

“Experiencia de la DOP en el Diseño de Playas Artificiales”



Ministerio de
Obras Públicas

Eduardo Mesina Azócar
Jefe División de Proyectos
Dirección de Obras portuarias
27 de Noviembre de 2012

Tabla de Contenidos

- 1.- Experiencia en Mejoramiento de Playas en Chile
- 2.- Caso de estudio. Uso Geoestructuras en Proyecto de Mejoramiento de Playas.

1.- Experiencia en Mejoramiento de Playas en Chile

Proyectos realizados: año 2001

Balneario Municipal, Antofagasta.



Proyectos realizados: año 2001

Balneario Municipal, Antofagasta.



Proyectos realizados: año 2004

Playa Covadonga, Tocopilla.

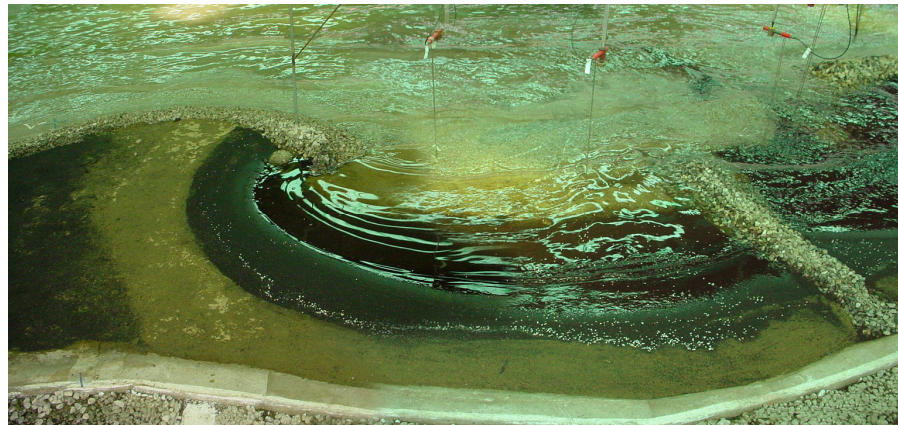


Proyectos realizados: año 2005

Playa Paraíso, Antofagasta.



Modelación Física 3D, INH (2003).



Proyectos realizados: año 2005

Playa Paraíso, Antofagasta.



Proyectos realizados: año 2006

Playa Trocadero, Antofagasta.



Proyectos realizados: año 2011

Balneario El Laucho, Arica.



Proyectos realizados: año 2011

Balneario La Lisera, Arica.



2.- Caso de Estudio: Uso de Geoestructuras en Proyecto de Mejoramiento de Playas.

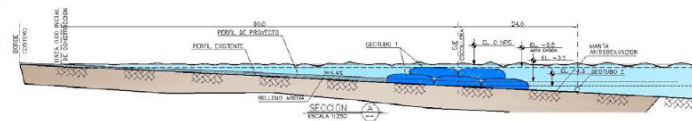
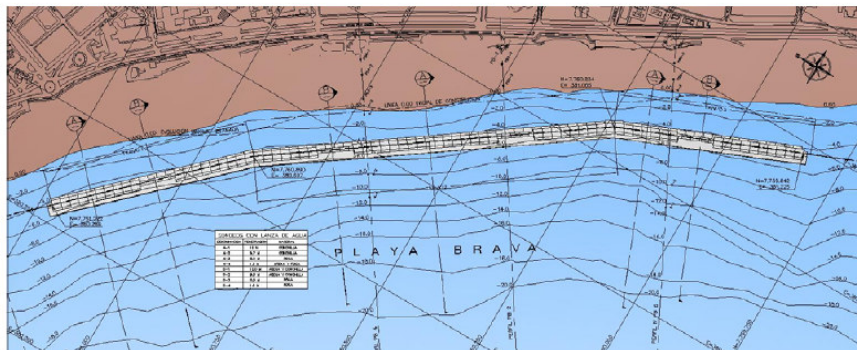
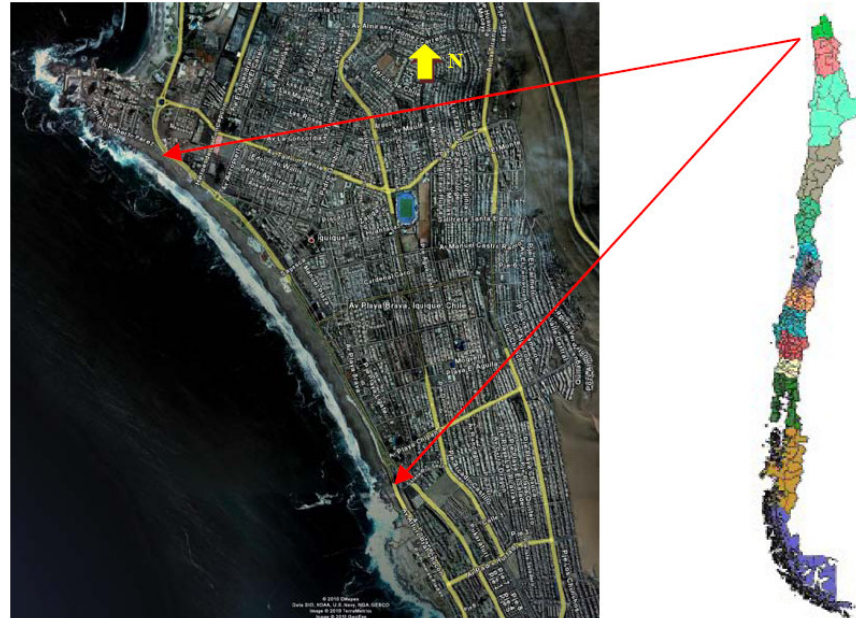
Proyecto para Habilitar Playa Brava para el baño, Iquique

- Proyecto en desarrollo por DOP por medio de Consultoría con Baird & Associates.
- Objetivo: Determinar obras de rompeolas de manera de proporcionar una adecuada protección para el uso seguro de bañistas.
- Extensión inicial: 2000 mts y ancho de 100 mts aproximadamente.
- Ensayos iniciales consideran estructuración de rompeolas por medio de geotubos, de acuerdo a Proyecto Conceptual.

Contexto del Proyecto:

El área de estudio comprende el borde costero desde el sector de Primeras Piedras hasta la Punta Cavanca.

El proyecto abarca una superficie de 200.000 m². Longitud aprox de 2000 m. y ancho de 100 m.



Ubicación y Perfil tipo de rompeolas según proyecto Conceptual

Estudios desarrollados: Sedimentos



Ubicación de muestras de sedimentos

Muestra	Diámetros [mm]				Unidad ϕ de la muestra			
	d ₉₀	d ₅₀	d ₃₀	d ₁₀	ϕ_{90}	ϕ_{50}	ϕ_{30}	ϕ_{10}
M1	0.315	0.238	0.200	0.162	1.667	2.068	2.321	2.627
M2	0.868	0.340	0.266	0.195	0.203	1.555	1.912	2.357
M3	0.300	0.233	0.200	0.167	1.737	2.100	2.322	2.585
M4	0.305	0.235	0.200	0.165	1.715	2.090	2.321	2.598
M5	0.300	0.232	0.199	0.165	1.738	2.105	2.331	2.599
M6	0.414	0.306	0.244	0.182	1.271	1.710	2.037	2.460
M7	0.303	0.235	0.201	0.167	1.722	2.090	2.316	2.584
M8	0.305	0.236	0.201	0.167	1.715	2.084	2.312	2.583
M9	0.421	0.279	0.230	0.182	1.249	1.843	2.119	2.460
M10	0.451	0.288	0.235	0.181	1.150	1.794	2.090	2.463
M11	0.385	0.260	0.217	0.175	1.377	1.945	2.202	2.516
M12	0.395	0.247	0.205	0.162	1.340	2.017	2.289	2.625
M13	0.410	0.291	0.236	0.182	1.287	1.783	2.082	2.460
M14	0.754	0.315	0.250	0.186	0.407	1.667	1.998	2.428
M15	0.303	0.233	0.198	0.163	1.724	2.101	2.334	2.613
M16	0.315	0.238	0.199	0.160	1.667	2.074	2.331	2.644
M17	0.587	0.330	0.259	0.188	0.769	1.599	1.951	2.410

Estudios desarrollados: Corrientes



Ubicación ADCP primera campaña



Ubicación ADCP segunda campaña

PUNTO	X	Y	Z (app.)	DATOS
ADCP-1	380.142	7.761.305	-6	Corrientes
ADCP-2	380.491	7.760.974	-6	Corrientes
ADCP-3	381.012	7.760.276	-7	Corrientes
ADCP-4	380.725	7.760.497	-14	Corrientes y Olas
ADCP-5	380.313	7.760.313	-25	Corrientes y Olas
ADCP-6	381.322	7.759.599	-8	Corrientes

PUNTO	X	Y	Z (app.)	DATOS
ADCP-7	380.483	7.760.494	-18	Corrientes y Olas
ADCP-8	380.200	7.760.369	-25	Corrientes y Olas

PUNTO	X	Y	Z (app.)	DATOS
ADCP-9	380.201	7.760.370	-25	Corrientes y Olas
ADCP-10	380.485	7.760.492	-18	Corrientes y Olas

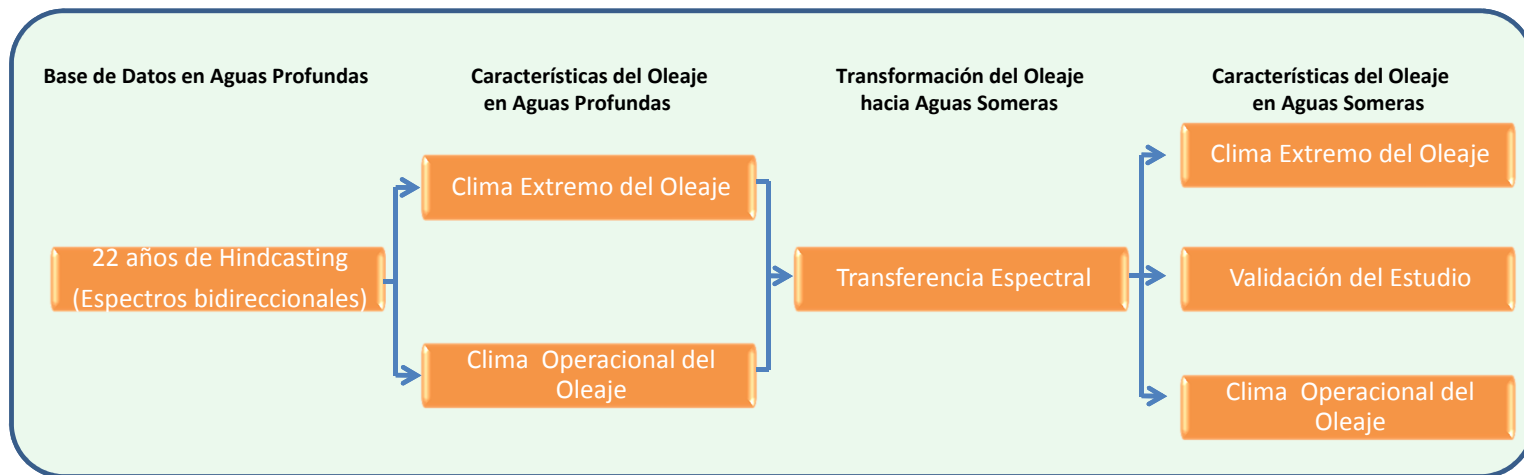


Ubicación ADCP tercera campaña

Las corrientes medidas en la campaña de terreno mostraron una gran dispersión direccional, la cual varía en su tendencia principal al momento de analizar su comportamiento en la vertical.

Las magnitudes se concentraron en torno al rango de 5 a 15 cm/s para la capa superficial, 1 a 10 cm/s en la capa del centro de la columna de agua y 1 a 5 cm/s en el fondo.

Estudios desarrollados: Oleaje



Esquema Metodología Utilizada

Estudios desarrollados: Oleaje

Se definió en 40 nodos las condiciones de oleaje operacional:

- Tablas de incidencia
- Curvas de excedencia
- Rosas de dispersión y barras.

Análisis de clima extremo:

Determinación de las tormentas en aguas profundas mediante el método de los valores sobre el umbral, separando los eventos de acuerdo a sus direcciones principales identificando 3º y 4º cuadrante. Además se consideró la acción conjunta de ambas direcciones (energía completa).

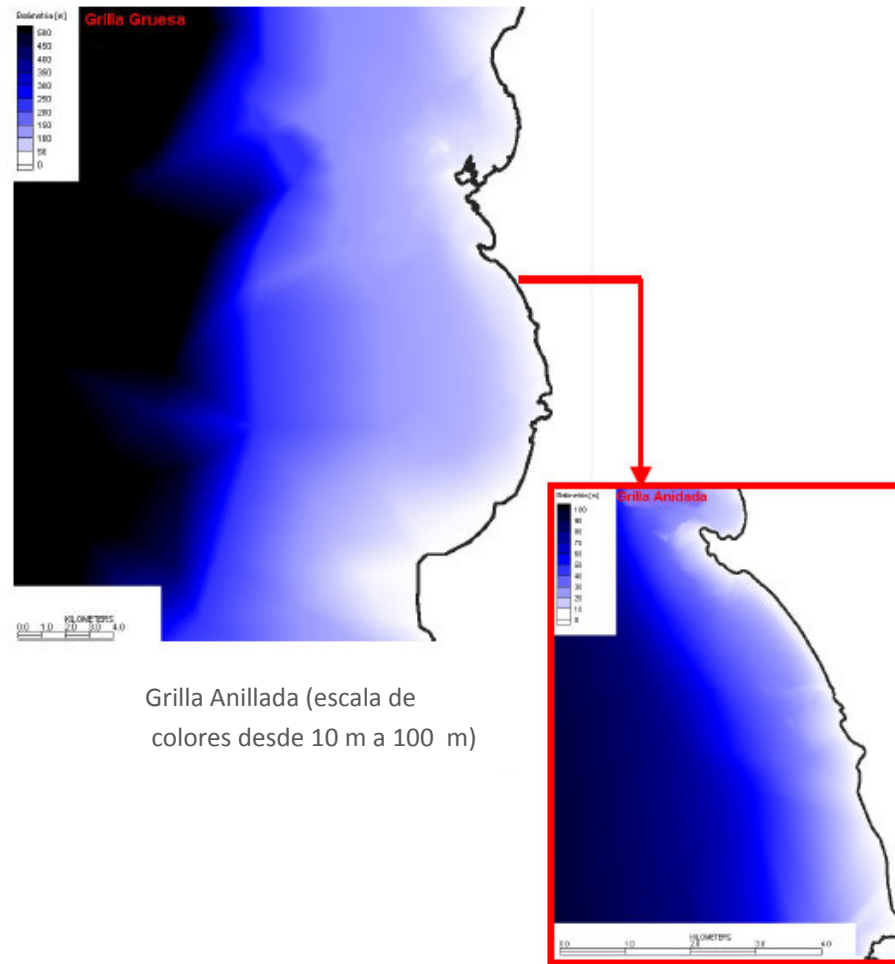
Con cada una de las listas de tormentas obtenidas se determinó las alturas de ola asociada a periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Posteriormente fueron transferidas a la zona de estudio mediante el modelo numérico STWAVE asumiendo que cada estado de mar es representado por un espectro unimodal.

Estudios desarrollados: Oleaje

La transferencia hacia la zona de estudio se realizó mediante técnicas espectrales, obteniendo las funciones de transferencias desde los resultados de la modelación numérica realizada con STWAVE.

Con STWAVE, se simularon las condiciones de oleaje en aguas profundas para direcciones desde el SSW al NNW, con un incremento de $22,5^\circ$, para períodos (T_p) de 6 a 24 s. y con tres condiciones de altura significativa del oleaje ($H_{m0} = 1, 3$ y 5). Dichas simulaciones se realizaron con una grilla externa más espaciada ($100\text{m} \times 100\text{m}$), que coincide con las direcciones principales del oleaje para la zona de interés (SW, W y NW); y una grilla interna de mayor resolución ($20\text{m} \times 20\text{m}$), representadas en la Figura 3-2.

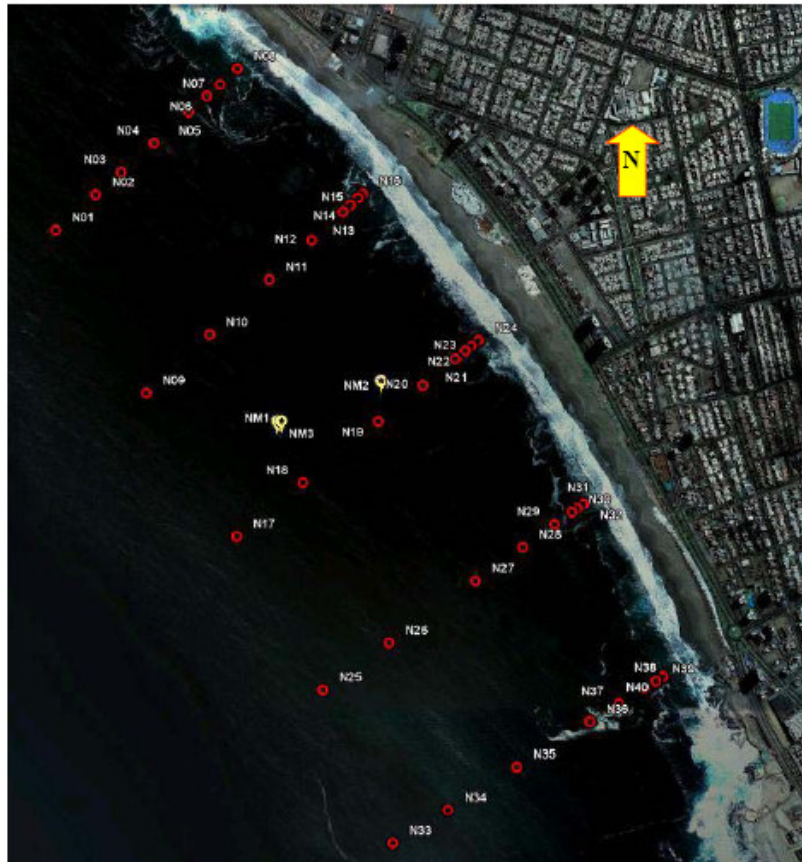
Gobierno de Chile | Ministerio de Obras Públicas



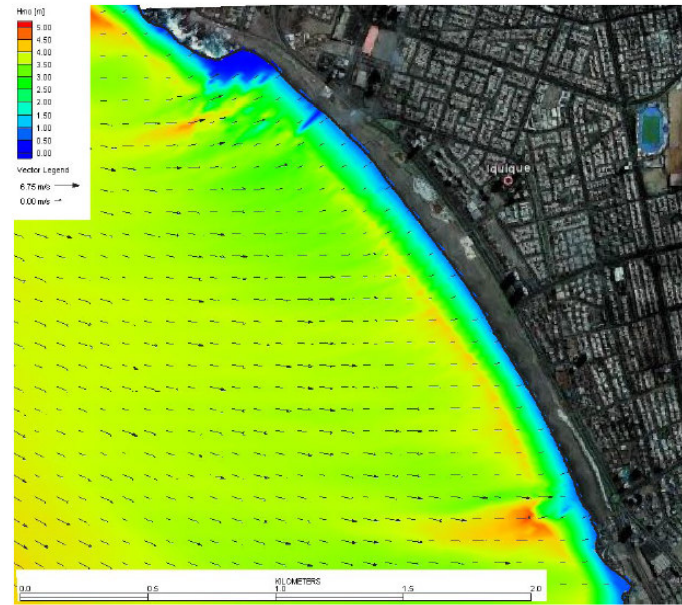
Grilla Anillada (escala de colores desde 10 m a 100 m)

Grillas utilizadas para modelar transformación de oleaje

Estudios desarrollados: Oleaje



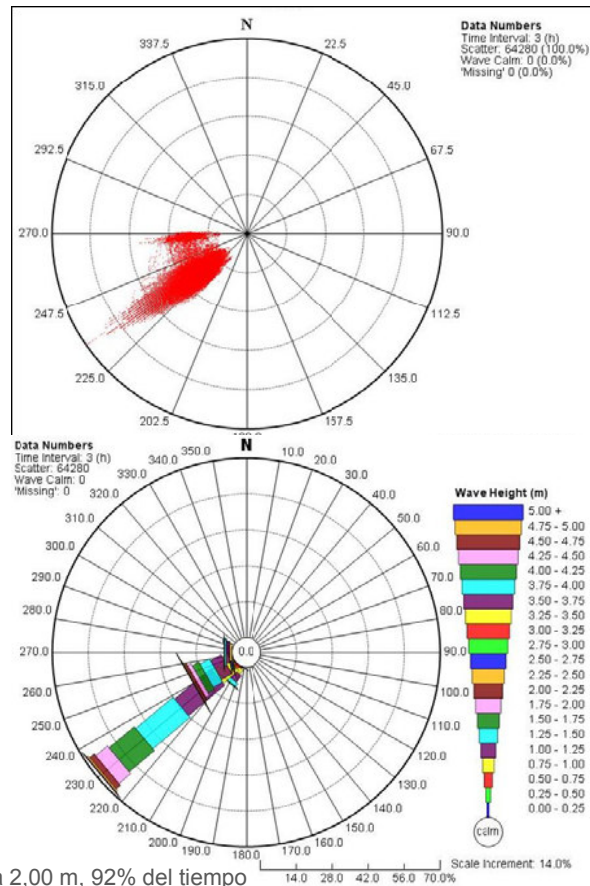
Ubicación de Nodos de oleaje



Salida Propagación STWAVE:
Hmo= 5 m, Tp= 18 s. DPK= NW

Estudios desarrollados: Oleaje Operacional

De manera ilustrativa se muestran los resultados obtenidos para el nodo N19:



H_{mo}= 0,75 a 2,00 m, 92% del tiempo
T_p= 10 y 16 segundos,
DP= valores cercanos a los 230°.



Estudios desarrollados: Oleaje Extremo

Luego de seleccionadas y analizadas las tormentas por direcciones, se obtuvieron las alturas de olas asociadas a distintos periodos de retorno en aguas profundas:

Análisis de valores extremos Iquique – Aguas Profundas – Energía Completa

Lugar	Parámetro	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
Iquique	Cálculo Superior	3.79	4.26	4.62	4.98	5.46	5.82
	Cálculo Promedio	3.68	4.01	4.25	4.50	4.83	5.08
	Cálculo Inferior	3.57	3.75	3.88	4.02	4.19	4.33

Análisis de valores extremos Iquique.– Aguas Profundas.– 3er cuadrante

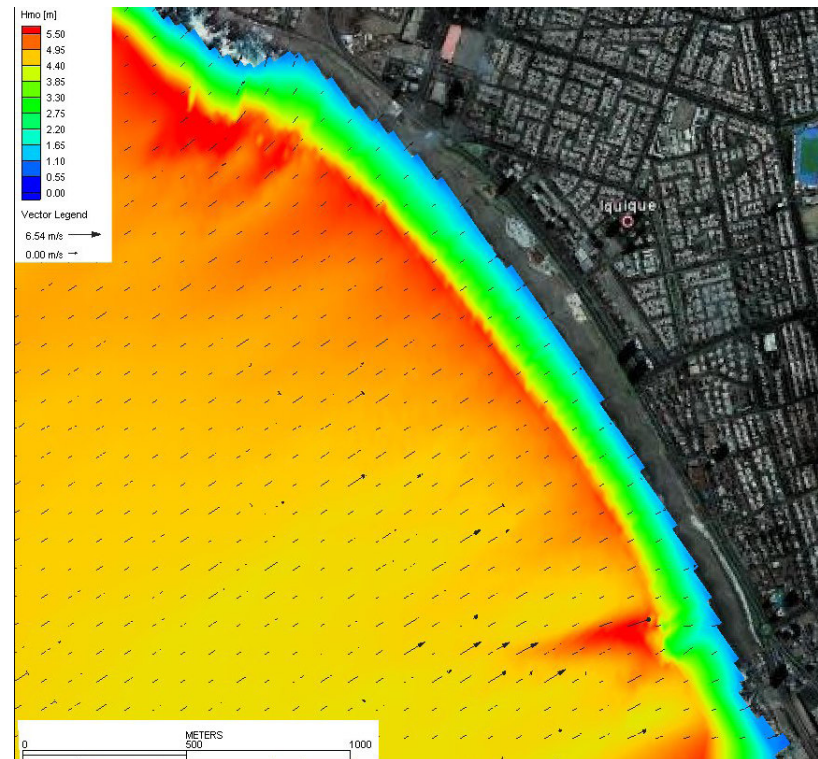
Lugar	Parámetro	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
Iquique	Cálculo Superior	3.79	4.26	4.61	4.96	5.43	5.78
	Cálculo Promedio	3.68	4.00	4.25	4.49	4.81	5.05
	Cálculo Inferior	3.58	3.75	3.88	4.01	4.19	4.32

Análisis de valores extremos Iquique – Aguas Profundas – 4o cuadrante

Lugar	Parámetro	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años	100 años
Iquique	Cálculo Superior	1.06	1.22	1.34	1.45	1.61	1.73
	Cálculo Promedio	1.03	1.13	1.21	1.30	1.40	1.48
	Cálculo Inferior	0.99	1.05	1.09	1.14	1.19	1.24

Estudios desarrollados: Oleaje Extremo

Transferencia de cada una de estas alturas de olas se realizó con el modelo STWAVE obteniéndose los resultados típicos:



Resultados típicos de los modelos utilizados, olas energía completa: $H_{mo} = 5.82$ m
($T_r = 100$ años), $DPK = 225^\circ$, $T_p = 17$ s.

Estudios desarrollados: Oleaje Extremo

El oleaje de diseño que presentó una mayor altura en el nodo de análisis (N19) fue el asociado al tercer cuadrante (230°), con una altura igual a 4.79 m y 14 segundos de periodo, para 100 años de periodo de retorno:

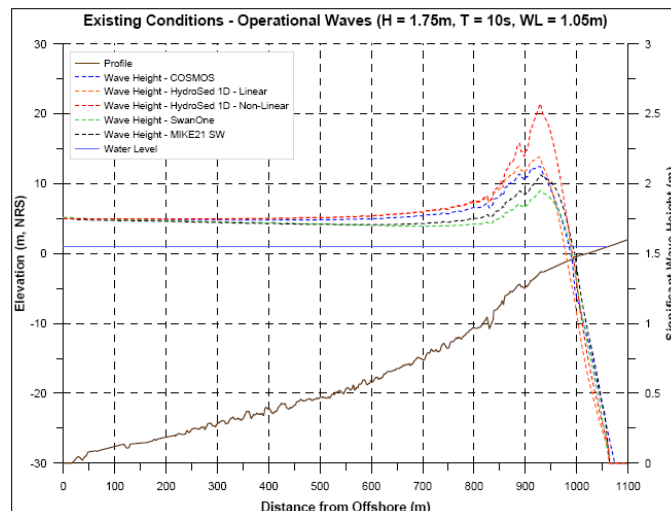
Dir (°)	Tp (s)	Período de Retorno	Curva	Hmo (m) Aguas Profundas	N19	
					Hmo(m)	DPK (°)
230	14	2	Superior	3.79	3.14	237
			Mejor Ajuste	3.68	3.05	237
		5	Superior	4.26	3.53	237
			Mejor Ajuste	4.00	3.31	237
		10	Superior	4.61	3.82	237
			Mejor Ajuste	4.25	3.52	237
		20	Superior	4.96	4.11	237
			Mejor Ajuste	4.49	3.72	237
		50	Superior	5.43	4.50	237
			Mejor Ajuste	4.81	3.98	237
100	Superior	5.78	4.79	237		
	Mejor Ajuste	5.05	4.18	237		



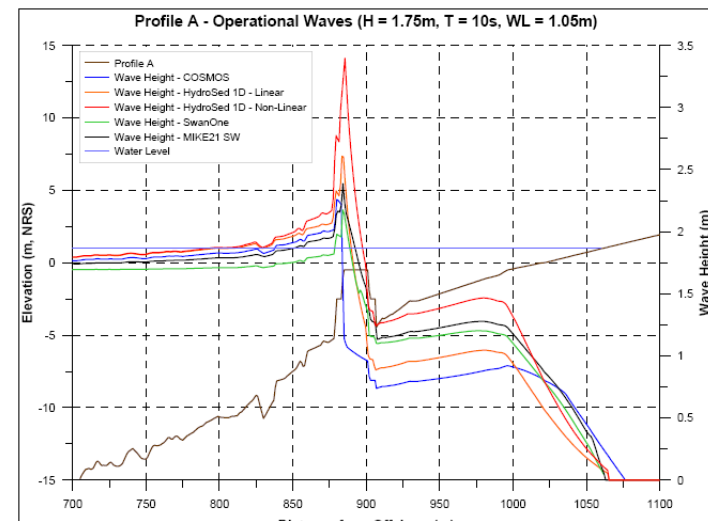
Estudios desarrollados: Transmisión del Oleaje

De modo de evaluar la transmisión del oleaje por sobre las estructuras propuestas se realizaron simulaciones con cuatro modelos numéricos diferentes, comparándose sus resultados para la situación existente y luego con las estructuras implementadas. Los resultados de estas modelaciones indican que existe una reducción de entre un 20% a un 60% en la altura de oleaje.

La variabilidad mostrada por los resultados de los modelos numéricos reafirma la necesidad de contrastar éstos con datos obtenidos en modelo físico, para así poder seleccionar y calibrar el modelo numérico que se utilizará en el diseño final.



Comparación de Modelos de Transmisión
Clima Operacional, en perfil sin proyecto

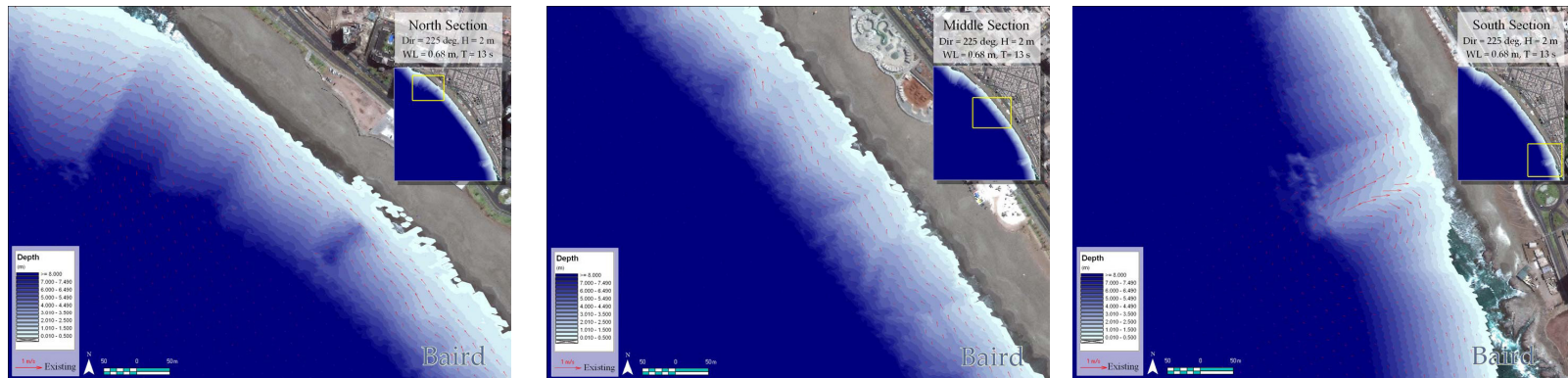


Comparación de Modelos de Transmisión
Clima Operacional, en perfil con proyecto

Estudios desarrollados: Análisis Bidimensional Corrientes por oleaje

Se realizaron simulaciones numéricas bidimensionales (modelo *HYDROSED*) con la finalidad de evaluar preliminarmente las corrientes inducidas por oleaje. Estas simulaciones consideraron tanto la condición existente como cuatro configuraciones de las obras, las que son:

- i. Rompeolas sumergido con aberturas,
- ii. Rompeolas sumergido con aberturas y espigones en los extremos,
- iii. Rompeolas sumergido en sección continua, y
- iv. Rompeolas sumergido en sección continua y espigones en los extremos.



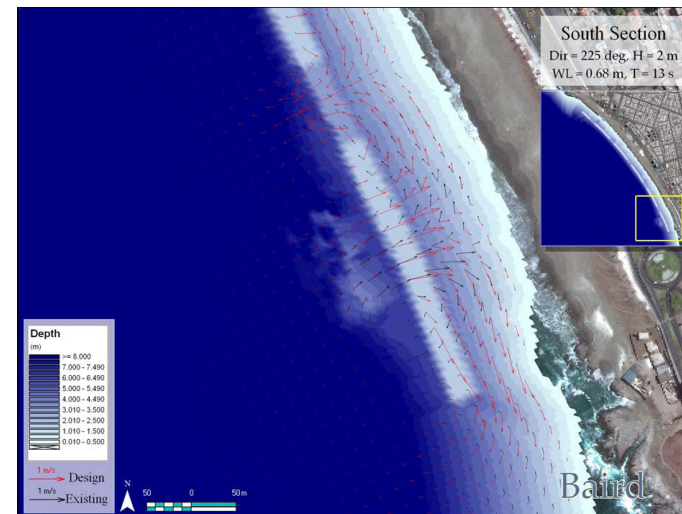
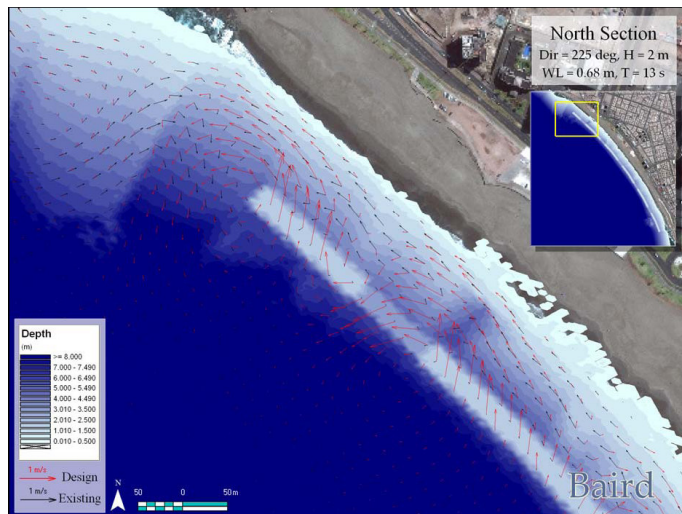
Corrientes en las condiciones existentes: Sectores Norte, Central y Sur del Área de Proyecto

Estudios desarrollados: Análisis Bidimensional Corrientes por oleaje

A modo de Ejemplo sólo se mostrarán algunos resultados para el caso i:

i. Rompeolas sumergido con aberturas

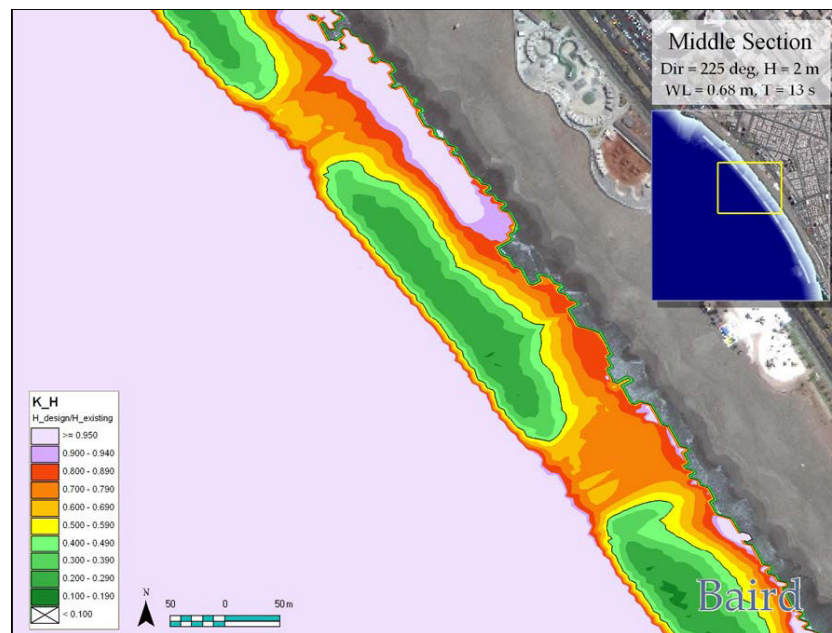
Esta alternativa, que corresponde a la configuración del proyecto conceptual, consiste en un rompeolas sumergido con cotas de coronamiento iguales a $-0,5$ m NRS y $-2,0$ m NRS, siendo esta ultima la cota del coronamiento en las “aberturas” del rompeolas.



Corrientes Rompeola Sumergido con aberturas: Sectores Norte y Sur del Área de Proyecto

Estudios desarrollados: Análisis Bidimensional Corrientes por oleaje

Se observa que detrás de las secciones de coronamiento alto se alcanza coeficientes transmisión de 0,5 o menos, mientras que detrás de las aberturas se obtienen valores cercanos a 0,7 o superiores.



Coefficiente de Transmisión de Oleaje con Rompeola Sumergido con aberturas:
Sector Central del Área de Proyecto

Estudios desarrollados: Análisis Bidimensional Corrientes por oleaje

Resumen:

Sus resultados fueron comparados de manera general y se determinaron conceptualmente sus impactos sobre las corrientes actuales en Playa Brava. Estos resultados indican que las corrientes litorales serán generalmente incrementadas en el área por sobre el rompeolas y en las aberturas.

Se observó que una estructura sin aberturas induce una corriente litoral menor a la de las condiciones existentes, y que la introducción de espigones en los extremos previene la formación de circulaciones locales adicionales. Basándose en estos resultados, la **estructura de sección continua** es la que provee una mayor tranquilidad (reducción de la energía del oleaje y corrientes) en el área por detrás del rompeolas.

Estudios desarrollados: Modelación Física 2D

Laboratorio: HR Wallingford, Inglaterra.

Características del Canal de Olas:

Largo:	40 mts.
Ancho:	1,2 mts.
Profundidad:	1,7 mts.
Escala Modelo:	1:25

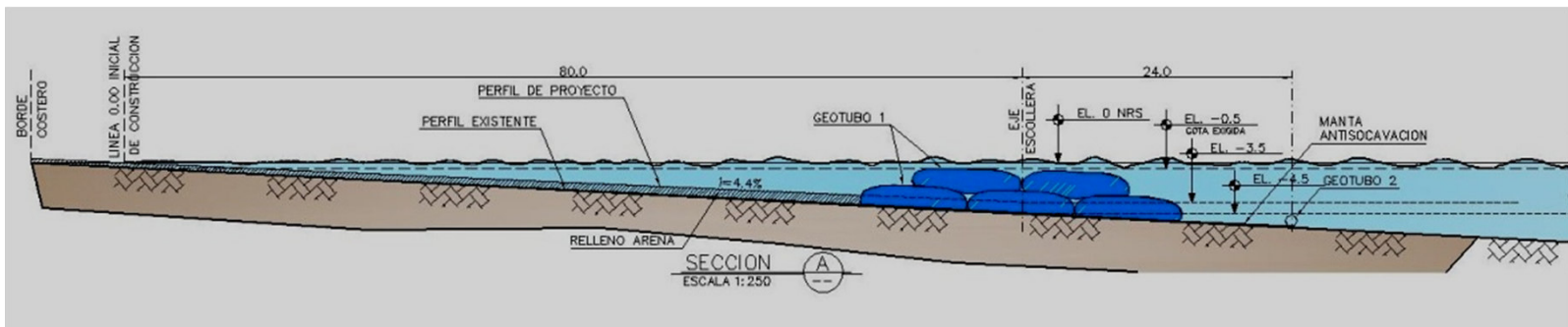
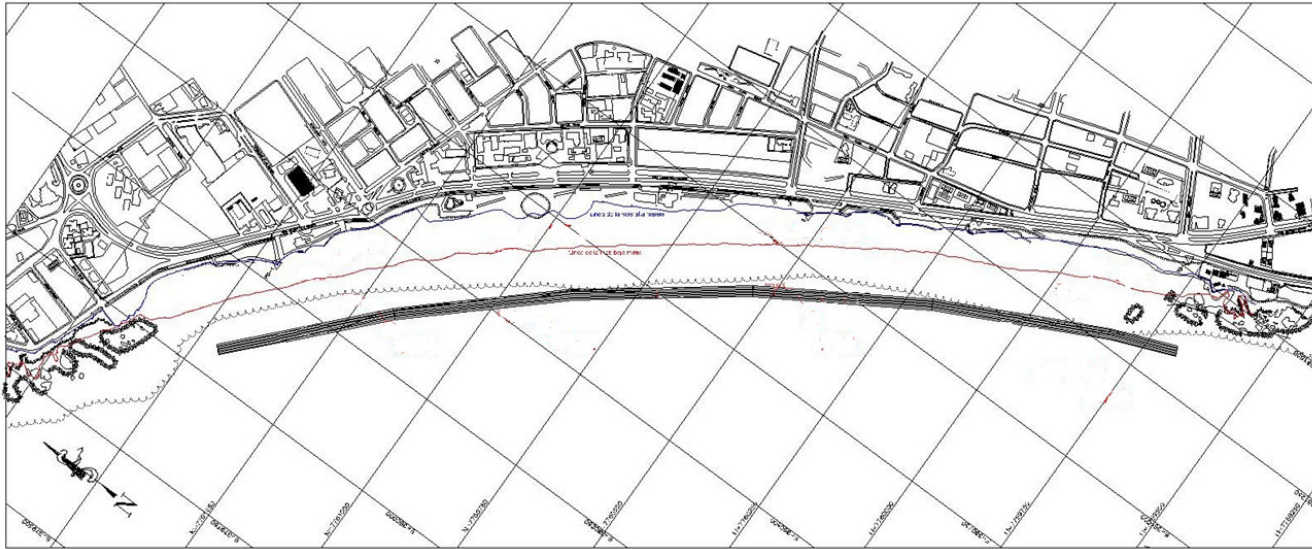
Los objetivos específicos de la serie de ensayos en modelo a escala bidimensional son los siguientes:

- Proveer de datos para calibrar y verificar los resultados de las simulaciones numéricas 2D, para así poder seleccionar el modelo más apropiado a ser utilizado en los ajustes finales de las estructuras durante la Etapa final del proyecto.
- Optimizar el diseño propuesto en la medida de lo posible dentro de la extensión del trabajo de modelación.

El modelo físico 2D se enfocó principalmente en simular los siguientes procesos físicos:

- Transformación del oleaje acercándose a la costa
- Respuesta del perfil de la playa
- Estabilidad de la estructura
- Condiciones de socavación local.

Estudios desarrollados: Modelación Física 2D

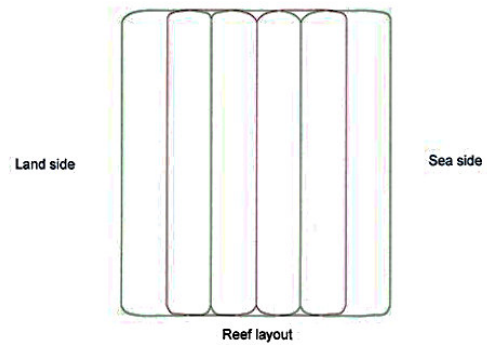
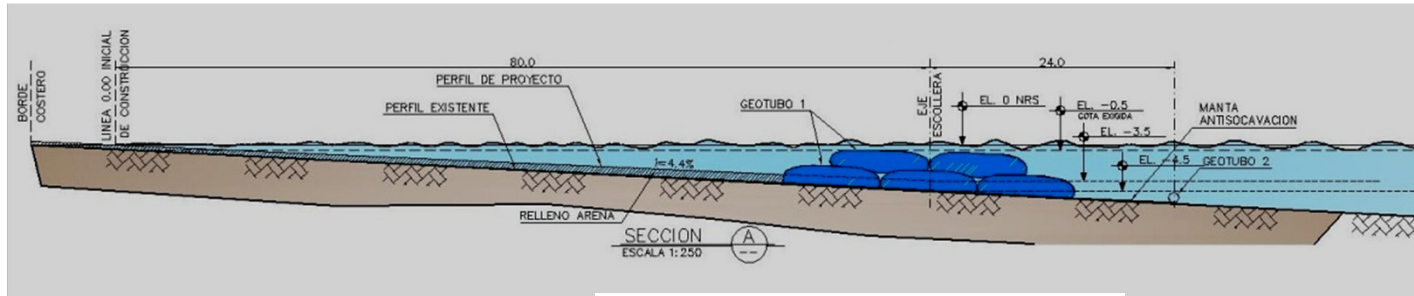


Estudios desarrollados: Modelación Física 2D

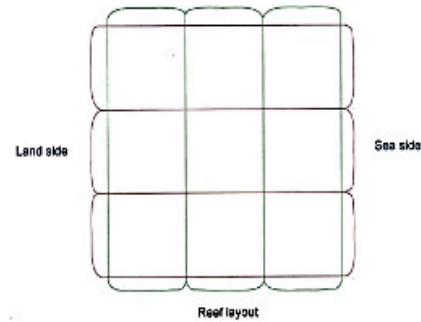
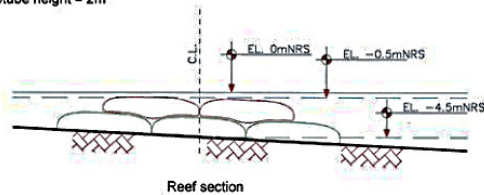
- Ensayos en canal de olas con el objeto de verificar la atenuación de oleaje
- Testear la estabilidad de la estructura
- 5 configuraciones diferentes ensayadas
- Movimientos de las estructuras de geotextil bajo condiciones de oleaje extremo
- Oleajes empleados en modelación considera:
 - Mareas: media mas bajas, nivel de medio, media de pleas máx.
 - 24 casos de oleaje.
 - Oleaje: Operacional (1,00 y 2,00), Tormenta 100 años (3,95)
 - Periodos: 10 -13 – 16 seg.

Estudios desarrollados: Modelación Física 2D

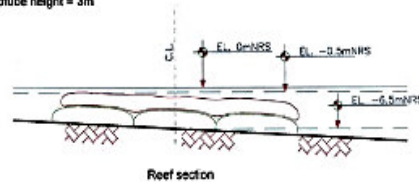
Serie de Ensayos



Geotube length = 30m
 Geotube perimeter = 21m
 Geotube height = 2m



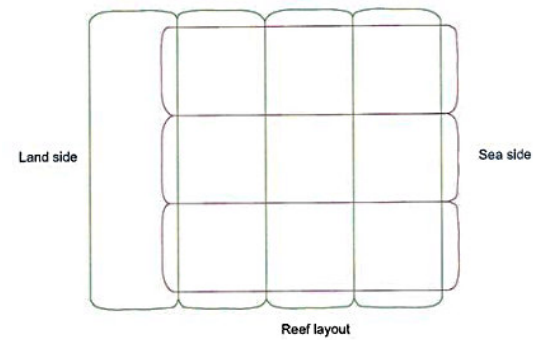
Geotube length = 30m
 Geotube perimeter = 21m
 Geotube height = 3m



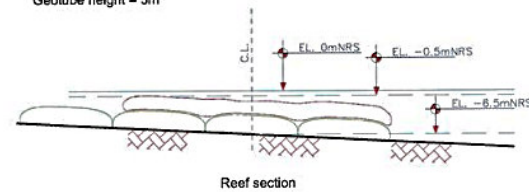
Se ensayaron estas configuraciones a la cota -4,5 NRS y -6,5 NRS.

Estudios desarrollados: Modelación Física 2D

Serie de Ensayos



Geotube length = 30m
 Geotube perimeter = 21m
 Geotube height = 3m

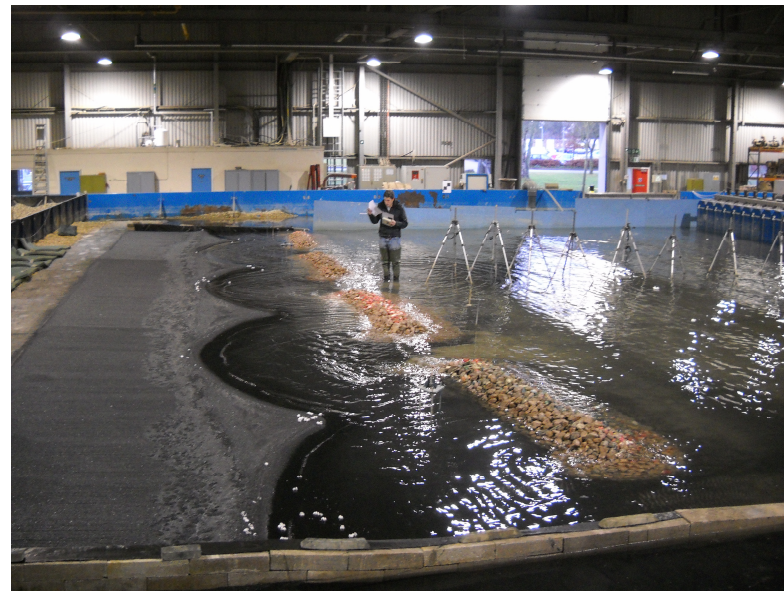


Estudios desarrollados: Modelación Física 2D

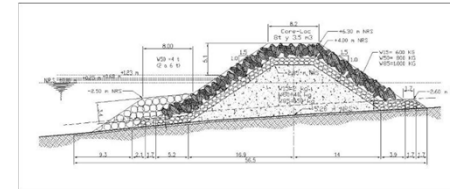
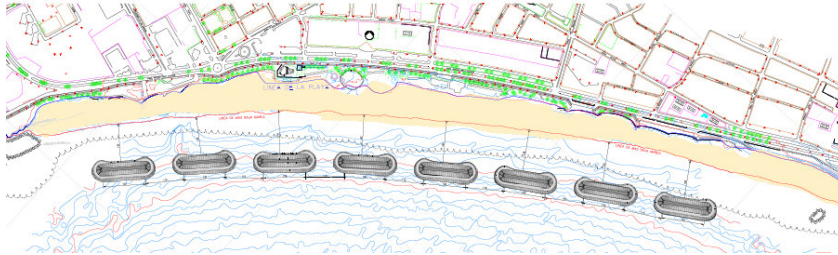
Conclusiones:

- Luego de los ensayos, se determinó que el comportamiento de los geotubos no es estructuralmente adecuado.
- Se observan desplazamientos y deformaciones en la casi mayoría de los ensayos realizados.
- Geotubos orientados de manera paralela al canal, mostraron tendencia a levantarse y desplazarse.
- Geotubos orientados de manera perpendicular a la costa generan levantamientos individuales y se observa fuga de material de las geo bolsas.
- Se determina que a partir de $H_{mo}=2,50$ mts con mareas en promedio de las menores bajamares, comienzan a ocurrir los daños.

Estudios desarrollados: Modelación Física 3D



Estudios desarrollados: Modelación Física 3D



Se han ensayado 4 alternativas de molos de abrigo a distintas profundidades (- 5 mts y -7 mts) y configuraciones de los elementos que lo constituyen (tamaño de las rocas al pie y elementos de hormigón), obteniéndose resultados similares en los sectores de los cabezos:



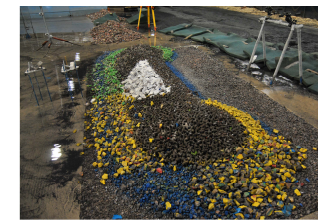
Hmo = 1.0 m



Hmo = 1.5 m

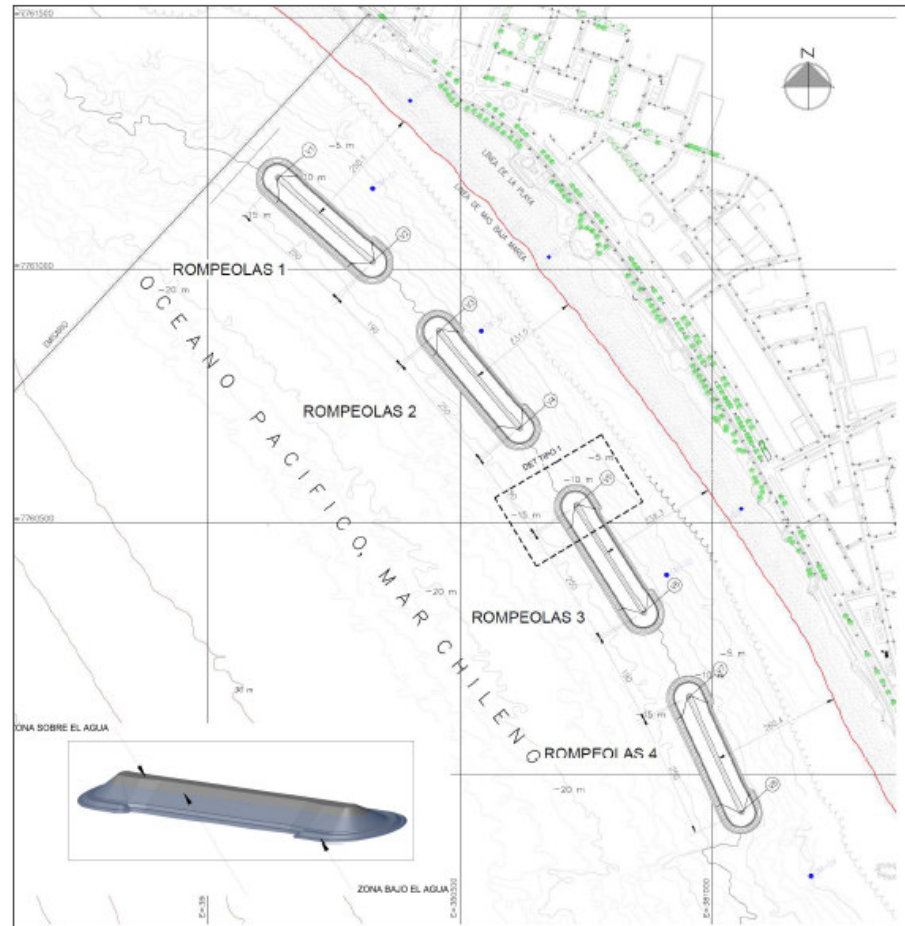


Hmo = 3,95 m

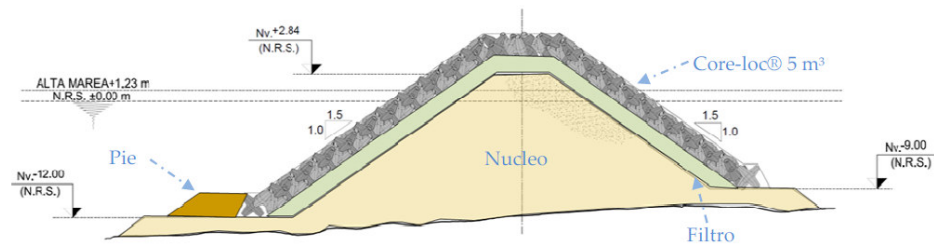
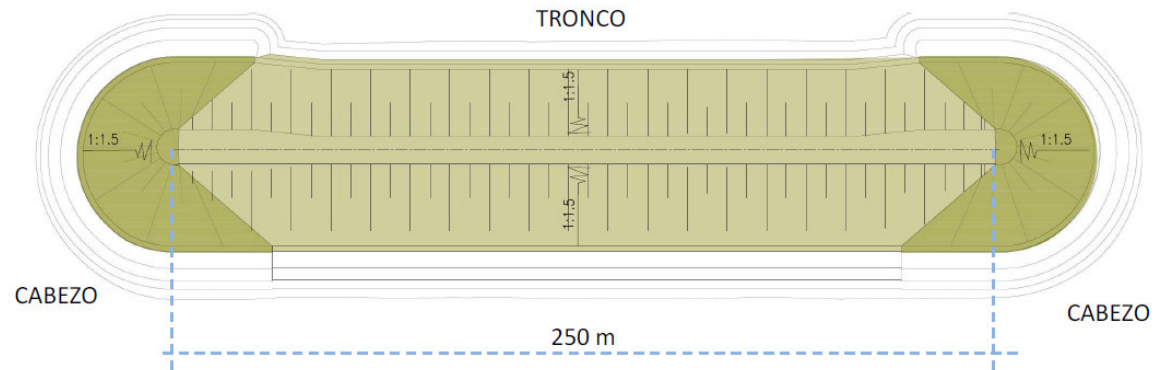


Hmo = 4,42 m

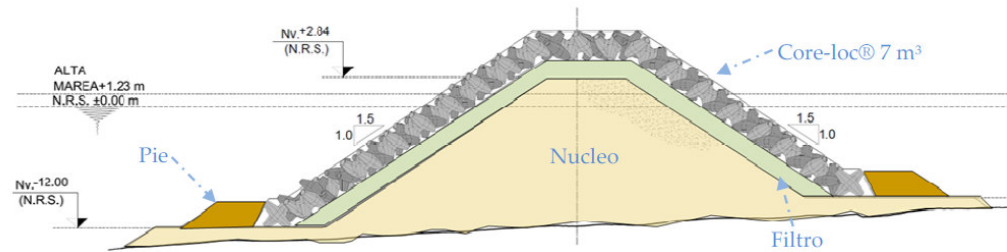
Estudios desarrollados: Modelación Física 3D



Estudios desarrollados: Modelación Física 3D



Sección Transversal Tronco Rompeolas



Sección Transversal Cabezo Rompeolas

Muchas Gracias



Ministerio de
Obras Públicas

Eduardo Mesina Azócar
Jefe División de Proyectos
Dirección de Obras portuarias
27 de Noviembre de 2012