

## ROMPEOLAS AISLADOS COMO ESTRUCTURAS DE PROTECCION COSTERA, RECUPERACION DE PLAYAS

**Autores: Roberto Sciarrone<sup>1</sup>, Rubén Melendez<sup>1</sup> y Sergio Loschacoff<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la Provincia de Buenos Aires

<sup>2</sup> Ingeniero de Proyecto Empresa Constructora

### Resumen

*La costa al sur de Punta Mogotes entre los Barrios La Serena y Los Acantilados de la ciudad de Mar del Plata, sufre procesos erosivos que producen la pérdida de superficie de playa y el retroceso de los acantilados poniendo en riesgo futuro en algunos sectores a la Ruta Provincial N°11.*

*Para remediar los procesos mencionados, se ha diseñado una obra con dos objetivos: proteger el acantilado contra la erosión y regenerar una playa estable para uso recreativo.*

*La obra consiste en un grupo de 4 rompeolas desvinculados de la costa, de 110 metros cada uno y separados entre sí 130 metros, que protege un frente costero de unos 850 m, acompañados con un Relleno Artificial de 250.000 m<sup>3</sup> de arena para la rápida formación de playa, evitando simultáneamente sustraer este material del transporte litoral de sedimentos. Se plantea un diseño de playa con formación de salientes - no tómbolos-. Este tipo de obra de protección costera, recuperación y estabilización de playa es la primera en realizarse en el país.*

*El proyecto de obra comenzó con un pre-diseño en base a fórmulas empíricas. En la etapa siguiente se aplicó modelación numérica para optimizar la geometría de las estructuras, complementándose con ensayos en modelo físico con el propósito de ajustar parámetros e incorporarlos al modelo mencionado. Se concluyó el proyecto con el diseño estructural y metodología constructiva.*

*Los Rompeolas Desvinculados, Diques Exentos o Detached Breakwaters, es una tecnología de protección de costas que se comenzó a aplicar en la costa de la provincia de Buenos Aires. La obra actualmente se encuentra en construcción con alentadores resultados en cuanto a la protección del acantilado y recuperación de la playa.*

*En este trabajo se presentarán los antecedentes para el pre-diseño, estudios realizados, metodología constructiva y primeros resultados observados en la etapa constructiva reciente.*

### INTRODUCCIÓN.

La erosión en la costa se manifiesta por causas naturales cuando el mar gana terreno debido a la acción del viento, oleaje y corrientes en un contexto de déficit sedimentario. Puede decirse que en un ambiente costero se producen procesos de transporte, remoción y sedimentación.

La costa al sur de Punta Mogotes entre los Barrios La Serena y Los Acantilados de la ciudad de Mar del Plata, sufre procesos erosivos que producen la pérdida de superficie de playa y el retroceso de los acantilados poniendo en riesgo en algunos sectores a la traza de la Ruta Provincial N° 11.

En la Figura N° 1 se presenta la imagen satelital de la zona afectada, y en la Fotografía N°1 se observa el perfil del acantilado con escasa o casi nula playa en algunos sectores al pie del acantilado.

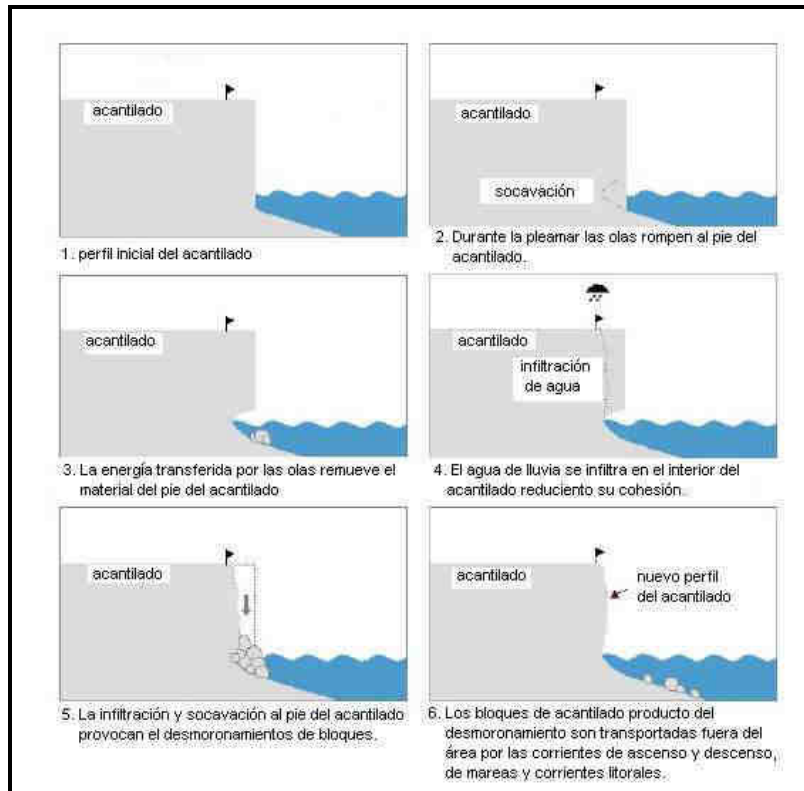


**Figura N° 1:** Imagen con la ubicación de la zona afectada por procesos erosivos.



**Fotografía N° 1:** Imagen del acantilado y playa en el área del proyecto.

El proceso erosivo que se produce al pie de un acantilado por la acción del oleaje se esquematiza en la figura siguiente (Figura N° 2). El oleaje debido a una acción continua va socavando el pie y por efecto de rotura de suelo se produce la caída de la parte superior del acantilado.



**Figura Nº 2:** Esquema del proceso erosivo sobre un acantilado.

En el área mencionada se ha planteado una obra que tiene dos objetivos: uno consiste en proteger el frente de acantilado de la erosión marina y el otro objetivo es regenerar una playa que se mantenga estable para uso recreativo sin formación de tómbolo. La obra consiste en un grupo de 4 rompeolas desvinculados de la costa, de 110 metros cada uno y separados entre sí 130 metros, acompañados de un Relleno Artificial de 250.000 m<sup>3</sup> de arena para la rápida formación de playa. Estos rompeolas se están construyendo con enrocado, constituidos por núcleo y coraza.

Mediante la materialización de los rompeolas se disminuye la acción del oleaje sobre la costa, al complementarse estos con un relleno artificial de arena permitirá evitar simultáneamente sustraer este material del transporte litoral de sedimentos y bajo acción de eventos de tormentas actuará produciendo un acomodamiento y un efecto buffer contra la erosión de la playa tratando de evitar que su alcance afecte al pie del acantilado.

Este tipo de estructura de protección que se emplea desde hace mucho tiempo en otros países tiene carácter novedoso en la costa de la Pcia. de Buenos Aires.

A diferencia de los espigones en T - combinación de espigón perpendicular a la costa con rompeolas paralelo a esta-, los rompeolas desvinculados carecen del espigón que lo conecta con la costa. Según como se diseñe los rompeolas se favorece la formación de salientes o tómbolos, en nuestro caso este último efecto es no deseado, se pretende la formación de salientes para permitir que parte del transporte litoral se movilice entre los rompeolas y la costa. La interrupción parcial del transporte longitudinal de sedimentos provoca un impacto ambiental negativo menor sobre la costa deriva abajo.

### **CLASIFICACIÓN DE ROMPEOLAS DESVINCULADOS DE LA COSTA.**

Los rompeolas pueden ser individuales o segmentados cuando lo constituyen varios rompeolas con una determinada separación (G) entre ellos. En relación a la cota de coronamiento respecto al nivel del mar se pueden clasificar en emergentes, sumergidos y semi-sumergidos.

a) Estructuras de protección constituida por rompeolas emergentes.

Los rompeolas construidos paralelos a la costa emergentes constituyen una barrera al oleaje.

La disminución de la acción del oleaje sobre la costa produce también una reducción de la corriente litoral pero sin llegar a interrumpirla. Este tipo de protección, principalmente produce difracción, reflexión y disipación de la energía del oleaje por rotura del mismo sobre el talud de la estructura.

La disminución de la energía entre las estructuras y la costa provoca reducción de la capacidad del transporte litoral, sedimentación y acumulación de arena que avanza sobre la línea de costa formando salientes o áreas de playa (ver figura N°3) y tómbolos de encontrarse los rompeolas muy cercanos a la costa.

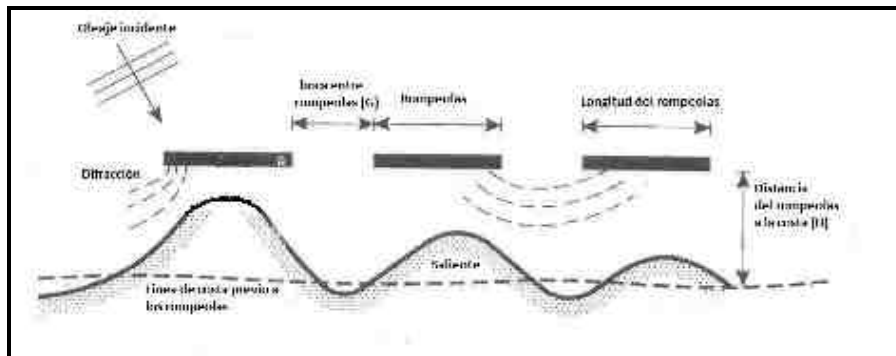


Figura N°3: Efectos morfológicos sobre la playa con rompeolas segmentados.

b) Estructuras sumergidas ((también conocidos como arrecifes artificiales).

En el caso de estas estructuras que funcionan permanentemente sumergidas el concepto de funcionamiento es disminuir la acción que provoca la erosión sobre la costa y crear condiciones hidráulicas para la sedimentación de arena lo cual permite la regeneración de las playas. En la figura N°4 se presenta un esquema donde se muestra el proceso de estabilización de la playa.

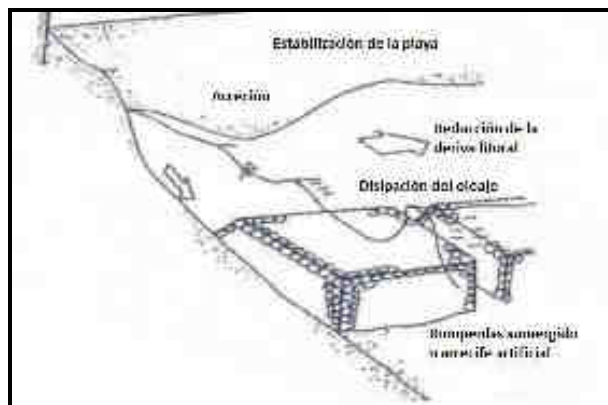


Figura N°4: Efectos de arrecifes ó rompeolas sumergidos (Pilarczyk)

El propósito de estas estructuras es también reducir la acción del oleaje de modo de mantener un equilibrio dinámico sobre la línea de costa. Para lograr este objetivo se la debe diseñar de tal manera que se logre transmitir solo una parte de la energía del oleaje incidente, esto se consigue a través de la disipación por sobrepaso o mediante la rotura del oleaje a través del pasaje del tren de olas sobre el coronamiento de la estructura.

La efectividad de los rompeolas sumergidos decrece con niveles de cota de coronamiento más sumergidos o con condiciones extremas de oleaje y niveles del mar que ocurren durante eventos de tormentas (mareas meteorológicas).

Algunas veces la presencia de estas estructuras permiten por si solas regenerar las playas pero otras veces es necesario realizar relleno artificial inicial y otros de mantenimiento.

*c) Estructuras semi-sumergidas.*

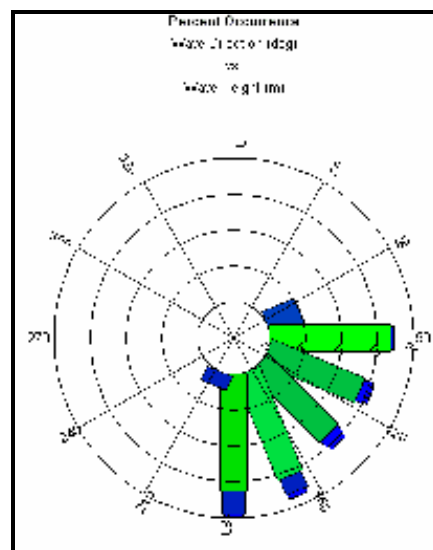
En este tipo de estructuras dependiendo de las condiciones de los niveles del mar, su coronamiento, se encontrará algunas veces sumergido y otras veces emergente.

El funcionamiento de estas estructuras variará por lo tanto, entre las emergentes y las sumergidas las cuales fueron descritas en los puntos a) y b).

### **INFORMACIÓN BÁSICA Y PRE-DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS ROMPEOLAS.**

La información básica y su correspondiente análisis estadístico que se requiere para encarar este tipo de proyecto es la siguiente:

- Información Batimétrica.
- Niveles del mar.
- Clima de olas (En la figura N°5 se observa como ejemplo la rosa de oleaje.)



**Figura N°5:** Rosa de oleaje

- Granulometría de los sedimentos en en el área de emplazamiento de la obra.

#### *Pre-diseño de las estructuras*

Se cuenta con una serie de fórmulas empíricas que hacen posible realizar un pre-diseño de las estructuras rompeolas. Estas fórmulas que surgen de obras realizadas predicen el tipo de comportamiento morfológico de la playa sea tómbolos o salientes en función principalmente de la relación entre la longitud del rompeolas, su distancia a la costa, distancia entre rompeolas, longitud de ola en el lugar de la estructura entre otras. Cuando la estructura es sumergida o semi-sumergida también interviene el coeficiente de transmisión  $K_t = H_t / H_i$  (altura de ola transmitida/ altura de ola incidente). Para el pre-diseño se consideró la formación de salientes, para ello se aplicaron las siguientes formulaciones:

## COMPROBACIONES DEL PROYECTO BASADAS EN RELACIONES EMPIRICAS

En el presente proyecto de rompeolas aislados múltiples los parámetros principales son:

Longitud del rompeolas:	$L_s =$	110 m
Longitud de la boca :	$L_g =$	130 m
Distancia del rompeolas a la línea de costa:	$X =$	225 m
Longitud de saliente según Hsu and Silvester	$X_s =$	32.5 m
Longitud de saliente según Pope and Dean	$X_s =$	65 a 185 m
Longitud de saliente según Suh and Dalrymple	$X_s =$	97 m
Longitud de ola en la zona de la estructura	$L =$	40 80 m
Línea exterior de rompiente	$X_{b\text{ media}} =$	168.75 m

Las distancias  $L_s$  y  $L_g$  se encuentran medidas al nivel 0,00 m I.G.M. (N.M.M.)

La línea exterior de rompiente se considera ubicada entre 0,5 y 1 vez el valor de X

**INMAN & FRAUTSCHY (1966)** -un rompeolas- no ocurre pronunciada acresión cuando  $L_s < 0.17-0.33 X =$

$$L_s < 38.25 \text{ metros} - 74.25 \text{ metros}$$

En este caso  $L_s$  es 110 metros por lo tanto debería haber acresión.

Según **NIR (1982)** la acresión es muy baja o no ocurre cuando  $L_s < 0.5 X = 112.5$  metros

La diferencia por debajo del límite es mínima, en nuestro caso  $L_s$  es 110 metros, por tanto la acresión es muy baja o no ocurre, aunque debe considerarse el Relleno Artificial

Según **GOURLAY (1981)**

a) El Tómbolo solo se forma si la estructura está en la zona de Surf -

La estructura en nuestro caso no se encuentra dentro de la zona de surf a lo sumo, en circunstancias no ordinarias en su límite.

b) Patrón de difracción no interferida, resulta en 2 sistemas de corrientes independientes y posible formación de doble tombolo para  $L_s > 2 X = 450$  metros

En este caso  $L_s$  es 110 metros por lo tanto no debería formar tómbolo.

d) Corrientes que no se interfieren suficientemente fuertes como para transportar material resultan en formación de tombolos para valores intermedios de la relación  $L_s = 0,67 \text{ a } 1 X = 151 \text{ a } 225$

En nuestro caso el  $L_s = 110$  metros por tanto verifica el no tómbolo

Según **GOURLAY (1981)** Hace observaciones basadas en la respuesta de los rompeolas prototipos de Israel y Japón

a) La formación de tómbolo solo puede ocurrir si la estructura se encuentra dentro de la zona de Surf

$$L_s > 0,67 X = 151$$

En nuestro caso el rompeolas se ubica fuera de la zona de surf y presenta un  $L_s = 110$  metros

Según **HSU & SILVESTER (1990)**- Figura 5.7; pagina 157 -Offshore Breakwaters and Shore Evolution Control

( para un solo rompeolas)

$$L_s / X = 0.49 \quad \Longrightarrow \quad X - X_s / L_s = 1.75$$

La longitud de la saliente según estos autores en nuestro caso resulta  $X_s = 32.5$

Según **SHORE PROTECTION MANUAL (1984)** No forma tómbolo si  $L_s < X$  y forma tómbolo seguro si  $L_s > 2X$

En este caso  $L_s < X \quad \Longrightarrow \quad 110 < 225 \quad \Longrightarrow$  por tanto no se forma tómbolo.

Según **DALLY & POPE (1986)** para rompeolas aislados múltiples se cumple:

a) Para formación de tómbolo  $L_s = 1,5 X$  con  $L < L_g < L_s$   $L_s = 1,5 X = 337.5$

b) Para formación de salientes  $L_s / X = 0,5 \text{ a } 0,67$  En nuestro caso  $L_s / X = 0.49$

En nuestro caso se produce, según estos autores, formación de saliente.

Según **TOYOSHIMA (1972,1974)**. Recomendaciones geométricas basadas en la profundidad donde se funda la estructura

c) Para sistemas segmentados que se ubican en profundidades medias de 2 a 4 metros

$$L_s = 2 \text{ a } 6 L \text{ (} L_s \text{ recomendada } 60 \text{ a } 200 \text{ m)} \quad 80 \text{ a } 160 \quad \text{En nuestro caso } L_s = 130 \text{ m}$$

$$L_g = L \quad (\text{ } L_g \text{ recomendada de } 20 \text{ a } 50 \text{ m)} \quad \text{En nuestro caso } L_g > L; L_g = 130 \text{ m}$$

$L_s / X = 1$ a $3,3$	En nuestro caso $L_s / X = 0.49$	
En nuestro caso las estructuras se ubican a más de 4 metros de profundidad, no se cumplen las dos últimas recomendaciones		
Según <b>POPE &amp; DEAN (1986)</b> Presentan un gráfico basado en siete proyectos realizados en USA donde hubo ocurrencia de tómbolos, salientes o no sinuosidad como respuesta de playa.		
Entrando por abcisa con $L_g / L_g =$	0.85	se obtienen $(X - X_s) / d =$
Para esos dos valores los $X_s$ límites serían iguales a	185	65
Según los supuestos en el proyecto el resultado es formación de salientes.		
Según <b>AHRENS &amp; COX</b> proponen el <b>Índice de respuesta de playa</b> presentado por POPE & DEAN para predecir resultados morfológicos.		
$I_s = e^{(1.72 - 0.41 L_s / L_g)}$		
$I_s = 1$ Formación de tómbolo permanente.		
$I_s = 2$ Formación de tómbolo periódico.		
$I_s = 3$ Salientes bien desarrolladas.		
$I_s = 4$ Saliente escasa.		
$I_s = 5$ Ninguna sinuosidad.		
Para este proyecto $I_s =$	3.95	
Por tanto el resultado sería entre formación de Saliente bien desarrollada y Saliente escasa		
<b>SEIJI, UDA &amp; TANAKA (1987)</b> Basados en la investigación sobre 1.500 rompeolas realizados en Japón predicen la erosión que se produce opuesta a la boca.		
$L_g / X < 0.8$	No erosión frente a la boca	
$0.8 < L_g / X < 1.3$	Posible erosión frente a la boca.	
$L_g / X > 1.3$	Segura erosión frente a la boca.	
En este proyecto $L_g / X =$	0.58	
Por tanto no se produce erosión frente a la boca.		
<b>SUH &amp; DALRYMPLE (1987)</b> Longitud de salientes con olas monocromáticas en laboratorio y para un rompeolas		
$X_s = 0.156 L_s$	$X_b < 0.5 X$	$R = 0.98$
$X_s = 0.317 L_s$	$0.5 X < X_b < X$	$R = 0.85$
$X_s = 0.377 L_s$	$X_b > X$	$R = 0.75$
En este proyecto $0.5 X < X_b < X$ por lo tanto $X_s = 0.317 L_s$ o sea $X_s =$		<b>35 metros</b>
Esta relación da valores mayores que los reales excepto en playas de bolsillo (pocket beach) con periódica formación de tómbolo		
Para combinación de datos de laboratorio con datos de prototipo $X_s = X (14.8) (L_g X / L_s^2) e^{(-2.83 L_g X / L_s^2)}$		
En este proyecto sería $X_s =$	<b>99</b>	metros
Para múltiples rompeolas aislados tómbolos ocurren ( $X_s = X$ ) cuando $L_g X / L_s^2 \sim 0.5$		
En el proyecto $L_g X / L_s^2 =$	2.42	
Entrando con el valor $L_g X / L_s^2 = 2.42$ en la Figura 5.9 ; pagina 159 para Rompeolas Segmentados del libro Offshore Breakwaters and Shore Evolution Control se verifica		
	$X_s / X = 0.43$	<b><math>X_s = 97</math></b>

## APLICACIÓN DE MODELACIÓN MATEMÁTICA Y FÍSICA PARA EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN.

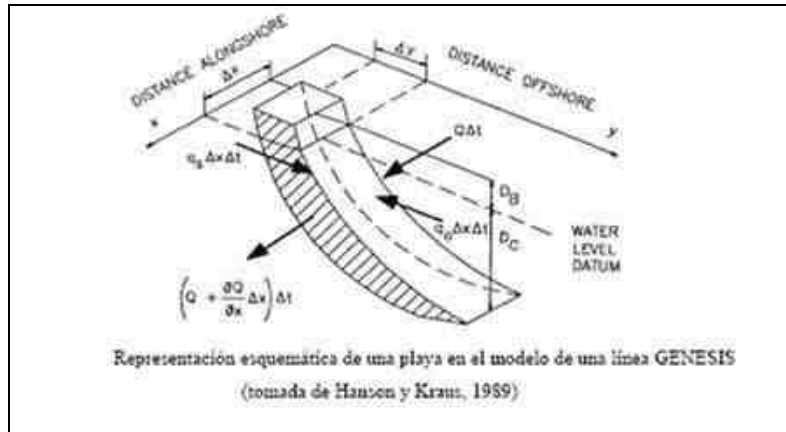
Como herramientas para optimizar los diseños de este tipo de estructuras en el mar se pueden emplear modelos matemáticos complementándose con la modelación física.

En la obra mencionada, para estudiar el efecto morfológico sobre la playa se aplicó un modelo matemático de evolución a largo plazo de una sola línea.

Este modelo permite estudiar la evolución de la planta de las playas causados principalmente por efectos de oleaje, el cual puede abarcar unos pocos cientos de metros a varios kilómetros y

con respecto al tiempo se los conoce como de largo plazo abarcando períodos de tiempo de meses o años.

En los modelos de línea de costa, la evolución de la playa se representa por el cambio de dicha línea. Este cambio de la línea de costa se produce por las variaciones del transporte longitudinal de sedimento en el tiempo a lo largo de la costa (ver figura 5).



**Figura N° 5:** Esquema de distribución de la carga sedimentológica asumida por el modelo morfológico

El modelo matemático permite incorporar estructuras costeras, que para este proyecto en concreto consiste de los rompeolas desvinculados de la costa, también posibilita analizar distintas condiciones de relleno de arena de playa, y de esta manera obtener el efecto resultante sobre la costa.

El modelo matemático morfológico requiere introducir ciertos parámetros, de los cuales, algunos de ellos fue necesario determinarlos mediante la ejecución de ensayos en modelo físico en un canal de olas considerando la configuración geométrica particular de la estructura proyectada. Estos ensayos se ejecutaron en el Laboratorio de Hidráulica perteneciente al Instituto Nacional del Agua. Los ensayos en modelo físico tuvieron dos objetivos, uno determinar los coeficientes de transmisividad del oleaje y el segundo la estabilidad del enrocado.

En la siguiente fotografía se observa una instantánea del ensayo en modelo físico.



**Fotografía N2 :** Ensayo en canal de olas para la estructura rompeolas (Esc. de longitud 1:22)



En la figura N° 6 se observa a modo de ejemplo el resultado de la modelación matemática aplicada para un periodo de tiempo simulado, donde se observan los rompeolas y las salientes generadas para ese momento. Se debe mencionar que el proceso es dinámico por lo que la geometría de las salientes varía de acuerdo a las condiciones de oleaje. Mediante la aplicación de las formulas empíricas y la modelación numérica se obtuvo que rompeolas de 110m separados 130m arrojan buenos resultados.



Figura N° 6: Ejemplo del resultado del modelo matemático para un momento dado

### OPTIMIZACIÓN DE LOS RELLENOS DE PLAYA.

Una de las funciones que realizan las playas, es la disipación y reflexión de la energía de oleaje que incide sobre ellas. Esta modificación de la energía incidente evita, o al menos reduce, los efectos de la dinámica marina sobre las infraestructuras existentes en el trasdós de la playa, en particular en este caso consiste en proteger el pie del acantilado a la erosión.

Puede decirse que para que un perfil de playa logre defender correctamente la costa, ha de contar con un volumen de arena suficiente, tanto en su perfil activo como en su perfil sumergido. La disposición de dicho volumen constituye junto con las características del sedimento los parámetros que determinan la capacidad de defensa de la costa de una playa. Se debe además considerar dentro de la función de defensa de costa, que la misma se realiza bajo la acción de eventos extraordinarios de temporal.

Esta obra contempla el aprovisionamiento de un volumen de arena para el relleno de playa en la medida que progresivamente se ejecuten las estructuras de los rompeolas que generan las condiciones de estabilización de la playa. El empleo del modelo morfológico nos permitirá optimizar el repoblamiento previsto en la obra.

Dado que los efectos erosivos que se pudieran producir sobre la zona a proteger sucederían en los primeros meses de ejecutada la obra, hasta que las estructuras permitan retener y estabilizar la arena para conformar la morfología de salientes, es que con la modelación se analizó cual sería la mejor manera de distribuir la arena de relleno.

El modelo considera que la arena colocada tomará un perfil típico de equilibrio que alcanzará su punto cero en la profundidad de cierre y arriba con un ancho de berma que es el que visualizará el modelo, por lo tanto se analizó con la modelación diferentes esquemas de relleno

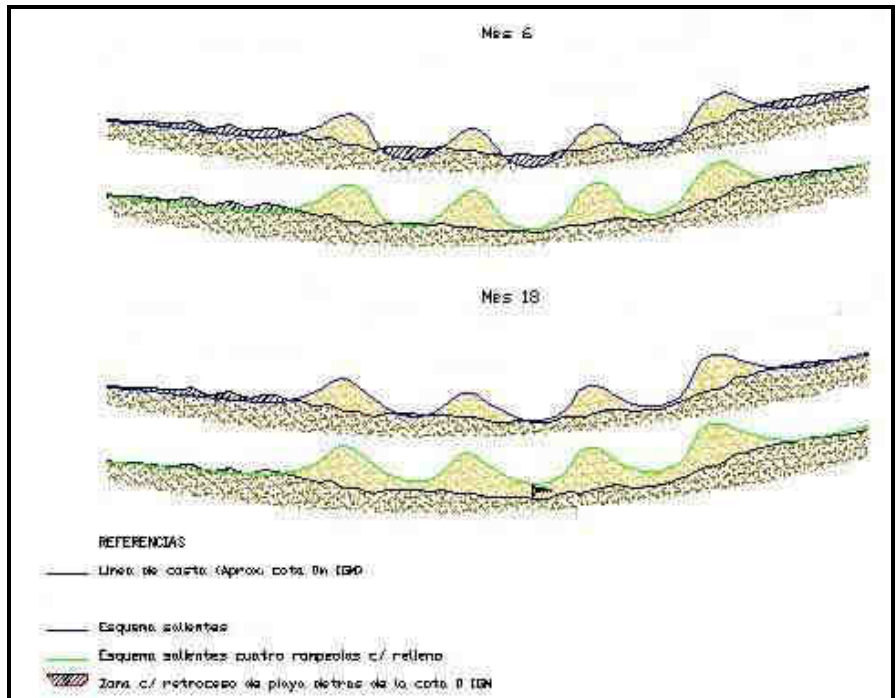
a realizarse en el período de obra. Se comenzó con analizar un ancho constante, el cual no tuvo buenos resultados, pero permitió observar que la zona crítica se encuentra en los espacios abiertos entre los rompeolas. Por lo tanto se simularon varias alternativas con anchos mayores en las zonas abiertas y menores detrás de los rompeolas. Resultando como mejor opción un ancho de 40m en la zona de las aberturas (130m de frente por cada abertura) y 15m de ancho de playa en la zona detrás de los rompeolas (Ver Figura N7). Se coloca mayor relleno en la zona de las aberturas debido a que por la conformación de las estructuras el mar movería la misma hacia el sector detrás de los rompeolas para producir la formación de salientes.

En la Figura N°8 se observa los resultados a los 6 meses y 18 meses sin aplicar y aplicando un relleno de playa. Los rellenos de playa en el modelo morfológico para los cuatro rompeolas de 110m muestran los siguientes efectos como se observa en la figura: a los seis meses de ejecutada la obra la erosión en los valles (entre aberturas de los rompeolas) casi no se manifiesta, solo y mínimamente en la última abertura del norte; y a los 18 meses ya no se observan erosiones.

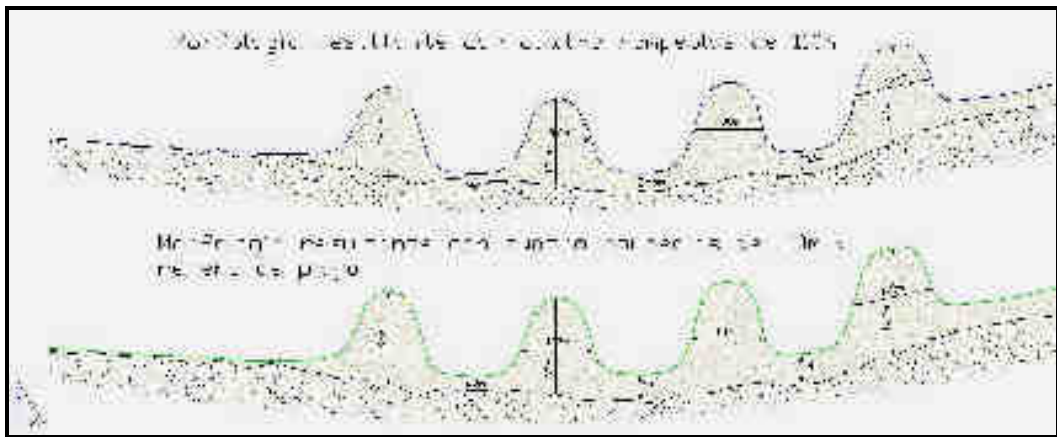
En la figura N9 se observa los resultados de la modelación luego de varios años, donde en la zona de valles se manifiesta un incremento del ancho de playa mayor con la aplicación del relleno.



**Figura N7:** Esquema de reemplazamiento de playa inicial



**Figura N°8:** Resultados comparativos de salientes sin relleno y con relleno de arena en playa a 6 y 18 meses.

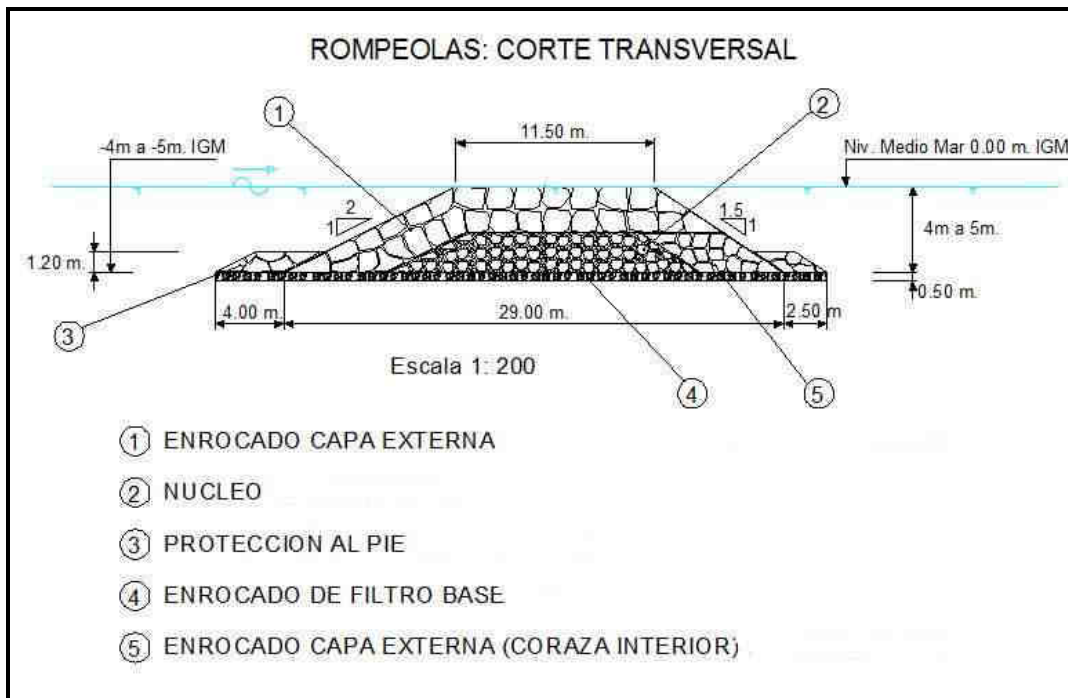


**Figura N°9:** Resultados comparativos de salientes sin relleno y con relleno de arena en playa después de varios años de simulación.

### DISEÑO ESTRUCTURAL.

Se efectuó el dimensionamiento de las diferentes capas de enrocado que constituyen los rompeolas, y cuya piedra de coraza fue verificada mediante ensayos en modelo físico. En los cálculos se han aplicado formulaciones para estructuras semi-sumergidas.

En la Figura N°9 se presenta un corte transversal de los rompeolas.



**Figura N°9:** Corte transversal del rompeolas

### PROTECCIÓN ADICIONAL AL PIE DE ACANTILADO

Dado que esta obra tiene como propósito la protección de la costa y regenerar playa. La misma protegerá el pie de acantilado únicamente con la arena de relleno y la que se acumule con el tiempo mediante la formación de salientes por efecto de las obras, lo cual atenuará el oleaje que pudiera alcanzar la costa. Este tipo de defensa del pie de acantilado es conocida como blanda, por lo tanto es posible bajo eventos extraordinarios puedan provocar acciones erosivas sobre la arena presente y alcanzar el pie de acantilado.

Por ello se consideró apropiado proponer una línea de defensa adicional del pie de acantilado (protección de segunda instancia) la cual la constituiría una línea de defensa más rígida aproximadamente paralela a la barranca y apoyada próxima a la cota cero del nivel actual de playa, se adopta esta cota dado que en la modelación matemática se considera a este nivel como línea de costa y por lo tanto no afectaría a los resultados de la modelación realizada.

Aprovechando que esta protección se ubicaría a distancias variables desde la barranca (aproximadamente de 20m), entre el acantilado y la misma se practicarán rellenos que servirán como una plataforma de circulación cuya cota sería igual +3.0m IGM, lo cual casi no estaría expuesta de los efectos de eventos de tormenta.

Esta defensa se materializa con una línea de tubos de geotextil rellenos de arena, la cual constituye una estructura para retención de la arena de relleno entre la barranca y la protección llegando estos a cota de coronamiento +3.0m, y se protege el frente de los geotubos mediante un enrocado con talud 1: 2 hasta cota +2.0m.

El relleno de arena cubriría el enrocado uniéndose con la arena de repoblamiento de playa, por lo tanto no se observaría a simple vista el enrocado de protección. En eventos de tormenta extraordinarios estos podrían descubrirse pero protegerían siempre el pie de acantilado, por lo que posterior al evento sería conveniente volver a cubrir con arena la zona descubierta. La cota superior del relleno de playa propiamente dicho llegará a cota +3m IGM.

En la siguiente fotografía (N°3) se observa la etapa constructiva de la protección adicional al pie de acantilado.



**Fotografía N°3:** ejecución de la protección al pie de acantilado

#### **METÓDO CONSTRUCTIVO.**

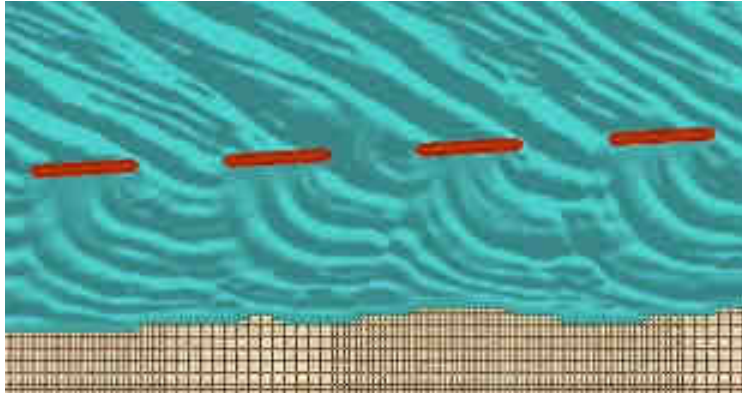
La ejecución de los rompeolas se realiza desde tierra, para ello se construyen espigones de acceso que una vez concluido cada rompeolas se retrocede llevando el mismo a la cota de coronamiento de diseño y se retira el espigón de acceso dejando finalmente al rompeolas desconectado de la costa. En la fotografía siguiente se observa el procedimiento,



**Fotografía N°4:** Rompeolas desvinculado y remoción del espigón de acceso

## OBSERVACIONES PRELIMINARES.

En la figura siguiente se presenta una imagen obtenida a partir de la aplicación de la modelación matemática para un grupo de rompeolas (gentileza del Laboratorio de Hidráulica del INA) donde se observa la difracción del oleaje por la presencia de los mismos y en la Fotografía N°5 se observa el mismo efecto en el prototipo correspondientes a los rompeolas que se están ejecutando.



**Figura N°10:** Modelación numérica, difracción del oleaje por la presencia de un grupo de rompeolas (Laboratorio del Hidráulica – INA)



**Fotografía N°5:** Difracción del oleaje por los rompeolas construidos.

Al presente se ha concluido con la remoción del primer acceso y por lo tanto el primer rompeolas se encuentra completamente desvinculado observándose la formación de saliente detrás del mismo. El Rompeolas N° 2 se encuentra terminado y se esta removiendo el segundo acceso.

En las **Fotografías N°5, 6 y 7** se puede observar otras vistas del Rompeolas N° 1, en Bajamar y Pleamar



**Fotografía N°6:** Rompeolas N 1 – Marea Baja + 0.70 m SHN



**Fotografía N°7 :** Rompeolas N 1 – Marea Baja + 0.40 m SHN



**Fotografía N°7** : Rompeolas N° 1 – Pleamar + 1.20 m SHN

Esta experiencia permitirá evaluar los procesos sedimentológicos en prototipo que contribuirá a optimizar el diseño para los próximos proyectos similares.

***Fuentes Consultadas y Modelo Numérico Empleado***

- Functional Design of Breakwaters for Shore Protection: Empirical Methods –CERC sep. 1990 – USA - NTIS
- An Alternative Design Approach For Detached Breakwaters Projects –CERC sep. 1990 – USA – NTIS
- Offshore Breakwaters and Shore Evolution Control – by Krystian W.Pilarczyk and Ryszard B. Zeidler- Netherlands
- Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering – CIRIA – CUR – London – Great Britain –
- Principles of Coastal Morphological – Leo C. Van Rijn – University of Utrecht – Delf Hydraulics - The Netherlands
- Coastal Engineering Manual – CHL –US Army Corps Of Engineers – USA
- Software CEDAS (Coastal Engineering Design and Analysis System ) – CHL –US Army Corps Of Engineers – USA