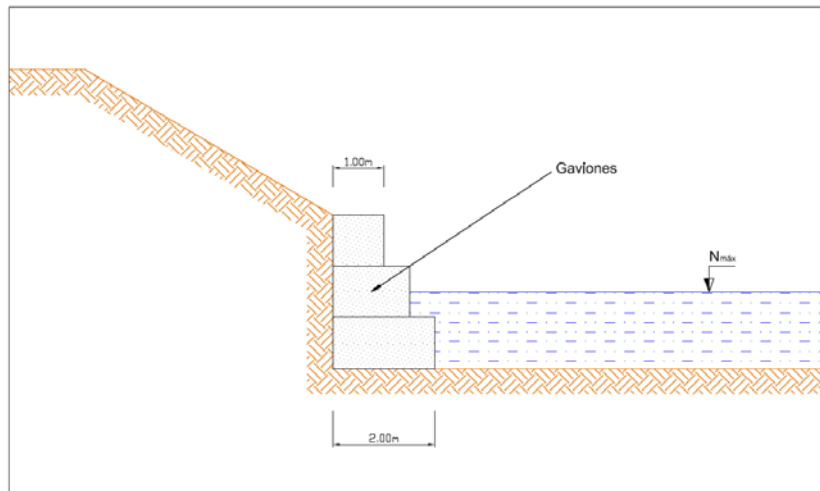


Figura 8.5. Obra de defensa con fundación directa

En protecciones costeras con gaviones el parámetro principal en el proyecto contra la erosión causada por las olas es la altura de las mismas. Cabe destacar, que el diseño y cálculo de obras con gaviones sometidos al oleaje no ha sido desarrollado ampliamente para protecciones costeras, aunque sí existen muchos antecedentes de campo y de laboratorio en protecciones de márgenes de ríos. Esto hace que la capacidad de predicción y cálculo de este tipo de obras sometidas al oleaje sea limitado.

C.T. Brown⁴ realizó una investigación de laboratorio sobre el uso de los gaviones caja para protecciones de costas marítimas y de grande lagos y encontró que para gaviones de 0.50 m de altura, la altura de ola máxima admisible es 1m. Se estima que para gaviones de 1m de espesor la altura de ola admisible es del orden de 2m.

³ Strutture flessibili in gabbioni e materassi Reno nelle aste torrentizie e fluviali – Officine Maccaferri S.p.A. Bologna, Italia, 1988.

⁴ C. T. BROWN, Gabion Report on some factors affecting the use of Maccaferri gabions and Reno mattresses for coastal revetments, Manly Vale, N. S. W., 1979.

Como antecedente destacado puede mencionarse la protección de un frente costero de aproximadamente 2.5 km materializado con este tipo de estructura en la zona de Playa Magagna (Figura 8.6), al sur del puerto de Rawson. En ese caso se adoptó dicha solución para resolver una problemática de erosión costera de características similares a las observadas en la zona de Comodoro Rivadavia.



8.2 Aspectos generales para el proyecto

Los parámetros de diseño resultan condicionados por las acciones que debe soportar la obra (aspectos estructurales) y el objetivo que se requiere de ella (consideraciones funcionales). Estos aspectos pueden resumirse en cinco:

- a) Localización y dimensiones de la obra
- b) Altura de ola que debe resistir
- c) Cota de coronamiento
- d) Tipo de fondo donde se asentará
- e) Aspectos técnico-económicos y ambientales

a) La localización de la obra de defensa que se propone comprende el sector costero que, según se prevé, quedará expuesto a las condiciones más desfavorables desde el punto de vista hidrodinámico luego de la prolongación de la Escollera Sur del puerto.

Como se mencionara anteriormente en este informe, la idea de proteger el pie del acantilado expuesto a la acción marina en situaciones donde se combinan niveles de mar extraordinarios y oleaje intenso tiene el propósito de fijar la posición de la línea de costa y dar protección a la infraestructura situada en zonas de riesgo.

Tal como se indica en la Figura 8.7, el tramo a proteger con una obra de desarrollo longitudinal abarca una franja costera de aproximadamente 750 m, extendiéndose de norte a sur desde una zona próxima al perfil 4 (pie de acantilado del predio de YPY protegido actualmente con escollera) hasta la inmediaciones del perfil 7, donde existe también en pequeño tramo de costa protegido por enrocado. De esta manera, la conexión de ambos sectores actualmente protegidos conseguiría dar continuidad al sistema de defensa del acantilado procurando asegurar su funcionalidad.

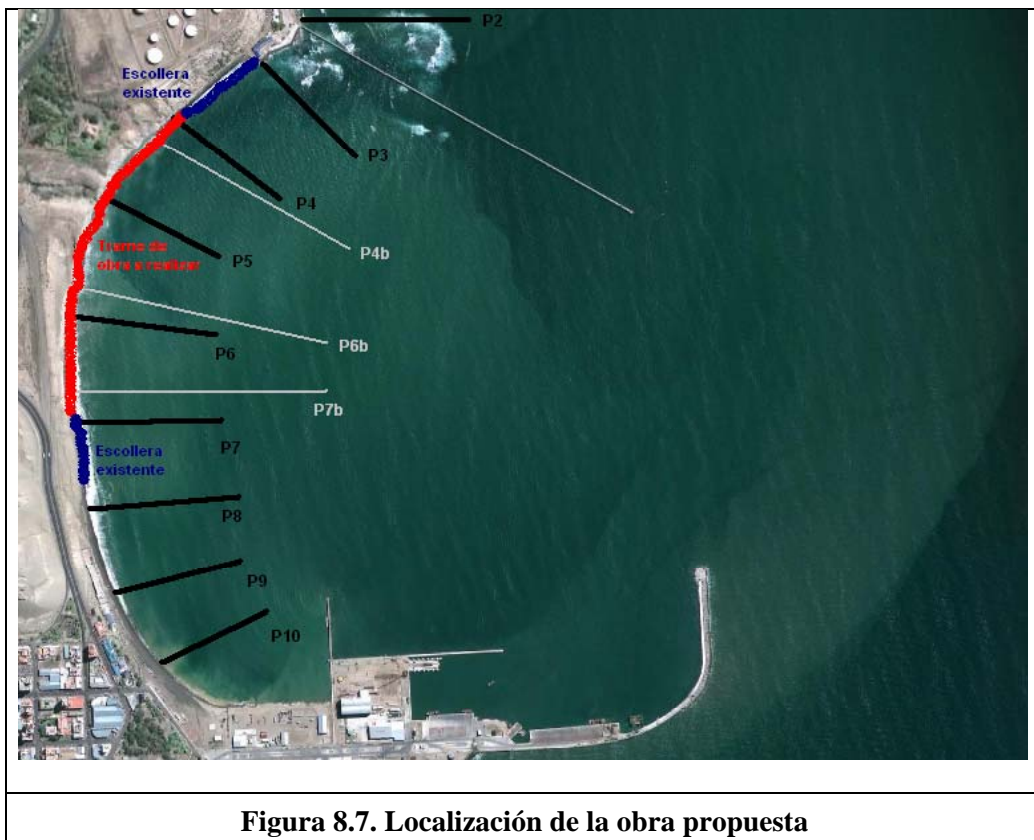


Figura 8.7. Localización de la obra propuesta

b) La altura de las olas incidentes sobre la obra de defensa constituye un parámetro de diseño fundamental para la definición de las características de la estructura, a partir del cual se seleccionan el tipo y tamaño de elemento resistente que conformará la protección.

Los resultados del análisis de condiciones hidrodinámicas señalaron que para el área de interés las situaciones de oleaje más severas son generadas por temporales extremos provenientes de las direcciones E y ESE. Dichos resultados son representados en las Figuras 8.8 a 8.10, en las cuales se graficaron las variaciones de Hs resultantes de la modelación a lo largo de perfiles de playa que representan la batimetría real de la zona de localización de las obras.

Los perfiles seleccionados: 4b, 6b, y 7 b; indicados en la Figura 8.7, corresponden a al relevamiento realizado por EVARSA en el año 2007. Los escenarios modelados que se presentan en las Figuras 8.8 a 8.10 corresponden a temporales de olas locales (Viento) y olas oceánicas (Swell) con períodos de retorno de TR=100 años y nivel del mar coincidente con la pleamar astronómica máxima, N=5.76 m MOP.

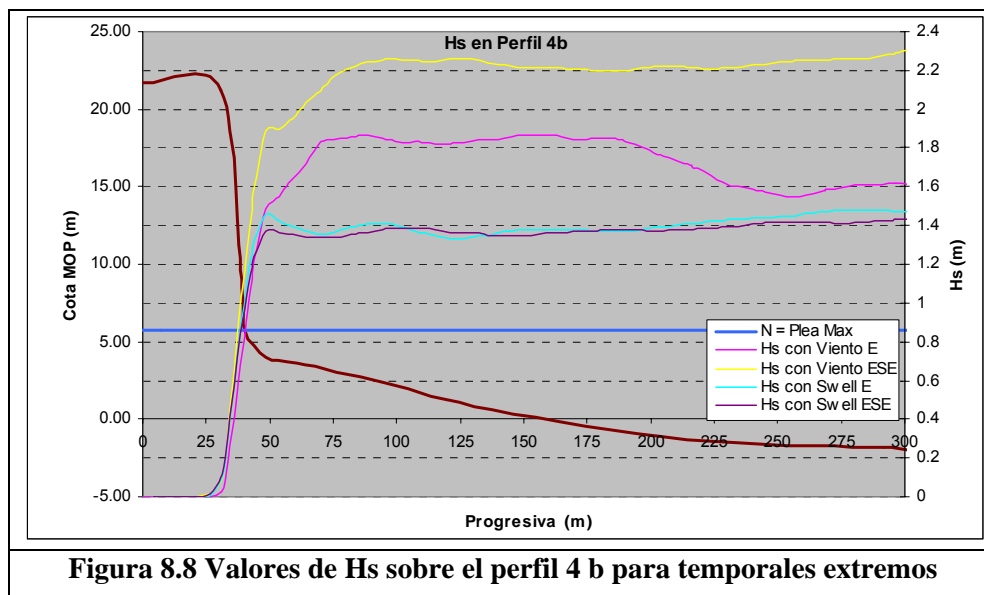




Figura 8.9 Valores de Hs sobre el perfil 6 b para temporales extremos

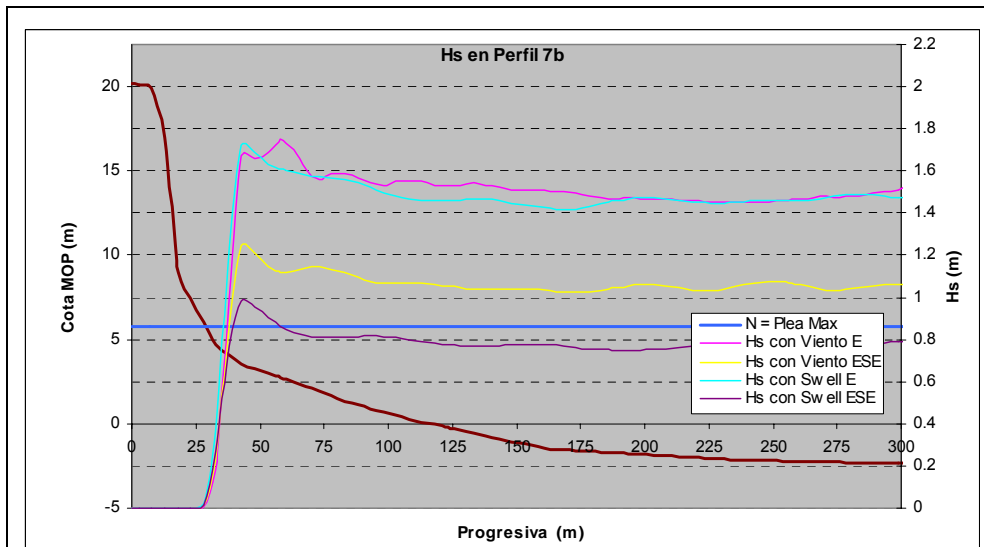


Figura 8.10. Valores de Hs sobre el perfil 7 b para temporales extremos

En estas figuras puede observarse que la combinación de temporales extremos y niveles extraordinarios de la marea permite la llegada de olas de altura considerable, con valores cercanos a los $H_s = 2$ m, hasta el pie mismo de los acantilados. Se destaca como condición más severa la situación correspondiente a las olas locales del ESE en el perfil 4b, donde se alcanza el valor máximo de $H_s = 1.90$ m.

c) La determinación de la cota de coronamiento de la obra requerirá la evaluación del máximo caudal de sobrepaso permitido, de manera de asegurar la estabilidad de los terrenos ubicados detrás de la obra de defensa, poniendo atención fundamentalmente en el compromiso estructural que pudiera generar un sobrepaso excesivo.

Para ello existen diversas formulaciones que permiten estimar el caudal de sobrepaso por olas según las condiciones del medio (nivel del mar, altura y período de las olas al pie de la estructura) y la cota de coronamiento adoptada. Este aspecto requerirá un análisis más detallado referido a influencia de efectos meteorológicos en situaciones de temporal sobre la definición de los valores del nivel del mar.

d) Desde el punto de vista de la fundación de la obra se prevé que los suelos de la zona de emplazamiento no presenten inconvenientes. La posibilidad de asentar la obra sobre el apoyo rígido provisto por el afloramiento rocoso (restinga) ofrece la ventaja de minimizar los asentamientos, asegurando la cota de coronamiento de la obra, al mismo tiempo que brinda protección del pie de la estructura frente al socavamiento por la acción marina.

e) La selección del tipo de protección más conveniente para materializar la obra (enrocado, elementos premoldeados, gaviones, u otros), en relación a su factibilidad desde el punto de vista técnico-económico, deberá considerar algunos de los aspectos destacados a continuación:

- Costo de la obra en función de la disponibilidad de materiales en la zona y de su traslado hasta el sitio de emplazamiento.
- Métodos constructivos y maquinarias a utilizar. Considerando especialmente la posibilidad de acceso de máquinas al área de trabajo.
- Minimizar el impacto ambiental en etapa constructiva (ruido, emisiones, etc).
- Factibilidad de instalación para un obrador. Teniendo en cuenta la posibilidad de requerimientos de consumo de agua y electricidad, como también espacio de acopio para materiales.
- La utilización de materiales naturales de la zona hacen que se satisfagan aspectos estéticos, visuales y paisajísticos.

9 CONCLUSIONES

El elaboración de este trabajo contempló fundamentalmente el desarrollo de las tareas de análisis de imágenes aéreas y modelación matemática de condiciones hidrodinámicas en el área costera de interés, las cuales pudieron complementarse satisfactoriamente para la evaluación del proceso de retroceso de la costa y la previsión del impacto de la prolongación de la Escollera Sur del Puerto de Comodoro Rivadavia.

El análisis de imágenes aéreas, aún con sus limitaciones, permitió observar la evolución histórica de la línea de costa y, a su vez, asociarla con las distintas configuraciones del puerto. El resultado de este análisis señaló que luego de la prolongación de la escollera (período 1995 - 2009) se produjo un considerable aumento de la tasa de retroceso en el sector norte y centro de la costa, mientras que en el sector sur se produjo un aumento de la tasa de acumulación.

Estos procesos no mantuvieron la misma velocidad de desarrollo, ya que en el período subsiguiente 2003-2009 las tasas de erosión y sedimentación fueron menores que las observadas en el período previo. Este hecho conduce a pensar que el cambio de configuración portuaria concretado en el año 1994 indujo al sistema costero a establecer una nueva situación de equilibrio entre la línea de costa y el clima de olas incidente alterado por las obras. Por otra parte, dentro de un contexto general de análisis, no puede dejar de considerarse el efecto erosivo generado por fenómenos meteorológicos, fundamentalmente viento y lluvias, los cuales constituyen importantes factores naturales de degradación de los acantilados costeros.

La modelación de condiciones hidrodinámicas para la franja costera permitió evaluar un amplio conjunto de escenarios asociados tanto a temporales frecuentes como a condiciones extremas de oleaje. Los resultados obtenidos para las tres diferentes configuraciones portuarias permitieron comparar valores de altura de ola y velocidades de corriente representativos de cada situación, lo cual permitió inducir tendencias referidas al posible movimiento de materiales sueltos.

La comparación de resultados obtenidos para la configuración Actual mostró que en líneas generales se produjo una reducción de la altura de ola en todo el frente costero en relación con la situación Antigua. El promedio global que representa esta reducción es del 4.5 % y del 8% para temporales frecuentes y extremo, respectivamente. Sin embargo, pudo establecerse que

para algunas situaciones los valores de Hs sufrieron incrementos importantes al realizarse la primera extensión de la escollera, como ser en la zona de los perfiles 6 y 8 para escenarios Swell SE y E, respectivamente; pudo establecerse que además esa obra indujo aumentos significativos en valores de corrientes para los temporales de viento en los perfiles 5 y 6. Estos resultados presentaron una buena consistencia con las observaciones obtenidas del análisis de imágenes aéreas, donde se destacaron sectores de erosión y acumulación de sedimentos que coincidieron con las tendencias señaladas en la modelación hidrodinámica.

Por medio de estas evaluaciones se prevé que la configuración proyectada con 400 m de extensión en dirección norte, reduzca considerablemente los valores de Hs respecto de la configuración Actual sobre todo el frente costero, con valores de promedio global de 16 y 19 % para temporales frecuentes y extremos, respectivamente. Como caso excepcional podría producirse un incremento local en la altura de ola para el perfil 4 en situaciones de oleaje extremo de Viento E. Los resultados también señalan que la corriente inducida por el oleaje puede sufrir un leve incremento en la zona de restinga (perfil 3) en el caso de Swell frecuente del ESE, y de Viento extremo del E sobre los perfiles 4 y 6.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el proyecto de prolongación de la escollera Sur del Puerto de Comodoro Rivadavia presenta, en términos generales, características beneficiosas para la protección del frente costero analizado, reduciendo en forma considerable la exposición de tramos de costa vulnerables frente a la acción de condiciones hidrodinámicas de características erosivas.

A pesar de estos beneficios generados por la obra portuaria al aumentar el resguardo del tramo costero contiguo al puerto, ello no será suficiente para el control total de los procesos erosivos inducidos naturalmente por la acción del mar y agentes meteorológicos. Consecuentemente, las evaluaciones desarrolladas en este informe señalaron la conveniencia de la materialización de una obra de defensa longitudinal del orden de 800 m destinada a proteger el pie del acantilado en el sector más expuesto de la costa.

10 REFERENCIAS

Instituto Nacional del Agua (2008). "Puerto de Comodoro Rivadavia: Estudio Mediante Modelación Matemática de Nuevas Obras de Abrigo. Parte 2 - Agitación en el Interior del Puerto". Informe LHA- 273-02-08.

EVARSA (2007). Relevamientos Taquimétrico y Batimétrico en una zona costera desde el Puerto de Comodoro Rivadavia hasta Barrio Ptr. Ortiz.

Nwogu, O. G. y Zeki D (2001). "BOUSS-2D: A Boussinesq Wave Model for Coastal Regions and Harbors". Report 1: Theoretical Background and User's Manual.

Soulsby, R. (1997). "Dynamics of marine sands". HR Wallingford.

Codignotto J. O. y del Valle M. C., (1995). Evaluación cualitativa de los factores de riesgo geológico en Rada Tilly, Chubut, Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, Buenos Aires, IX: 64-77.

ANEXO I. Valores de altura de ola e intensidad de la corriente para el tramo costero modelado

En el siguiente anexo se presentan los resultados de la modelación matemática para la zona de estudio. Cada tabla se encuentra referida a una de las tres configuraciones evaluadas, y en ellas se muestra el valor máximo de altura de ola significativa, o velocidad de la corriente, obtenida sobre cada perfil para los distintos escenarios analizados.

Se diferencia además entre los casos evaluados con nivel medio y con pleamar media correspondientes a escenarios frecuentes de oleaje, y por otra parte los escenarios de oleaje extremo evaluados con pleamar máxima.

1) ALTURA DE OLA SIGNIFICATIVA PARA ESCENARIOS FRECUENTES

Tabla 1.1: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación. Configuración Antigua - Nivel Medio

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.66	1.15	0.50	0.22	0.18	0.22	0.15	0.29	0.30	0.17
Viento E	1.06	1.04	1.17	0.62	0.73	0.91	1.10	1.51	0.46	0.43
Viento SE	0.92	0.90	1.16	1.09	1.17	1.40	0.78	0.53	0.20	0.21
Viento SSE	0.12	0.49	0.72	0.38	0.16	0.14	0.13	0.08	0.04	0.05
Swell E	1.01	1.48	1.28	0.67	0.76	1.15	1.52	2.01	0.55	0.45
Swell ESE	1.60	1.29	1.18	1.16	1.32	1.62	1.74	1.88	0.89	1.11
Swell SE	0.88	1.19	1.30	1.02	1.08	1.48	1.20	0.59	0.23	0.27

Tabla 1.2: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación. Configuración Actual - Nivel Medio

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.63	1.10	0.47	0.19	0.19	0.28	0.18	0.33	0.31	0.20
Viento E	0.81	1.06	1.19	0.52	0.62	0.82	1.10	1.46	0.35	0.28
Viento SE	1.00	0.90	1.10	1.02	0.71	1.06	0.59	0.22	0.14	0.09
Viento SSE	0.26	0.77	0.24	0.18	0.07	0.13	0.07	0.05	0.08	0.04
Swell E	1.05	1.48	1.26	0.68	0.80	1.21	1.71	2.11	0.70	0.41
Swell ESE	1.62	1.23	1.18	1.10	1.37	1.76	1.72	1.28	0.38	0.27
Swell SE	0.95	1.25	1.29	0.97	0.81	1.12	0.83	0.44	0.14	0.12

Tabla 1.3: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación. Configuración Proyectada - Nivel Medio

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.64	1.15	0.49	0.24	0.21	0.35	0.19	0.33	0.25	0.08
Viento E	0.80	1.08	1.10	0.44	0.42	0.67	0.84	0.34	0.08	0.04
Viento SE	1.06	0.87	0.95	0.29	0.15	0.23	0.16	0.08	0.10	0.06
Viento SSE	0.31	0.81	0.21	0.07	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
Swell E	1.02	1.51	1.23	0.69	0.87	1.36	1.49	0.89	0.43	0.18
Swell ESE	1.75	1.27	1.13	0.92	0.84	0.95	0.65	0.38	0.25	0.14
Swell SE	0.92	1.19	0.96	0.26	0.16	0.22	0.16	0.13	0.11	0.08

Tabla 1.4: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación. Configuración Antigua - Pleamar Media

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.60	1.18	1.61	0.53	0.33	0.28	0.19	0.27	0.30	0.23
Viento E	0.64	2.08	1.57	0.48	0.51	0.63	0.77	0.89	0.30	0.47
Viento SE	1.49	1.64	1.88	1.26	1.08	0.90	0.69	0.37	0.17	0.15
Viento SSE	0.52	0.98	0.58	0.23	0.12	0.11	0.09	0.07	0.03	0.04
Swell E	1.26	2.37	2.46	0.86	0.82	1.00	1.47	1.66	0.55	0.67
Swell ESE	1.89	2.13	2.36	1.25	1.35	1.56	1.80	1.87	1.00	0.98
Swell SE	1.56	1.40	2.00	1.08	1.01	1.21	0.83	0.42	0.22	0.21

**Tabla 1.5: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación.
Configuración Actual - Pleamar Media**

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.52	1.31	1.53	0.54	0.38	0.30	0.23	0.31	0.30	0.25
Viento E	0.71	2.03	1.49	0.49	0.52	0.62	0.78	1.04	0.26	0.33
Viento SE	1.71	1.76	1.88	1.08	0.82	0.53	0.39	0.13	0.08	0.08
Viento SSE	1.42	1.01	0.32	0.11	0.08	0.06	0.04	0.04	0.02	0.02
Swell E	1.19	2.28	2.28	0.90	1.00	1.25	1.71	2.05	0.53	0.48
Swell ESE	1.70	2.17	2.33	1.32	1.71	1.91	1.58	1.00	0.30	0.30
Swell SE	1.96	1.63	1.87	0.89	0.97	0.80	0.54	0.38	0.13	0.12

**Tabla 1.6: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación.
Configuración Proyectada - Pleamar Media**

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.45	1.15	1.63	0.56	0.43	0.39	0.28	0.33	0.23	0.09
Viento E	0.75	2.03	1.46	0.52	0.47	0.71	0.58	0.29	0.08	0.03
Viento SE	1.78	1.69	1.11	0.49	0.26	0.26	0.25	0.11	0.09	0.06
Viento SSE	0.78	0.58	0.16	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
Swell E	1.20	2.28	2.29	0.90	1.10	1.40	1.28	0.87	0.30	0.15
Swell ESE	1.90	2.13	2.35	1.02	1.00	0.75	0.49	0.39	0.20	0.15
Swell SE	1.90	1.58	1.42	0.44	0.37	0.24	0.26	0.21	0.13	0.08

2) INTENSIDAD DE CORRIENTE PARA ESCENARIOS FRECUENTES

**Tabla 2.1: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Antigua - Nivel Medio**

Escenario	Intensidad de corriente (m/s)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.10	0.13	0.12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Viento E	0.18	0.49	0.27	0.08	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03
Viento SE	0.21	0.37	0.28	0.11	0.08	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01
Viento SSE	0.02	0.05	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.32	0.53	0.43	0.26	0.08	0.08	0.11	0.04	0.14	0.10
Swell ESE	0.42	0.69	0.51	0.53	0.19	0.12	0.15	0.07	0.17	0.32
Swell SE	0.21	0.38	0.40	0.17	0.12	0.08	0.13	0.01	0.06	0.03

**Tabla 2.2: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Actual - Nivel Medio**

Escenario	Intensidad de corriente (m/s)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.04	0.14	0.12	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Viento E	0.12	0.50	0.25	0.02	0.01	0.03	0.03	0.11	0.02	0.02
Viento SE	0.23	0.45	0.36	0.13	0.04	0.08	0.02	0.01	0.01	0.01
Viento SSE	0.04	0.18	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.22	0.55	0.42	0.25	0.05	0.13	0.17	0.21	0.06	0.06
Swell ESE	0.42	0.71	0.51	0.47	0.20	0.17	0.17	0.14	0.04	0.04
Swell SE	0.24	0.50	0.44	0.18	0.05	0.11	0.06	0.04	0.01	0.01

**Tabla 2.3: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Proyectada - Nivel Medio**

Escenario	Intensidad de corriente (m/s)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.05	0.25	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Viento E	0.08	0.40	0.20	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Viento SE	0.24	0.48	0.25	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Viento SSE	0.02	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.23	0.57	0.41	0.26	0.07	0.16	0.16	0.10	0.02	0.02
Swell ESE	0.42	0.72	0.57	0.53	0.08	0.09	0.05	0.02	0.01	0.02
Swell SE	0.25	0.42	0.33	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00

**Tabla 2.4: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Antigua - Pleamar Media**

Escenario	Intensidad de corriente (m/s)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	0.02	0.14	0.27	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Viento SE	0.86	0.33	0.60	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Viento SSE	0.02	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.10	0.25	0.73	0.34	0.03	0.07	0.08	0.14	0.01	0.02
Swell ESE	0.98	0.88	0.65	0.49	0.10	0.08	0.15	0.21	0.06	0.06
Swell SE	0.82	0.53	0.72	0.04	0.03	0.13	0.08	0.02	0.00	0.01

**Tabla 2.5: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Actual - Pleamar Media**

Intensidad de corriente (m/s)										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.03	0.16	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	0.03	0.18	0.37	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01
Viento SE	0.69	0.46	0.73	0.08	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
Viento SSE	0.05	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.19	0.20	0.88	0.36	0.08	0.18	0.25	0.15	0.02	0.02
Swell ESE	1.03	0.91	0.87	0.30	0.21	0.33	0.21	0.05	0.03	0.02
Swell SE	0.74	0.56	0.75	0.08	0.07	0.05	0.05	0.02	0.01	0.01

**Tabla 2.6: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Proyectada - Pleamar Media**

Intensidad de corriente (m/s)										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	0.03	0.15	0.41	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Viento SE	0.63	0.34	0.56	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento SSE	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.19	0.19	0.90	0.35	0.10	0.21	0.19	0.09	0.01	0.01
Swell ESE	0.92	0.96	1.01	0.42	0.09	0.08	0.03	0.01	0.02	0.01
Swell SE	0.71	0.62	0.75	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00

3) ALTURA DE OLA SIGNIFICATIVA PARA ESCENARIOS EXTREMOS

**Tabla 3.1: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación.
Configuración Antigua - Pleamar Máxima**

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.98	3.03	2.61	2.61	1.49	1.72	1.45	1.74	1.91	1.54
Viento E	2.79	2.94	2.28	2.88	2.19	2.49	3.60	3.42	1.73	1.58
Viento ESE	2.61	2.84	2.12	2.65	3.05	3.49	3.88	3.45	1.99	1.49
Viento SE	2.30	2.40	2.43	2.78	2.56	2.84	2.19	1.24	0.63	0.55
Swell ENE	0.45	1.53	1.90	1.46	0.66	0.85	0.65	0.84	0.84	0.61
Swell E	1.90	2.75	2.38	1.78	1.42	1.76	2.21	2.39	1.14	1.05
Swell ESE	2.62	2.83	2.48	2.15	2.20	2.66	2.97	2.52	1.29	0.98
Swell SE	2.45	2.39	2.59	1.86	1.83	2.03	1.60	0.96	0.41	0.34

**Tabla 3.2: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación.
Configuración Actual - Pleamar Máxima**

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	1.58	3.03	2.64	2.61	1.40	1.56	1.58	1.95	2.13	1.61
Viento E	2.51	2.98	2.30	2.52	2.21	2.54	3.28	3.38	1.43	1.25
Viento ESE	3.01	2.68	1.94	2.78	3.28	3.43	2.84	1.85	0.74	0.61
Viento SE	2.42	2.67	2.45	1.98	1.72	1.68	1.21	0.82	0.40	0.32
Swell ENE	0.59	1.46	1.78	1.62	0.91	0.79	0.65	0.94	1.04	0.69
Swell E	1.76	2.85	2.40	1.74	1.53	1.78	2.44	2.55	1.05	0.70
Swell ESE	2.82	2.85	2.31	2.11	2.29	2.51	1.95	1.37	0.57	0.44
Swell SE	2.58	2.38	2.81	1.49	1.49	1.37	1.00	0.71	0.35	0.28

**Tabla 3.3: Valor máximo de altura de ola significativa en cada perfil de observación.
Configuración Proyectada - Pleamar Máxima**

Escenario	Hs (m)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	1.80	3.11	2.69	2.62	1.38	1.54	1.58	2.06	1.72	0.69
Viento E	2.57	3.32	2.42	2.96	2.45	2.71	2.34	1.60	0.75	0.32
Viento ESE	3.00	2.70	2.08	2.37	1.85	1.46	0.97	0.64	0.38	0.28
Viento SE	2.53	2.76	2.31	0.92	0.82	0.50	0.50	0.37	0.30	0.21
Swell ENE	0.64	1.44	1.85	1.62	0.87	0.74	0.71	1.11	0.65	0.26
Swell E	1.76	2.98	2.50	1.76	1.72	1.81	1.55	1.21	0.49	0.30
Swell ESE	2.75	2.78	2.28	1.73	1.33	1.20	0.83	0.65	0.36	0.25
Swell SE	2.62	2.40	2.37	1.03	0.56	0.41	0.37	0.33	0.24	0.17

4) INTENSIDAD DE CORRIENTE PARA ESCENARIOS EXTREMOS

**Tabla 4.1: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Antigua - Pleamar Máxima**

Escenario	Intensidad de corriente (m/s)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.08	0.22	0.68	0.68	0.10	0.14	0.04	0.03	0.04	0.03
Viento E	1.02	0.98	0.83	0.97	0.24	0.13	0.21	0.17	0.09	0.04
Viento ESE	0.69	0.92	0.94	0.61	0.35	0.16	0.37	0.26	0.11	0.09
Viento SE	0.65	0.71	0.71	0.88	0.31	0.26	0.20	0.11	0.04	0.03
Swell ENE	0.05	0.12	0.45	0.20	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.02
Swell E	0.60	0.56	0.84	0.81	0.12	0.13	0.10	0.15	0.09	0.11
Swell ESE	0.79	0.64	0.71	0.71	0.42	0.31	0.45	0.20	0.25	0.10
Swell SE	0.61	0.46	0.56	0.58	0.11	0.20	0.22	0.10	0.02	0.02

**Tabla 4.2: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Actual - Pleamar Máxima**

Escenario	Intensidad de corriente (m/s)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.16	0.35	0.66	0.74	0.17	0.21	0.23	0.05	0.14	0.06
Viento E	0.94	0.88	1.05	0.66	0.77	0.51	0.47	0.24	0.26	0.04
Viento ESE	0.57	0.80	0.92	0.57	0.67	0.52	0.33	0.09	0.12	0.04
Viento SE	0.53	0.66	0.86	0.72	0.47	0.29	0.16	0.04	0.07	0.03
Swell ENE	0.02	0.10	0.35	0.32	0.10	0.04	0.06	0.09	0.10	0.02
Swell E	0.81	0.54	1.07	0.85	0.32	0.26	0.31	0.07	0.11	0.02
Swell ESE	0.68	0.50	0.57	0.62	0.43	0.32	0.30	0.06	0.09	0.03
Swell SE	0.54	0.59	0.67	0.47	0.20	0.11	0.13	0.03	0.05	0.01

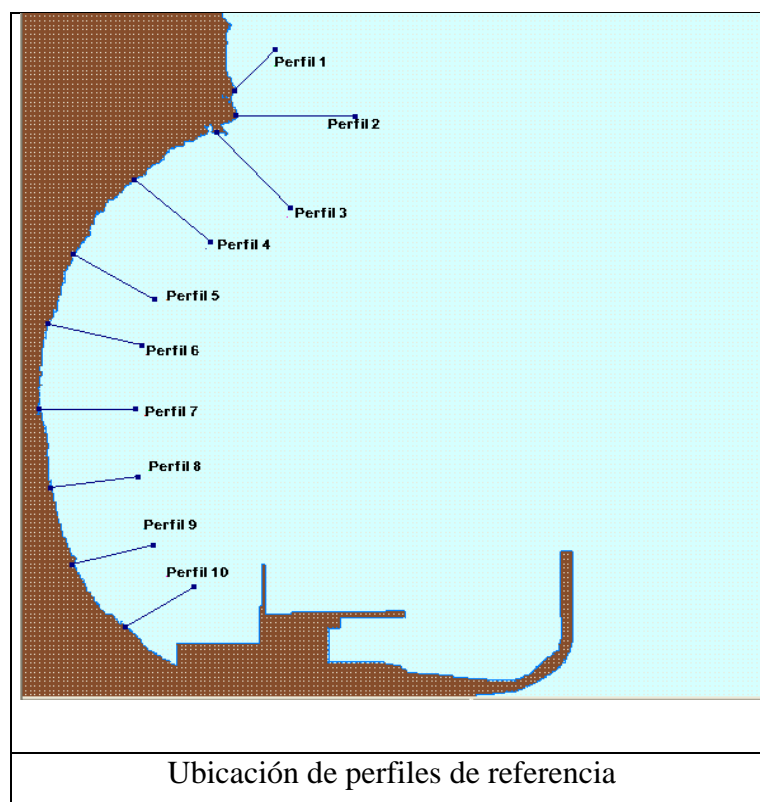
**Tabla 4.3: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación.
Configuración Proyectada - Pleamar Máxima**

Escenario	Intensidad de corriente (m/s)									
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.12	0.53	0.67	0.69	0.19	0.27	0.28	0.10	0.10	0.01
Viento E	0.93	0.84	1.04	0.80	0.69	0.65	0.57	0.44	0.07	0.04
Viento ESE	0.59	0.87	1.01	0.64	0.53	0.34	0.18	0.07	0.10	0.03
Viento SE	0.45	0.70	0.72	0.45	0.10	0.05	0.03	0.02	0.04	0.01
Swell ENE	0.01	0.11	0.28	0.32	0.09	0.07	0.03	0.11	0.04	0.00
Swell E	0.92	0.57	1.11	0.94	0.34	0.27	0.27	0.07	0.06	0.02
Swell ESE	0.62	0.48	0.68	0.66	0.25	0.14	0.10	0.04	0.06	0.02
Swell SE	0.41	0.44	0.78	0.24	0.06	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01

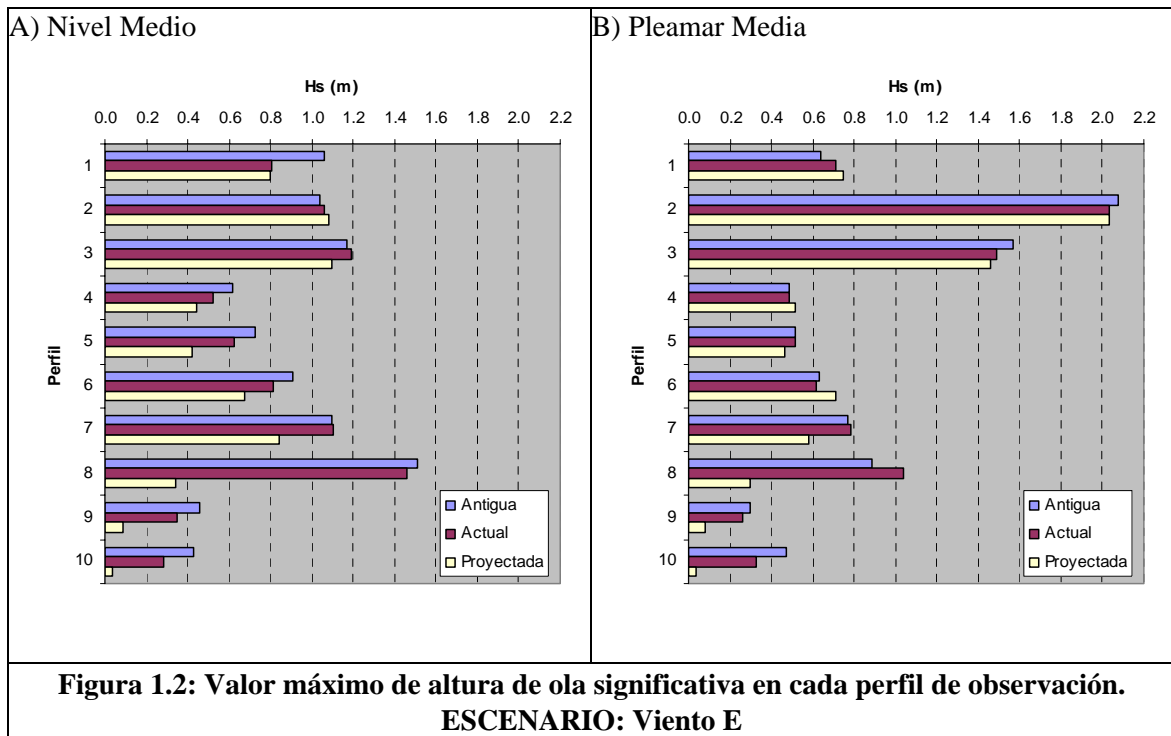
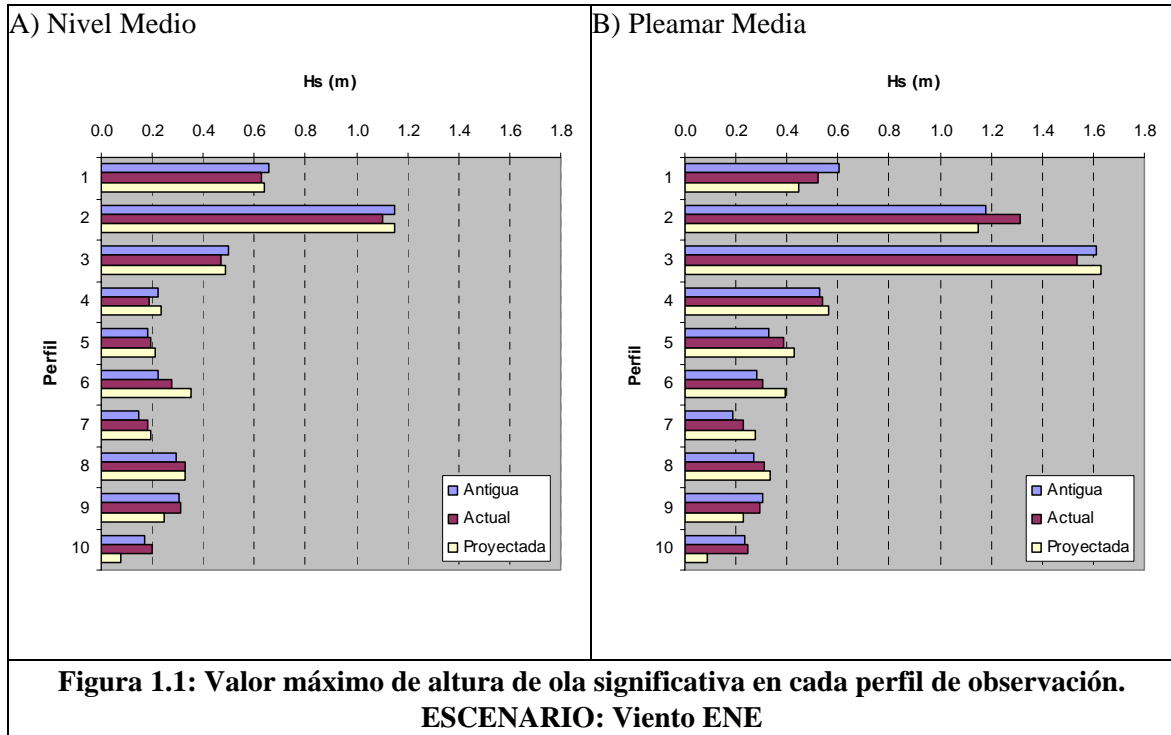
ANEXO II. Comparación de valores altura de ola e intensidad de la corriente para las configuraciones de planta portuaria analizadas

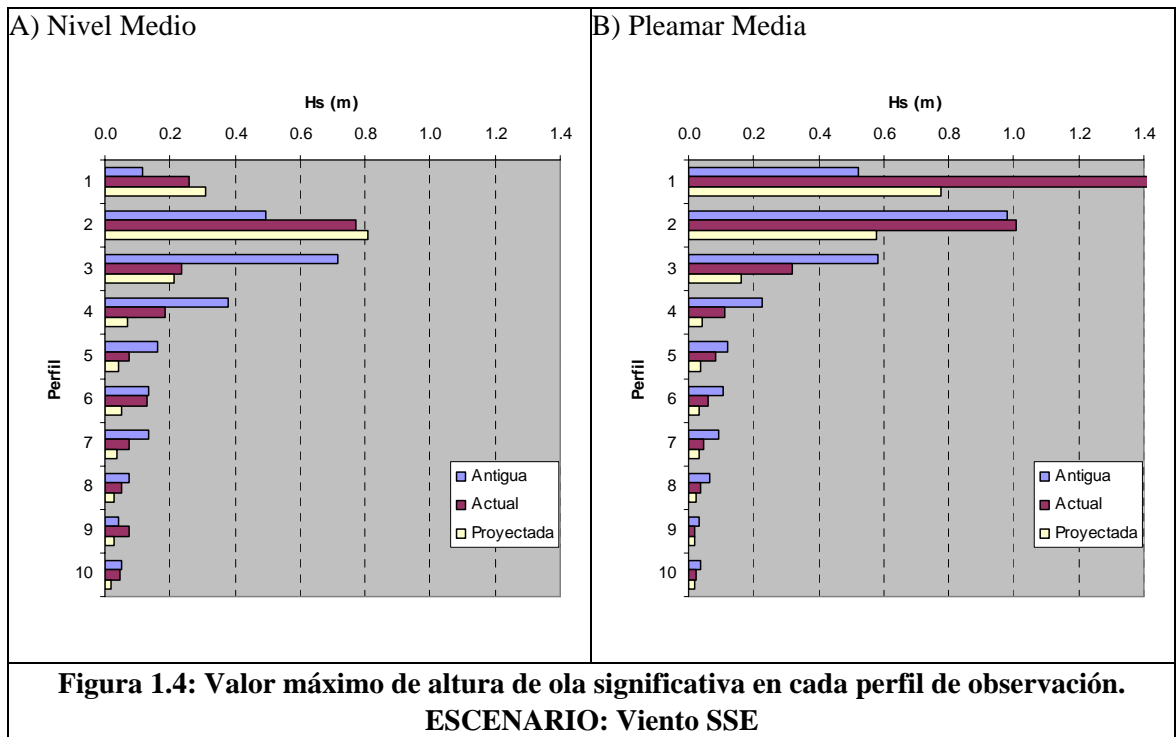
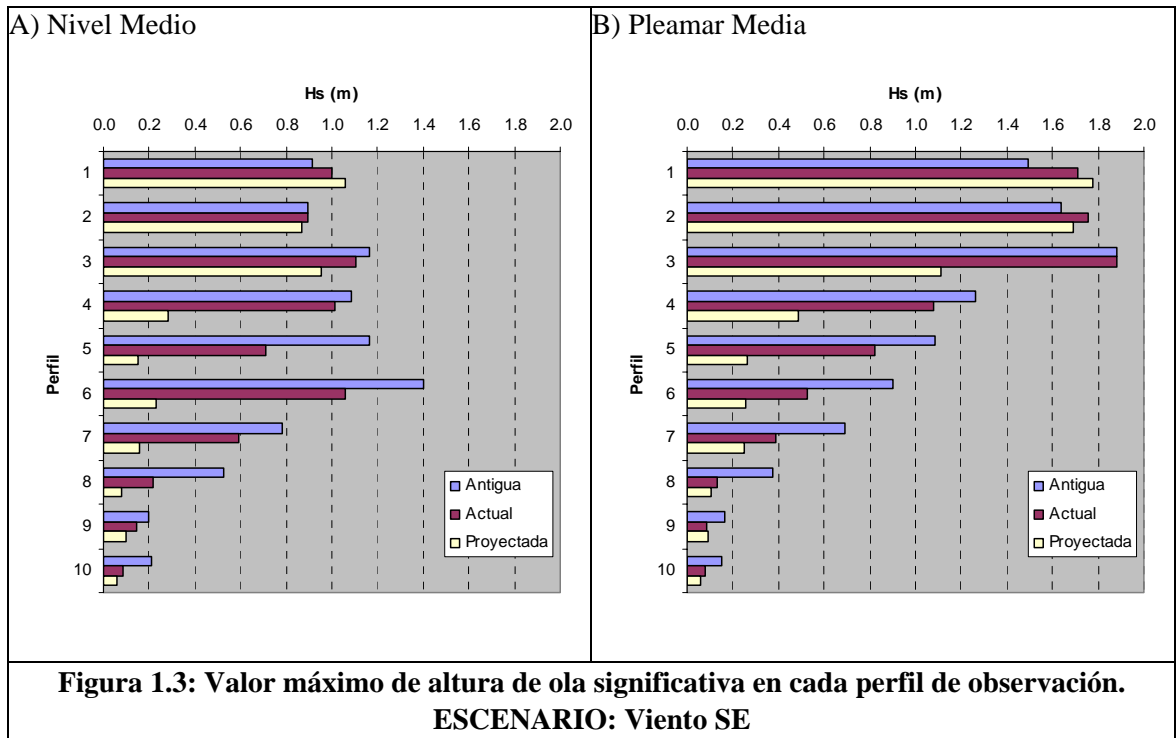
En el siguiente anexo se muestran los gráficos que resultan de las tablas presentadas en el anexo anterior. Dichos gráficos representan el valor máximo de altura de ola e intensidad de la corriente en los perfiles de observación (ver figura), para distintos escenarios y niveles de mar.

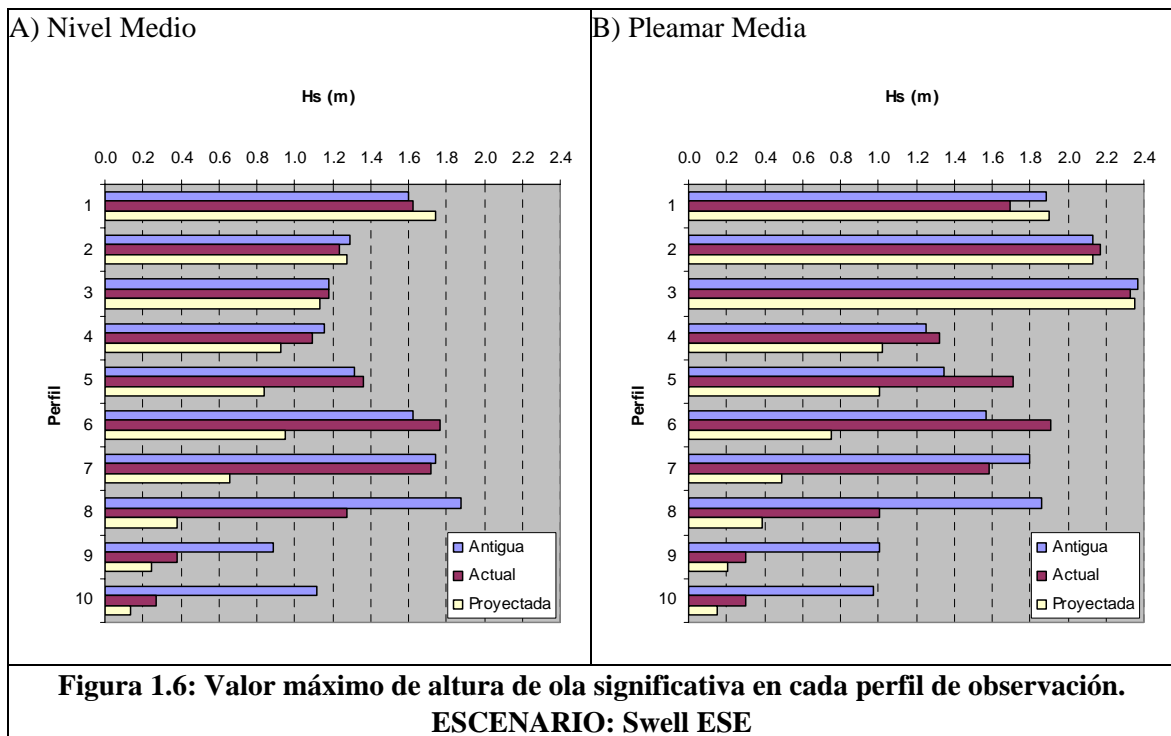
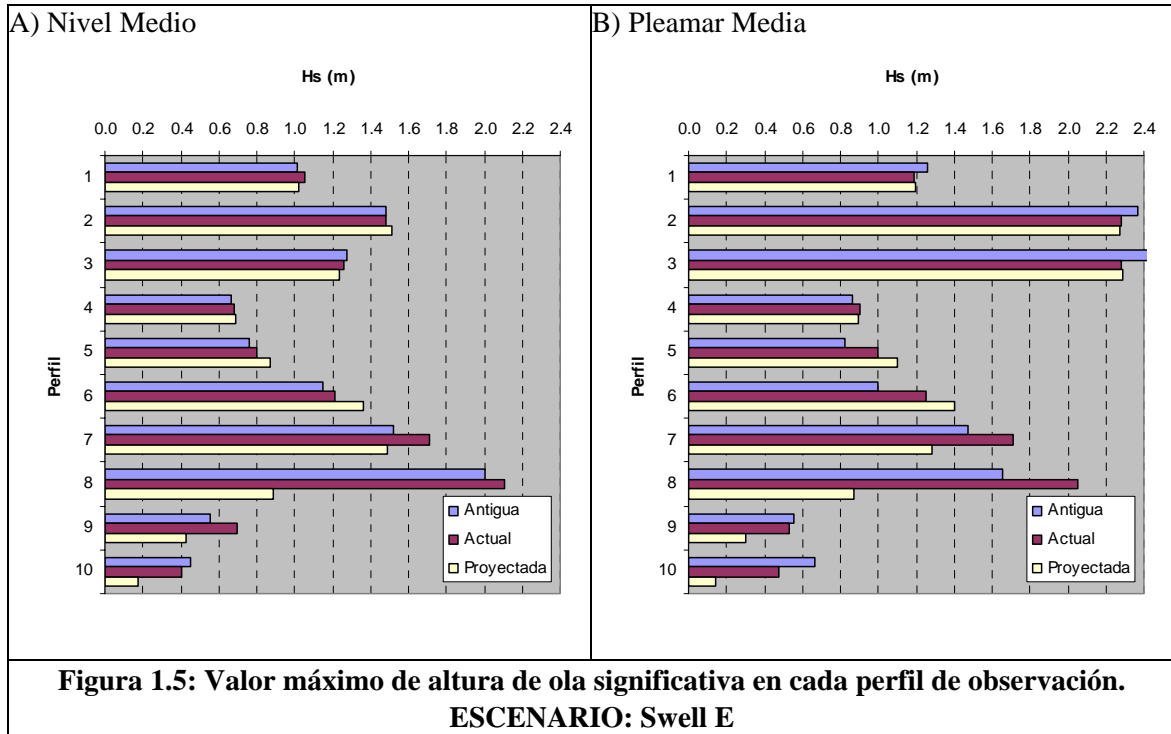
Las configuraciones de planta portuaria analizadas fueron denominadas de acuerdo al orden cronológico como: Antigua, Actual, y Proyectada.

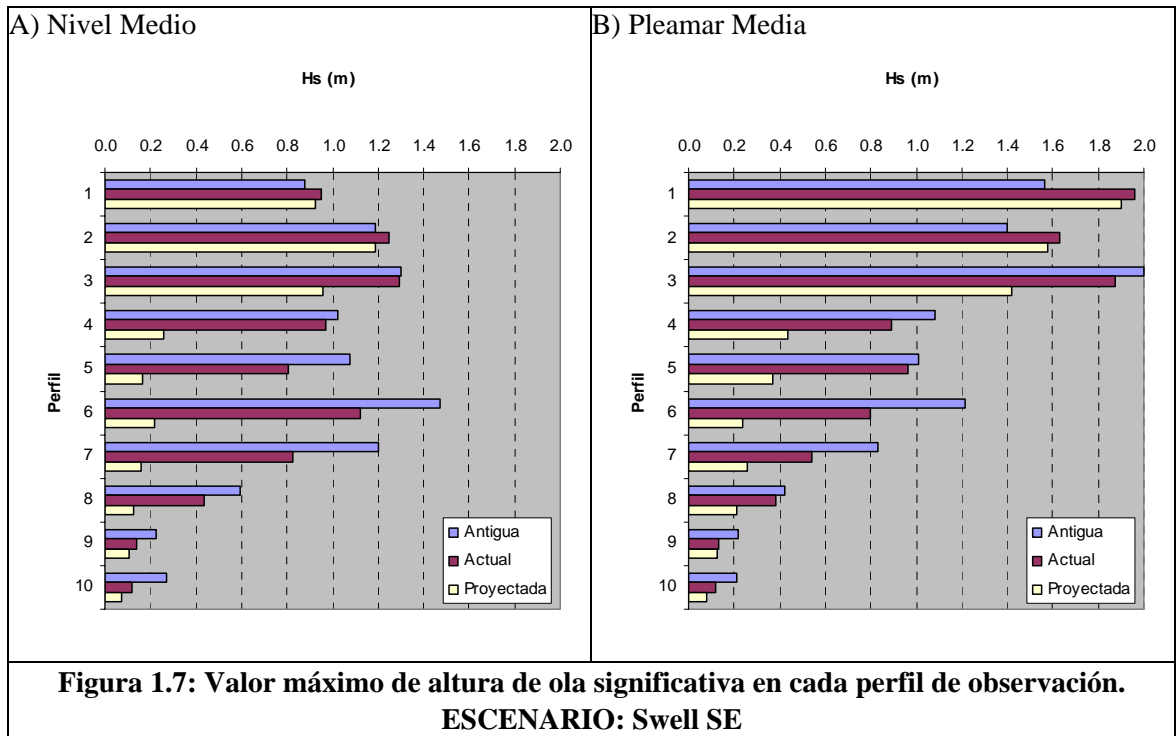


1) ALTURA DE OLA SIGNIFICATIVA PARA ESCENARIOS FRECUENTES

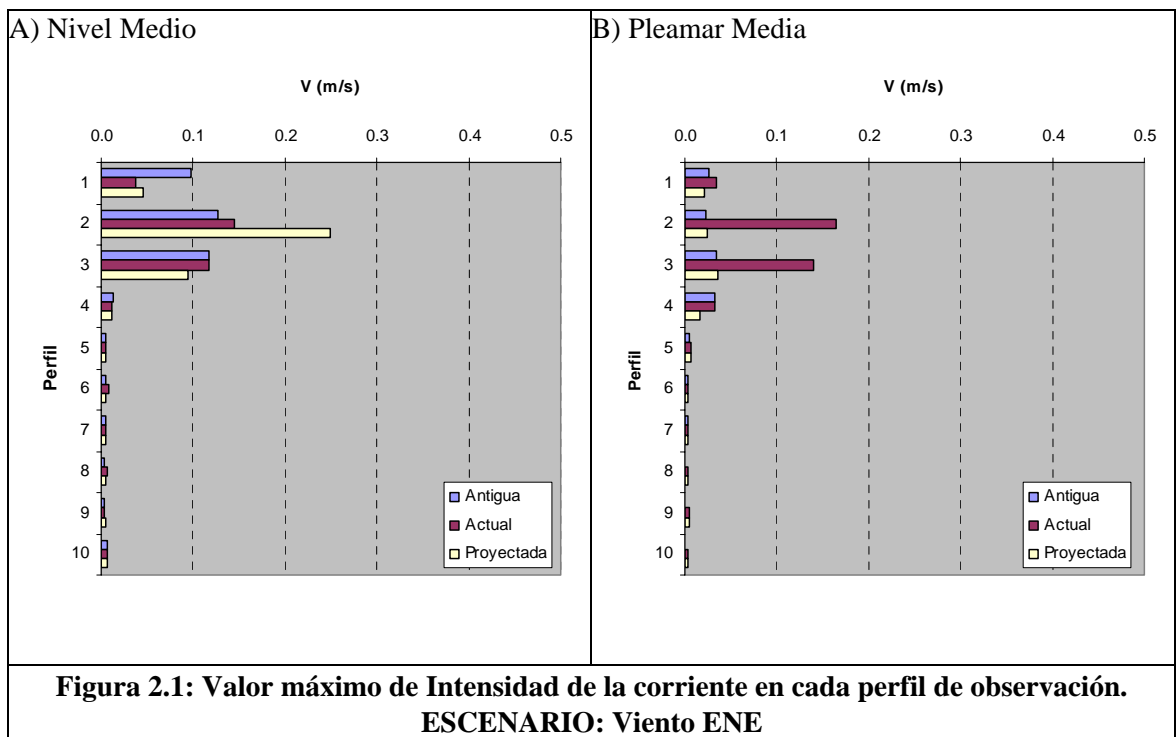


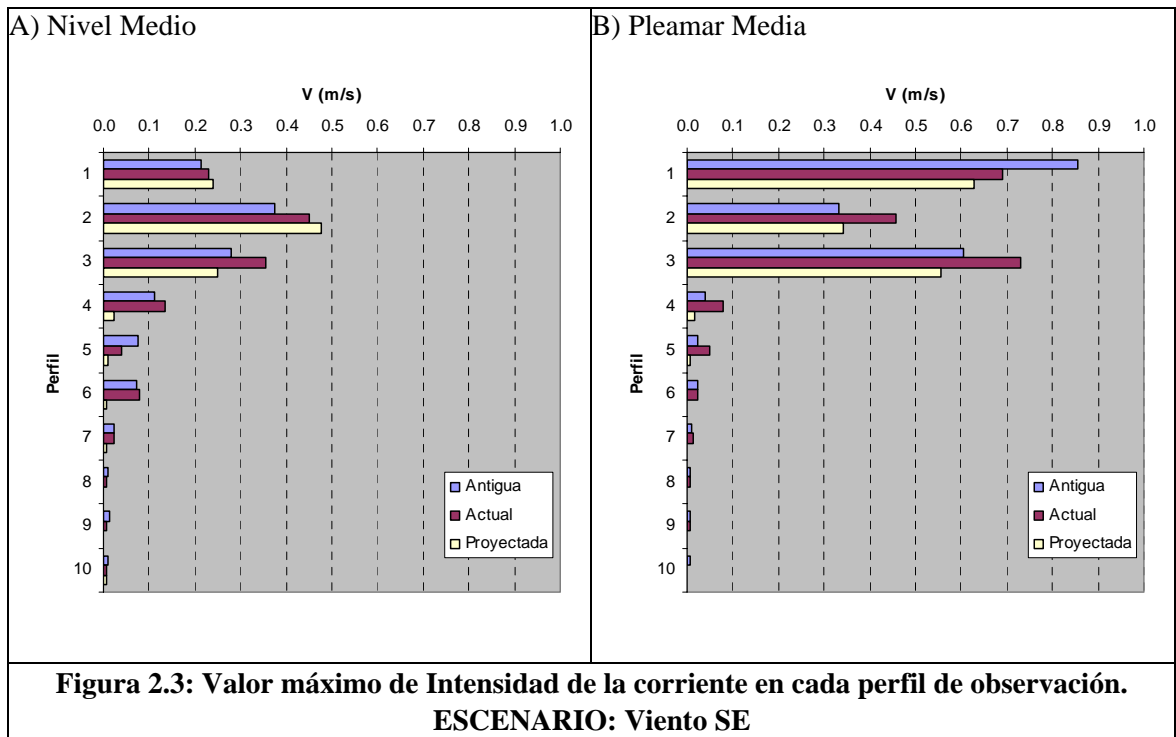
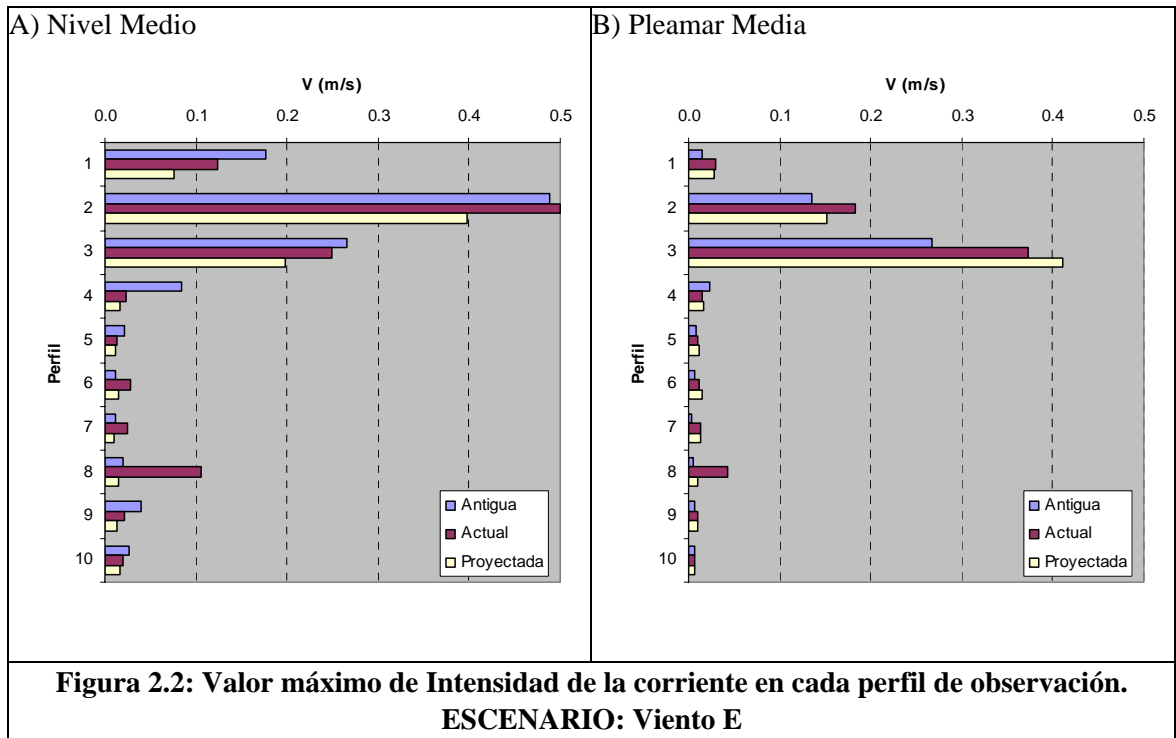


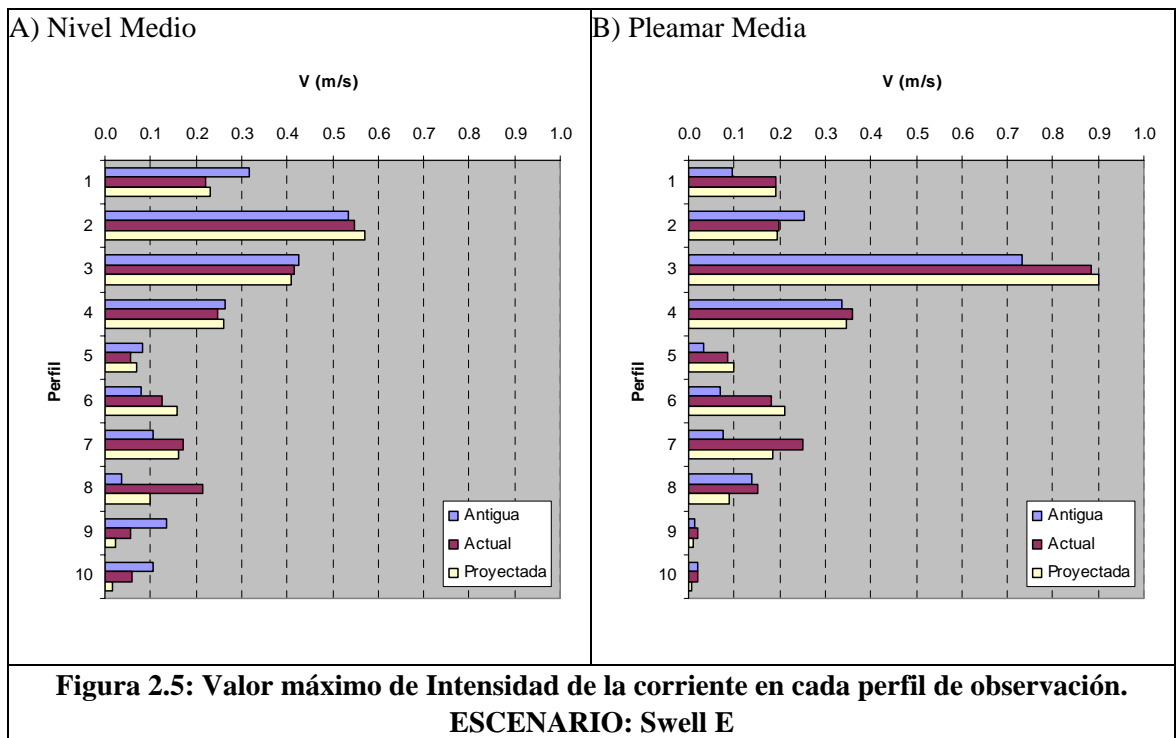
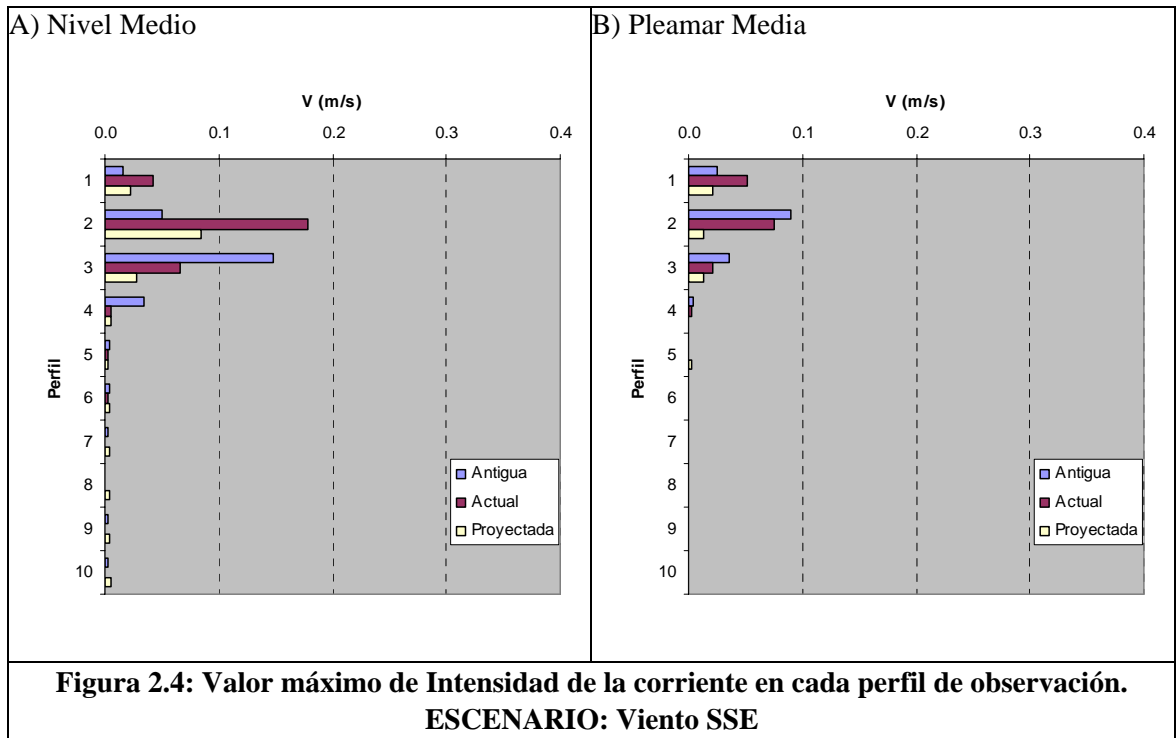


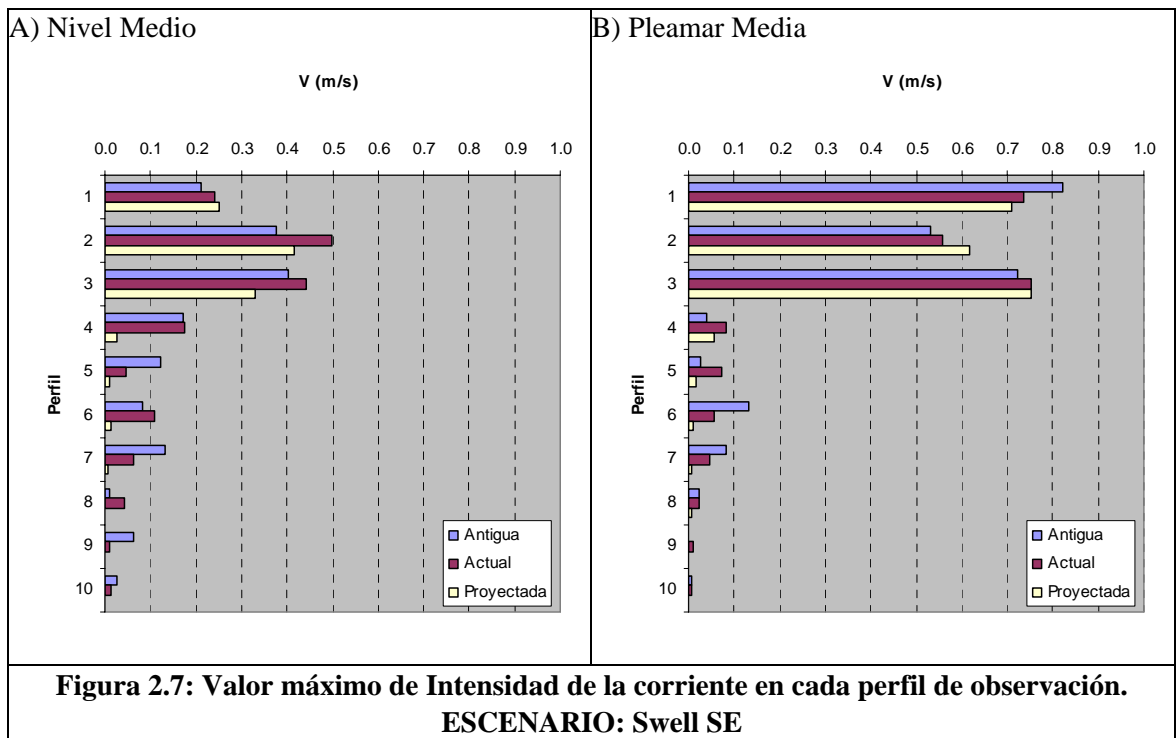
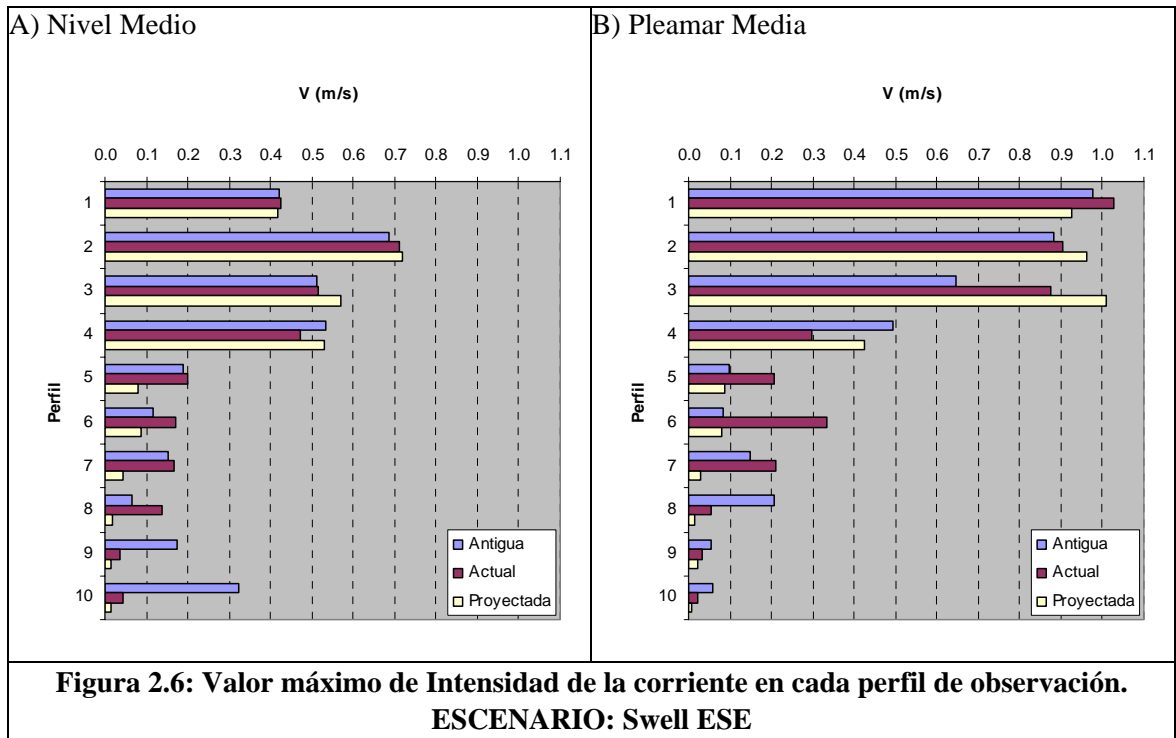


2) INTENSIDAD DE LA CORRIENTE PARA ESCENARIOS FRECUENTES

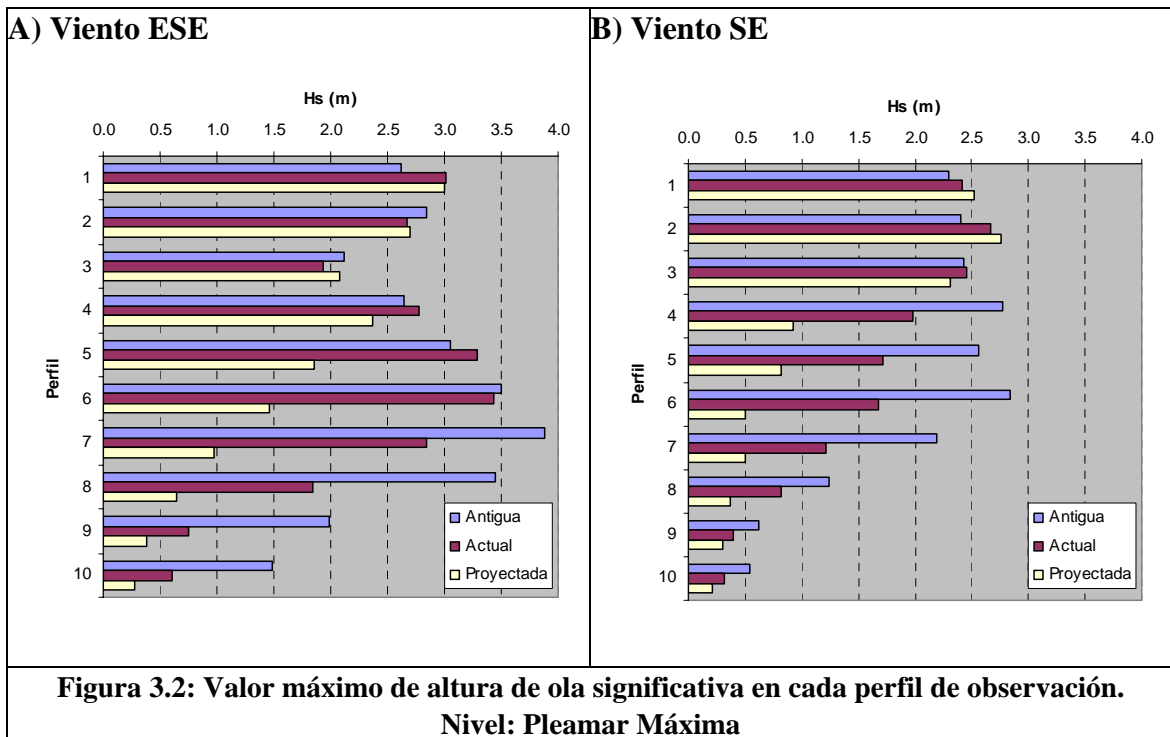
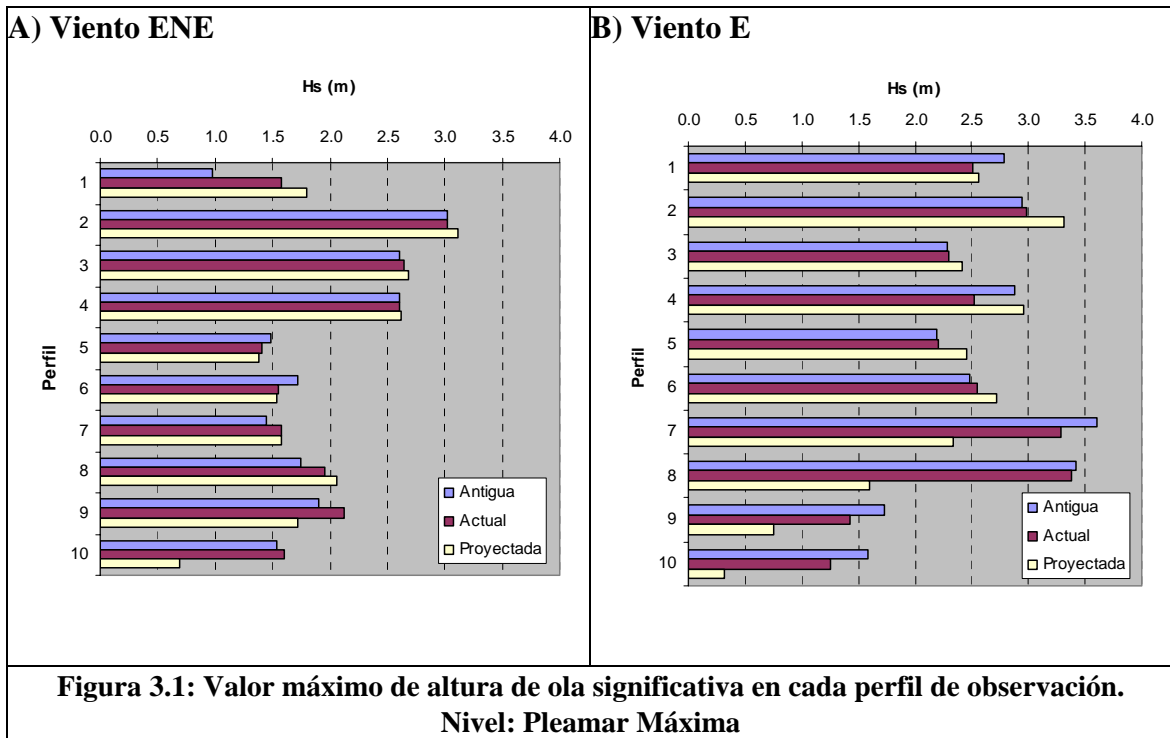


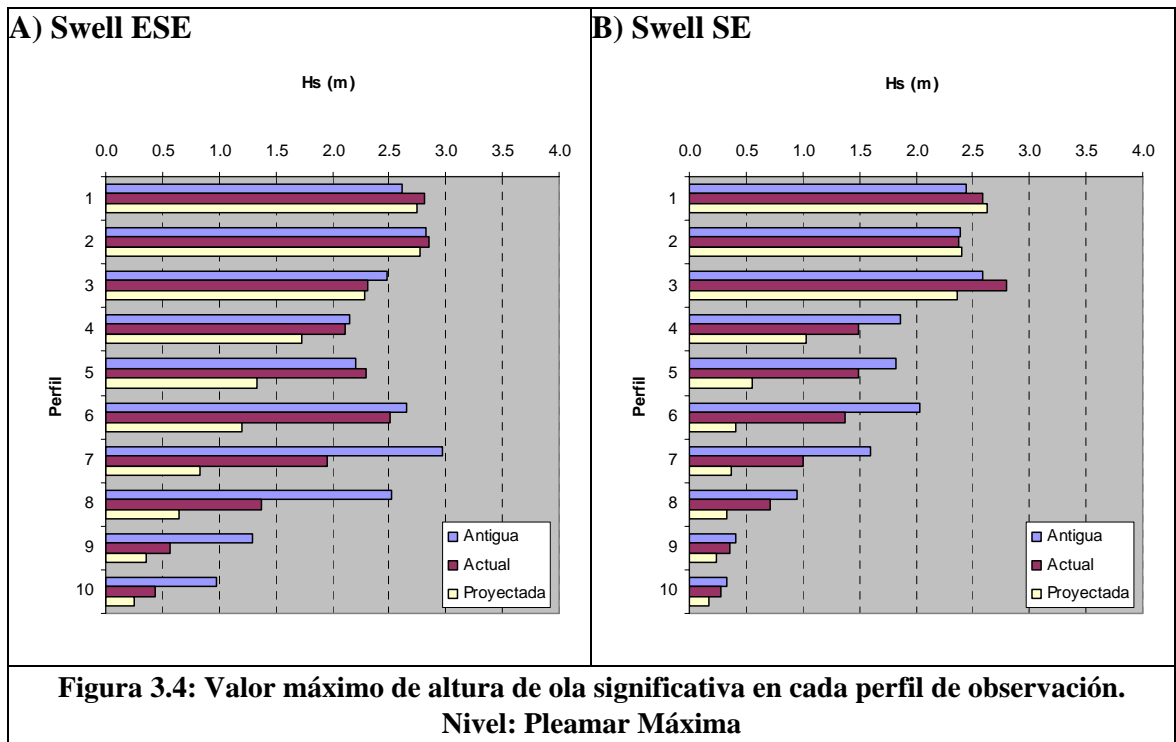
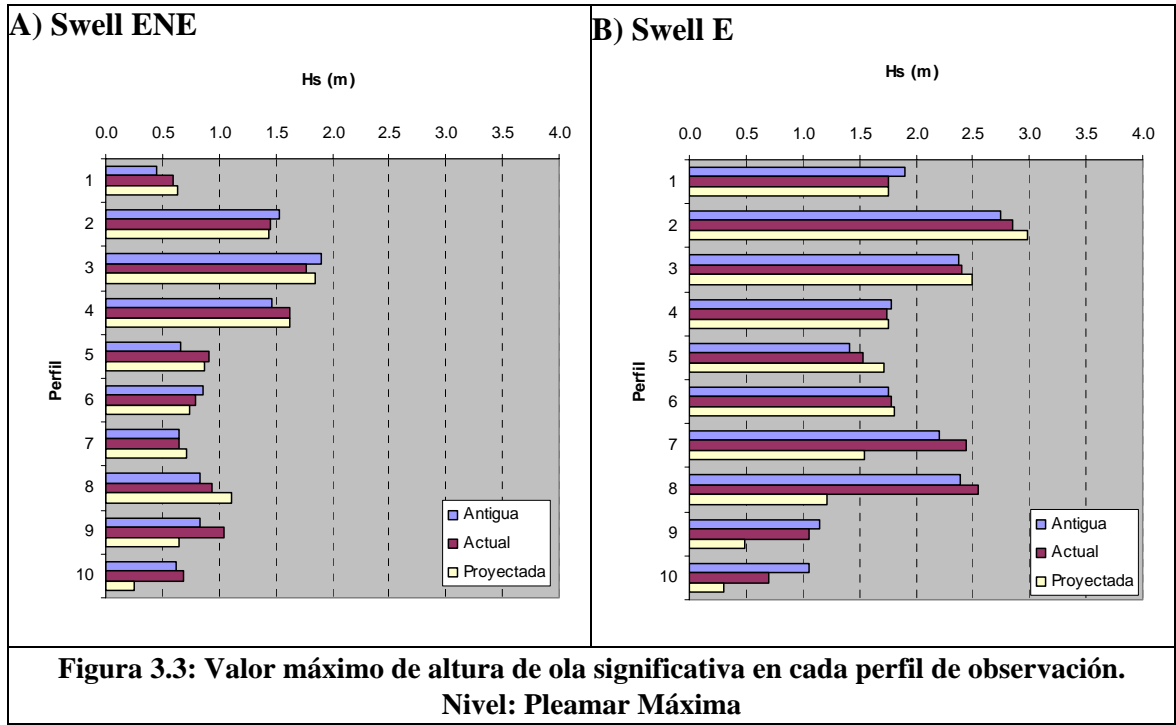




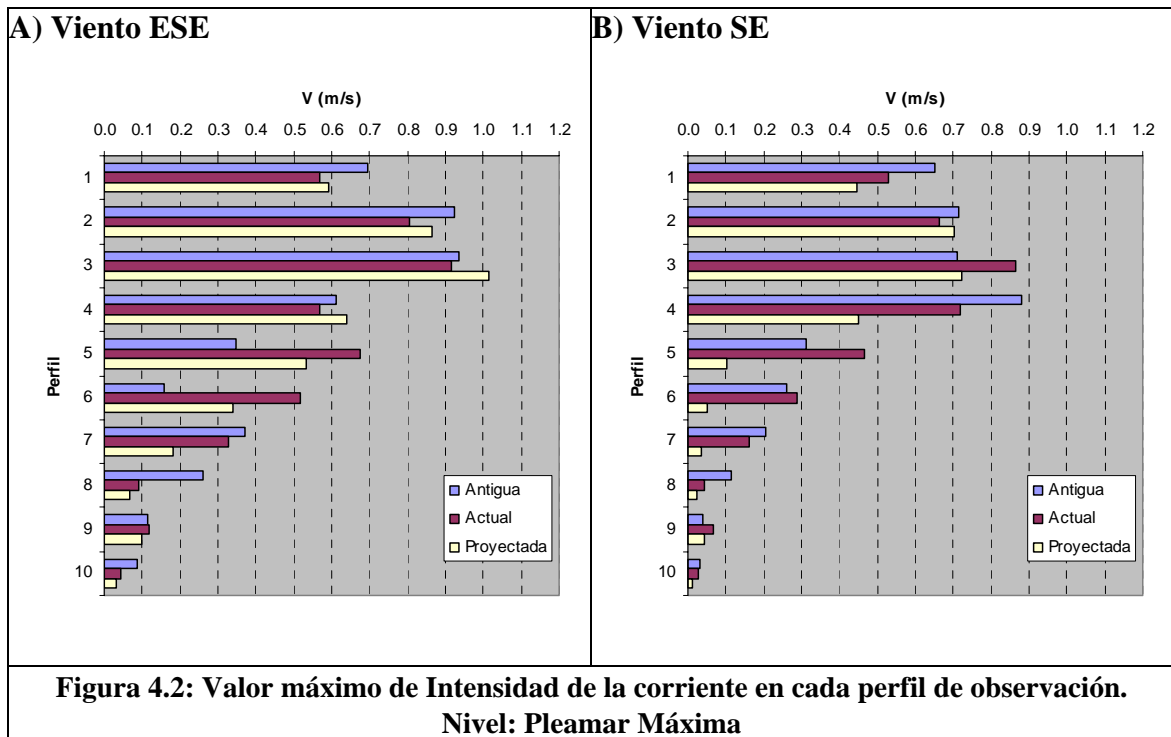
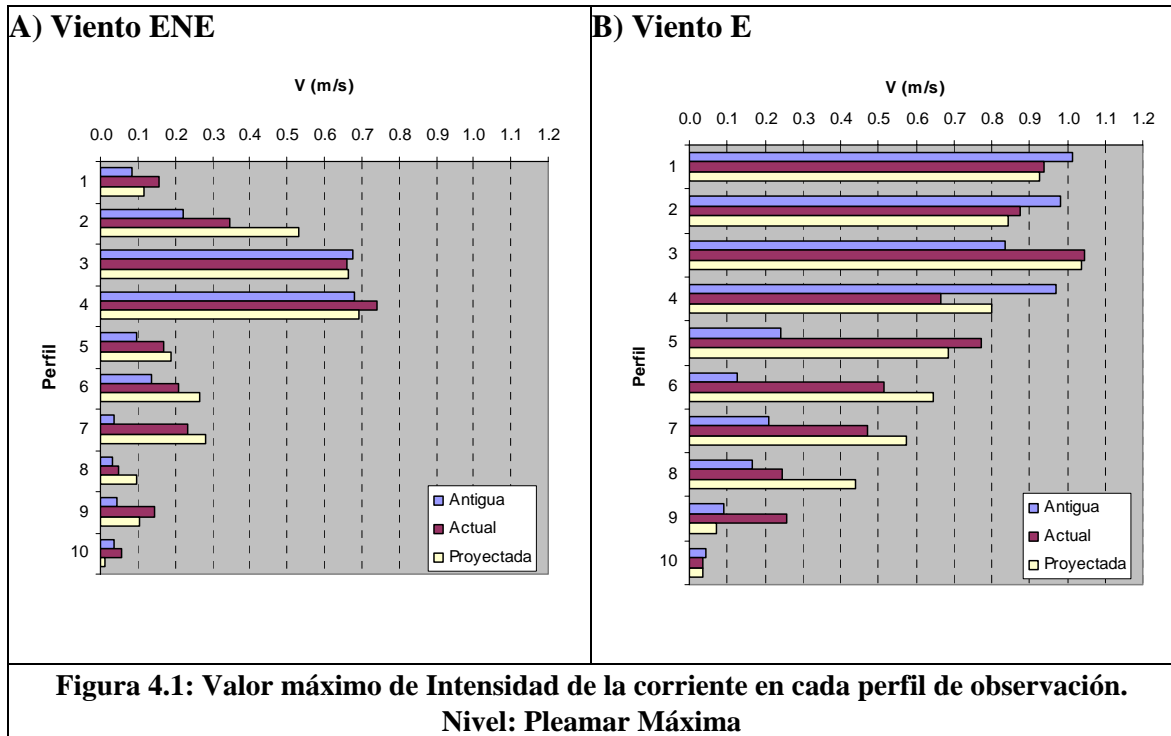


3) ALTURA DE OLA SIGNIFICATIVA PARA ESCENARIOS EXTREMOS

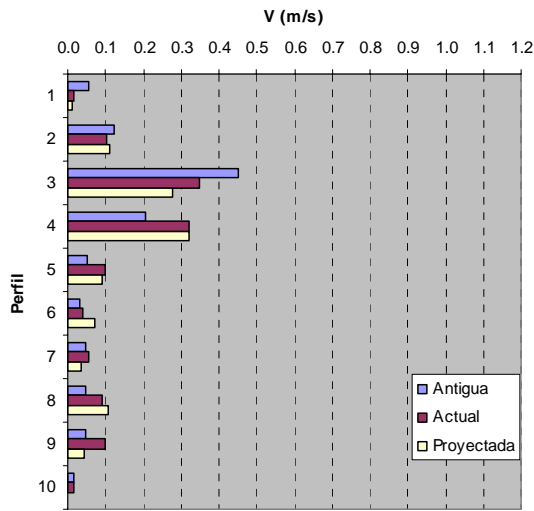




4) INTENSIDAD DE LA CORRIENTE PARA ESCENARIOS EXTREMOS



A) Swell ENE



B) Swell E

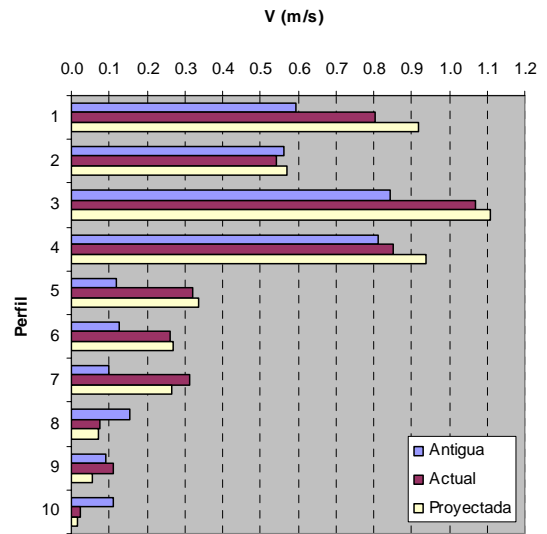
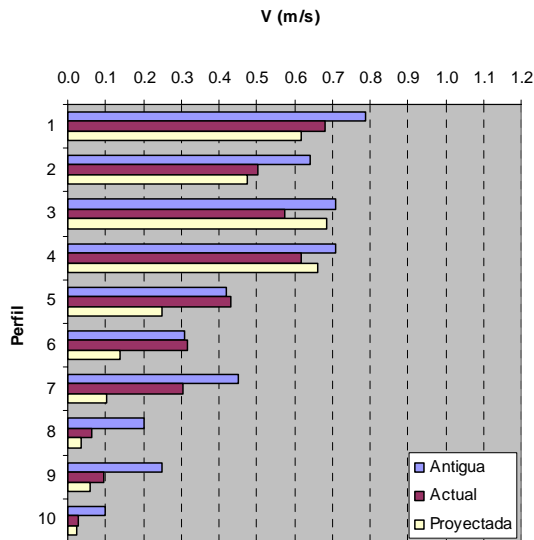


Figura 4.3: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación. Nivel: Pleamar Máxima

A) Swell ESE



B) Swell SE

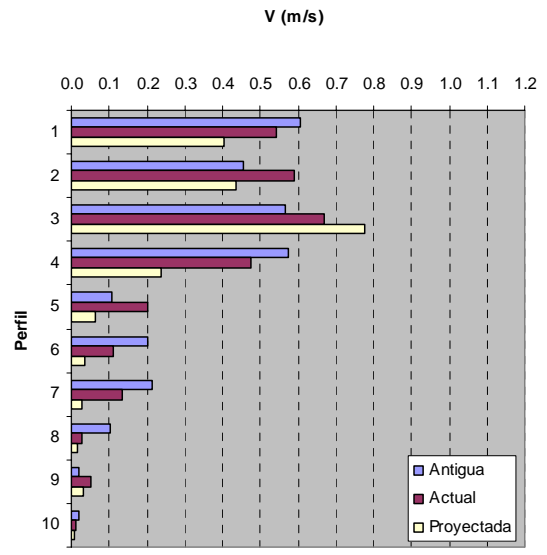


Figura 4.4: Valor máximo de Intensidad de la corriente en cada perfil de observación. Nivel: Pleamar Máxima

Anexo III: Diferencias porcentuales entre las Configuraciones

En el siguiente anexo se presentan las diferencias porcentuales entre altura de ola y velocidades de corriente obtenidas como resultado de la modelación para tres configuraciones analizadas. Los valores señalados en estas tablas fueron calculados de la siguiente manera:

- Diferencia porcentual para valores de Hs (m) y V (m/s) entre configuraciones Antigua y Actual:

$$D_H(\%) = \frac{Hs_{Antigua} - Hs_{Actual}}{Hs_{Antigua}} \quad D_V(\%) = \frac{V_{Antigua} - V_{Actual}}{V_{Antigua}}$$

- Diferencia porcentual para valores de Hs (m) y V (m/s) entre configuraciones Actual y Proyectada:

$$D_H(\%) = \frac{Hs_{Actual} - Hs_{Proyectada}}{Hs_{Actual}} \quad D_V(\%) = \frac{V_{Actual} - V_{Proyectada}}{V_{Actual}}$$

Nota: con el propósito de obtener comparaciones sobre resultados de interés significativo para el estudio, estas variaciones porcentuales fueron calculadas solamente para aquellos casos en los que los valores de altura de ola y velocidad de la corriente superaban los umbrales de Hs=0.5 m y V=0.5 m/s, respectivamente.

1) Escenarios Frecuentes

Tabla 1. Diferencia porcentual entre alturas de ola para configuraciones Antigua y Actual. Escenarios frecuentes – Nivel Medio

Diferencia relativa de Hs entre Antigua y Actual										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	0.24	-0.02	-0.02	0.16	0.15	0.10	-0.01	0.03	0.00	0.00
Viento SE	-0.09	0.00	0.05	0.07	0.39	0.25	0.25	0.59	0.00	0.00
Viento SSE	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	-0.04	0.00	0.02	-0.02	-0.05	-0.06	-0.13	-0.05	-0.26	0.00
Swell ESE	-0.01	0.05	0.00	0.05	-0.04	-0.09	0.01	0.32	0.57	0.76
Swell SE	-0.09	-0.05	0.00	0.05	0.25	0.24	0.31	0.26	0.00	0.00
Promedio=	0.01	0.00	0.10	0.04	0.10	0.06	0.06	0.16	0.04	0.11
										Total
										0.07

Tabla 2. Diferencia porcentual entre alturas de ola para configuraciones Antigua y Actual. Escenarios frecuentes –Pleamar Media.

Diferencia relativa de Hs entre Antigua y Actual										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.13	-0.11	0.05	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	-0.12	0.02	0.05	0.00	0.00	0.02	-0.01	-0.17	0.00	0.00
Viento SE	-0.15	-0.07	0.00	0.15	0.24	0.42	0.43	0.00	0.00	0.00
Viento SSE	-1.73	-0.03	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.06	0.04	0.07	-0.05	-0.22	-0.26	-0.17	-0.24	0.05	0.28
Swell ESE	0.10	-0.02	0.01	-0.06	-0.27	-0.22	0.12	0.46	0.70	0.69
Swell SE	-0.26	-0.17	0.06	0.17	0.04	0.34	0.35	0.00	0.00	0.00
Promedio=	-0.28	-0.05	0.10	0.03	-0.03	0.04	0.10	0.01	0.11	0.14
										Total
										0.02

Tabla 3. Diferencia porcentual entre alturas de ola para configuraciones Actual y Proyectada. Escenarios frecuentes – Nivel Medio

Diferencia relativa de Hs entre Actual y Proyectada										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	-0.02	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	0.01	-0.02	0.08	0.15	0.32	0.18	0.24	0.77	0.00	0.00
Viento SE	-0.06	0.03	0.14	0.72	0.79	0.78	0.73	0.00	0.00	0.00
Viento SSE	0.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.03	-0.02	0.02	-0.02	-0.10	-0.13	0.13	0.58	0.39	0.00
Swell ESE	-0.08	-0.03	0.04	0.16	0.39	0.46	0.62	0.70	0.00	0.00
Swell SE	0.03	0.05	0.26	0.74	0.80	0.80	0.81	0.00	0.00	0.00
Promedio=	-0.01	-0.01	0.08	0.25	0.31	0.30	0.36	0.29	0.06	0.00
										Total
										0.16

Tabla 4. Diferencia porcentual entre alturas de ola para configuraciones Actual y Proyectada. Escenarios frecuentes – Pleamar Media.

Diferencia relativa de Hs entre Actual y Proyectada										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.15	0.12	-0.06	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	-0.05	0.00	0.02	0.00	0.09	-0.15	0.25	0.72	0.00	0.00
Viento SE	-0.04	0.04	0.41	0.55	0.68	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento SSE	0.45	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	-0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.10	-0.12	0.25	0.58	0.44	0.00
Swell ESE	-0.12	0.02	-0.01	0.23	0.41	0.61	0.69	0.61	0.00	0.00
Swell SE	0.03	0.03	0.24	0.51	0.62	0.70	0.52	0.00	0.00	0.00
Promedio=	0.06	0.09	0.09	0.18	0.24	0.22	0.24	0.27	0.06	0.00
										Total
										0.15

Tabla 5. Diferencia porcentual entre velocidades de corriente para configuraciones Antigua y Actual. Escenarios frecuentes – Nivel Medio

Diferencia relativa de Velocidades de la corriente entre Antigua y Actual										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento SSE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell ESE	0.00	-0.04	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio=	0.00	-0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
										Total
										0.00

Tabla 6. Diferencia porcentual entre velocidades de corriente para configuraciones Antigua y Actual. Escenarios frecuentes – Pleamar Media

Diferencia relativa de Velocidades de la corriente entre Antigua y Actual										
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10
Viento ENE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento SE	0.19	0.00	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viento SSE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell E	0.00	0.00	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell ESE	-0.05	-0.03	-0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Swell SE	0.10	-0.05	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio=	0.04	-0.01	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
										Total
										-0.01

Tabla 7. Diferencia porcentual entre velocidades de corriente para configuraciones Actual y Proyectada. Escenarios frecuentes – Nivel Medio

Diferencia relativa de Velocidades de la corriente entre Actual y Proyectada											
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	
Viento ENE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento E	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SSE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell E	0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell ESE	0.00	-0.01	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell SE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Promedio=	0.00	0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total 0.00

Tabla 8. Diferencia porcentual entre velocidades de corriente para configuraciones Actual y Proyectada. Escenarios frecuentes – Pleamar Media.

Diferencia relativa de Velocidades de la corriente entre Actual y Proyectada											
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	
Viento ENE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SE	0.09	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SSE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell E	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell ESE	0.10	-0.06	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell SE	0.04	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Promedio=	0.03	-0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total 0.00

2) Escenarios Extremos

Tabla 9. Diferencia porcentual entre alturas de ola para configuraciones Antigua y Actual. Escenarios extremos –Pleamar Máxima.

Diferencia relativa de Hs entre Antigua y Actual											
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	
Viento ENE	-0.62	0.00	-0.01	0.00	0.06	0.10	-0.09	-0.12	-0.11	-0.04	
Viento E	0.10	-0.02	-0.01	0.12	-0.01	-0.02	0.09	0.01	0.18	0.21	
Viento SE	-0.15	0.06	0.09	-0.05	-0.08	0.02	0.27	0.46	0.63	0.59	
Viento SSE	-0.05	-0.11	-0.01	0.29	0.33	0.41	0.45	0.34	0.37	0.41	
Swell E	0.00	0.05	0.06	-0.11	-0.38	0.07	0.00	-0.13	-0.24	-0.12	
Swell ESE	0.07	-0.04	-0.01	0.02	-0.08	-0.02	-0.10	-0.07	0.08	0.33	
Swell SE	-0.08	-0.01	0.07	0.02	-0.04	0.06	0.34	0.46	0.56	0.55	
Promedio=	-0.10	-0.01	0.03	0.04	-0.03	0.09	0.14	0.14	0.21	0.28	Total 0.08

Tabla 10. Diferencia porcentual entre alturas de ola para configuraciones Actual y Proyectada. Escenarios extremos –Pleamar Máxima

Diferencia relativa de Hs entre Actual y Proyectada											
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	
Viento ENE	-0.14	-0.03	-0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	-0.06	0.19	0.57	
Viento E	-0.02	-0.11	-0.05	-0.18	-0.11	-0.07	0.29	0.53	0.47	0.75	
Viento SE	0.00	-0.01	-0.07	0.15	0.44	0.57	0.66	0.65	0.48	0.55	
Viento SSE	-0.04	-0.04	0.06	0.53	0.53	0.70	0.59	0.55	0.00	0.00	
Swell E	-0.07	0.01	-0.04	0.00	0.04	0.06	-0.09	-0.18	0.38	0.63	
Swell ESE	0.00	-0.05	-0.04	-0.01	-0.12	-0.02	0.36	0.52	0.53	0.57	
Swell SE	0.02	0.02	0.01	0.18	0.42	0.52	0.58	0.53	0.36	0.00	
Promedio=	-0.04	-0.03	-0.02	0.10	0.17	0.26	0.34	0.36	0.34	0.44	Total 0.19

Tabla 11. Diferencia porcentual entre velocidades de corriente para configuraciones Antigua y Actual. Escenarios extremos –Pleamar Máxima.

Diferencia relativa de Velocidades de la corriente entre Antigua y Actual											
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	
Viento ENE	0.00	0.00	0.03	-0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento E	0.08	0.11	-0.25	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SE	0.18	0.13	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SSE	0.18	0.07	-0.22	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell ESE	-0.35	0.03	-0.27	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell SE	0.14	0.21	0.19	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Promedio=	0.03	0.08	-0.07	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total 0.01

Tabla 12. Diferencia porcentual entre velocidades de corriente para configuraciones Actual y Proyectada. Escenarios extremos –Pleamar Máxima.

Diferencia relativa de Velocidades de la corriente entre Actual y Proyectada											
Escenario	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	
Viento ENE	0.00	0.00	-0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento E	0.01	0.04	0.01	-0.20	0.11	-0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SE	-0.04	-0.08	-0.11	-0.12	0.21	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	
Viento SSE	0.16	-0.06	0.16	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell ESE	-0.14	-0.05	-0.03	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Swell SE	0.09	0.05	-0.19	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Promedio=	0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Total 0.00

Anexo IV. Evaluación hidrodinámica adicional: incorporación de un espigón transversal en la zona de playa

Como agregado adicional a la evaluación de condiciones hidrodinámicas desarrollada en el cuerpo principal del informe se realizaron una serie de ensayos numéricos destinados a estudiar los efectos que pudiera generar la construcción de un espigón transversal en el sector Sur de la playa contigua al Puerto de Comodoro Rivadavia.

Configuración del área de modelación

La Figura 1 muestra la ubicación del espigón propuesto para este análisis, el cual posee una extensión de 150 m, extendiéndose desde una línea de costa coincidente con la cota de pleamar astronómica máxima (N=5.75 m MOP) con orientación este-oeste.

En la modelación de esta nueva configuración se utilizaron las mallas de cálculo preexistentes con la readaptación correspondiente a la incorporación del espigón (transformación de un conjunto de celdas oceánicas en celdas de tierra). La configuración estudiada en este caso corresponde a la incorporación del espigón considerando concretada la obra de prolongación de la Escollera Sur del puerto (extensión de 400 m respecto de la situación actual).

Para la evaluación de los resultados se incorporó un nuevo conjunto de perfiles de playa en el zona de interés, diferentes de los utilizados en los capítulos anteriores del informe, los cuales aparecen señalados en la Figura 1.

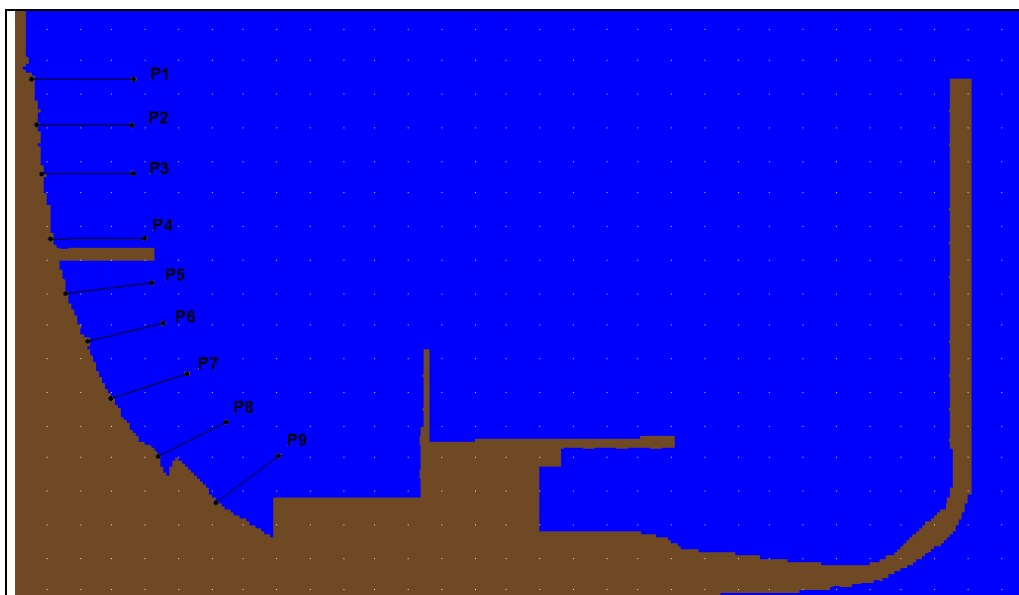


Figura 1. Detalle de zona de Espigón y perfiles de control

Escenarios de simulación

Como escenarios de cálculo se seleccionaron aquellas situaciones para las cuales, considerando la prolongación de la escollera sur del puerto, las olas incidentes puede propagarse con mayores alturas hasta el área de estudio. Consecuentemente, se

realizaron simulaciones numéricas con escenarios representativos de olajes provenientes de las direcciones ENE y E, tanto para olas de viento como para el oleaje oceánico. Esta selección de escenarios se encuentra fundamentada por los resultados obtenidos en el Capítulo 6 del informe y presentada en el Anexo I, donde se desarrolló el análisis de condiciones hidrodinámicas para la configuración correspondiente a la escollera prolongada.

La caracterización de dichos escenarios está señalada por el sombreado de las Tablas 1 y 2, transcriptas del cuerpo principal del informe, correspondientes a temporales frecuentes y temporales extremos, respectivamente.

Tabla 1. Temporales Frecuentes

Escenario	Hs (m)	Tp (s)	Dirección
Viento ENE	1.25	5.0	67.5°
Viento E	1.75	5.5	90°
Viento SE	2.25	6.5	135°
Viento SSE	1.75	6.0	157.5°
Swell ENE	0.75	15.0	67.5°
Swell E	1.25	12.0	90°
Swell ESE	1.75	14.0	112.5°
Swell SE	1.25	12.0	135°

Tabla 2. Temporales Extremos

Escenario	Hs (m)	Tp (s)	Dirección
Viento ENE	2.16	7.5	67.5°
Viento E	3.27	10.0	90.0°
Viento ESE	4.21	12.0	112.5°
Viento SE	3.91	11.0	135°
Swell ENE	0.76	15.0	67.5°
Swell E	2.00	15.0	90.0°
Swell ESE	2.66	17.5	112.5°
Swell SE	2.45	17.0	135°

Para las simulaciones correspondientes a temporales frecuentes se utilizó un nivel de mar correspondiente a la condición de pleamar media (N=4.75 m MOP), mientras que para simular los temporales extremos (asociados a períodos de retorno de $T_r=50$ años) se consideró el nivel de pleamar astronómica máxima: N=5.75 m MOP.

Resultados

Los resultados de la aplicación del modelo se encuentran representados por valores puntuales de altura significativa de ola y velocidad de la corriente sobre los perfiles

señalados en la Figura 1. Estos valores corresponden en cada caso al máximo valor de la variable observado sobre todo el perfil y son exhibidos en las Tablas 3 a 6.

Tabla 3. Altura de ola sobre perfiles para Temporales Frecuentes

Escenario	Valores de Hs (m) para cada perfil								
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9
Viento ENE	0.32	0.24	0.30	0.27	0.33	0.26	0.12	0.08	0.11
Viento E	0.78	0.39	0.37	0.15	0.10	0.07	0.04	0.04	0.04
Viento ESE									
Viento SE									
Swell ENE	1.11	0.91	1.24	0.86	0.62	0.71	0.36	0.29	0.30
Swell E	1.47	1.08	0.99	0.34	0.31	0.36	0.18	0.15	0.15
Swell ESE									
Swell SE									

Tabla 4. Intensidad de corrientes sobre perfiles para Temporales Frecuentes

Escenario	Valores de Intensidad de corriente (m/s) para cada perfil								
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9
Viento ENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viento E	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Viento ESE									
Viento SE									
Swell ENE	0.08	0.05	0.12	0.20	0.03	0.05	0.01	0.02	0.03
Swell E	0.10	0.06	0.10	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Swell ESE									
Swell SE									

Tabla 5. Altura de ola sobre perfiles para Temporales Extremos

Escenario	Valores de Hs (m) para cada perfil								
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9
Viento ENE	1.54	1.54	1.93	1.66	1.69	1.97	1.03	0.58	0.68
Viento E	2.43	2.21	1.80	0.82	0.80	0.91	0.43	0.31	0.33
Viento ESE									
Viento SE									
Swell ENE	0.74	1.29	0.93	0.72	0.60	0.77	0.43	0.28	0.24
Swell E	1.67	1.72	1.31	0.56	0.48	0.60	0.38	0.31	0.32
Swell ESE									
Swell SE									

Tabla 6. Intensidad de corrientes sobre perfiles para Temporales Extremos

Escenario	Valores de Intensidad de corriente (m/s) para cada perfil								
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9
Viento ENE	0.13	0.12	0.21	0.41	0.09	0.08	0.04	0.03	0.02
Viento E	0.22	0.37	0.50	0.44	0.03	0.04	0.02	0.05	0.04
Viento ESE									
Viento SE									
Swell ENE	0.06	0.14	0.10	0.13	0.04	0.05	0.03	0.06	0.01
Swell E	0.15	0.19	0.08	0.14	0.03	0.02	0.01	0.07	0.04
Swell ESE									
Swell SE									

Los resultados presentados en estas tablas indican que las mayores alturas de ola y las corrientes más intensas en la zona de interés son generadas por temporales extremos de viento, tanto para la dirección ENE como para la E. Con el propósito de ampliar este análisis se presentan las Figuras 2 a 5, las cuales muestran los campos de distribución de

altura de olas y corrientes generadas por el oleaje en el área de estudio para los dos casos mencionados.

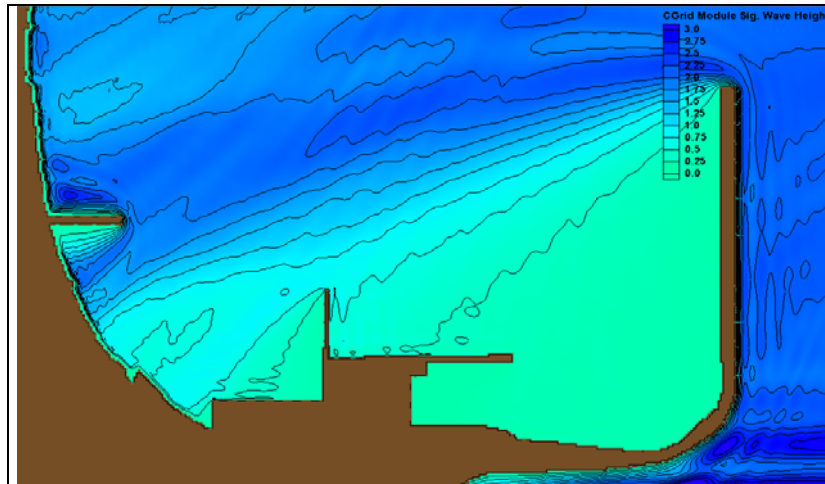


Figura 2. Alturas de ola para Temporal Extremo de Viento ENE

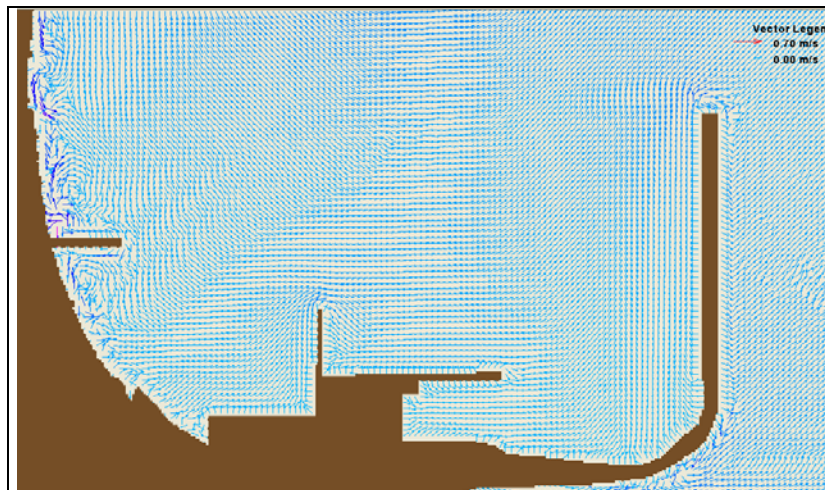


Figura 3. Corrientes para Temporal Extremo de Viento ENE

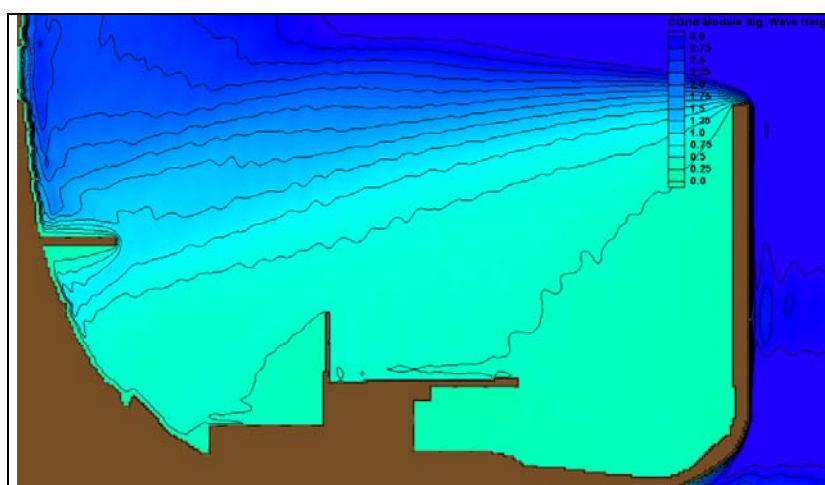


Figura 4. Alturas de ola para Temporal Extremo de Viento E

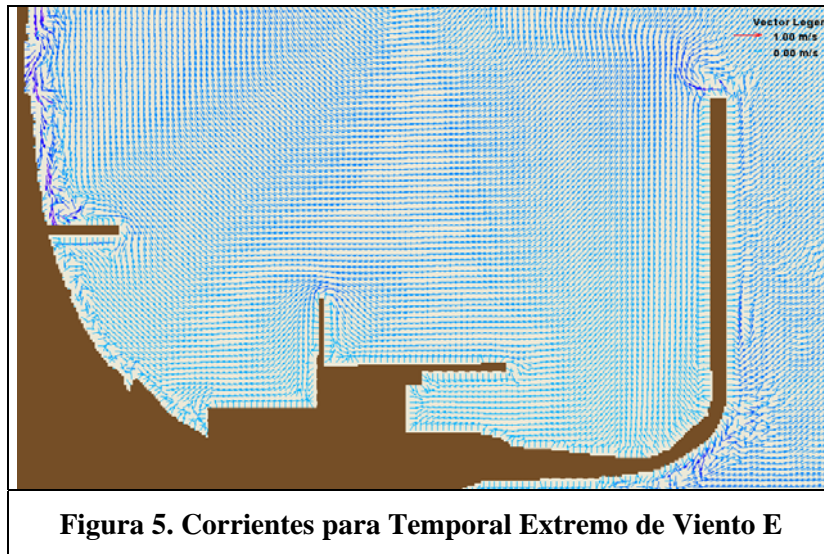


Figura 5. Corrientes para Temporal Extremo de Viento E

De acuerdo a lo observado en las figuras, la presencia del espigón parece no tener un efecto importante sobre la distribución de alturas de ola, afectando solamente a un sector reducido del tramo de costa.

No obstante, puede destacarse que, si bien las corrientes generadas por el oleaje no resultan demasiado intensas en el tramo costero evaluado (valores máximos del orden de 0.50 m/s), la presencia del espigón interrumpe las circulaciones observadas en las Figuras 3 y 5. Este hecho podría favorecer a evitar el traslado de materiales sueltos en sentido norte-sur y su posterior deposición en zonas de menor agitación próximas a las instalaciones del puerto.

Finalmente se realizó una comparación entre valores de alturas de ola obtenidos sobre los perfiles para las configuraciones con y sin espigón, respectivamente. Esta comparación se realizó para escenarios de cálculo caracterizados de idéntica manera. Dicho análisis se presentan en las Figuras 6 a 9 en forma de gráficos de barra.

Dentro de las observaciones destacadas puede mencionarse que se confirma la presunción de que la presencia del espigón tiene poca influencia sobre la distribución de alturas de ola, obteniéndose valores muy cercanos para ambas situaciones en la mayoría de los perfiles.

Como caso particular se señalan los perfiles 4 y 5, donde la tendencia general indica una disminución de valores de H_s por presencia del espigón. Por el contrario, en el perfil 6 se presenta una leve tendencia de incremento de H_s por efecto del espigón que resulta del orden del 10 %.

