

**XXI CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
SÃO PEDRO, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL, OCTUBRE, 2004**

**ESTABILIDAD Y FUNCIONAMIENTO DE
ROMPEOLAS SUMERGIDOS EN AGUAS POCO PROFUNDAS**

*Juan B. Font; Miguel A. Márquez
Incostas Chile, S.A., Santiago, Chile
Pablo Pozo; Alan D. Omeñaca
Instituto Nacional de Hidráulica, Santiago, Chile*

Incostas Chile, S.A.
Cerro Colorado 5030, Ofc. 703, Santiago, Chile
Tel: +56 (2) 201.53.74, Fax: +56 (2) 201.53.60
E-Mail: jbfont@incostas.com -
mmarquezz@incostas.com

Instituto Nacional de Hidráulica
Nataníel Cox 31, ofc. 36 – Santiago, Chile
Teléfono: +56 (2) 8121559; Fax : +56 (2) 8120100;
E-mail: ppozo@inh.cl - aomenaca@inh.cl

RESUMEN

Este artículo discute el comportamiento hidráulico y estructural de rompeolas de escollera con cota de coronamiento próxima al nivel medio del mar. Los ensayos en que se basa este artículo se ejecutaron en el modelo físico bidimensional del Instituto Nacional de Hidráulica (I.N.H.) de Chile. Este tipo de estructura se suele utilizar para amortiguar el oleaje sin eliminarlo y para retener rellenos artificiales de arena. En los ensayos de laboratorio reportados se hace énfasis en oleajes que rompen antes de llegar a la estructura por cuanto en la bibliografía disponible hay escasa referencia a esta condición o los resultados se presentan en forma que hace difícil diferenciarla de la ola no rompiente. En concordancia con la bibliografía disponible la data presentada en este artículo tiene una notable dispersión, lo que respalda la conveniencia de optimizar el diseño de cada caso particular con un modelo hidráulico físico. La data de oleaje transmitido, nivel de deterioro de la estructura y sobreelevación del nivel medio del mar en la Poza Interior se presenta en gráficos adimensionales con los puntos experimentales agrupados según parámetros adimensionales que se han estimado más relevantes.

ABSTRACT

This paper discusses the hydraulic and structural performance of rubble-mound breakwaters with crest elevation close to the mean sea level. The tests reported in this paper were held in the laboratory of the Instituto Nacional de Hidráulica (I.N.H.) in Chile. This class of breakwaters is normally used to damp the waves allowing the partial transmission as well as for artificial sand fill retaining. In the reported laboratory tests emphasis is made in waves that break before reaching the structure for the current bibliography make scarce reference to this condition or present the data in a way that makes troublesome the distinction with the non breaking wave case. In agreement with the current bibliography the present data shows a high dispersion, which backs up the need to optimize every design by means of a hydraulic physical model. The data of transmitted wave height, structural damage level and ponding in the interior basin are presented in dimensionless graphs with the experimental points grouped by the most relevant dimensionless parameters.

PALABRAS CLAVE

Hidráulica Marítima, Rompeolas Sumergidos, Modelo Físico, Playas Artificiales.

INTRODUCCIÓN

Rompeolas de cota baja, altamente rebasables por el oleaje, se utilizan con frecuencia como obras de protección de playas artificiales. Los objetivos fundamentales de estas estructuras son:

- Reducir la energía del oleaje que ingresa en la playa para mejorar la seguridad y el confort de los bañistas y
- Servir como dique de contención del relleno artificial de arena.

Dentro del tema general de estabilidad hidrodinámica y funcionamiento hidráulico de rompeolas de escollera, la bibliografía consultada es relativamente escasa en el caso de estructuras con notable sobrepaso del oleaje y, dentro de este grupo, la mayoría de las referencias se basan en ensayos con olas que no rompen antes de alcanzar la estructura.

En el presente artículo se presenta la generalización de los resultados de ensayos realizados en el Instituto Nacional de Hidráulica (I.N.H.) en Santiago de Chile.

Los fenómenos a que se hará referencia en este estudio son:

- Transmisión del oleaje detrás del rompeolas.
- Estabilidad de las rocas del rompeolas en función de los parámetros de geometría.
- Sobreelevación del nivel medio detrás del rompeolas.

SISTEMA EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizaron en el canal bidimensional en la sede del laboratorio del Instituto Nacional de Hidráulica de Chile, ubicado en Peñaflor (Región Capital). El canal está equipado con un generador de pistón de oleaje variable, manejado por un computador que controla el sistema y reproduce el espectro de oleaje especificado en el estudio. En este caso se aplicó un espectro tipo JONSWAP con el parámetro γ , que define el ancho de banda de frecuencias, ajustado a $\gamma = 10$ ($\gamma = 3 - 5$ para oleajes generados localmente, $\gamma = 15$ para oleajes con gran decadencia).

El sistema de generación tiene la capacidad de suprimir la reflexión del oleaje procedente de la estructura ensayada.

La profundidad de agua en la paleta generadora fue de 75 centímetros.

En la Fig. 1 se muestran los esquemas de las estructuras modelo en ambas series de ensayos.

Las alturas de la ola significativa, tanto frente a la paleta como en la poza interior, se calcularon mediante análisis espectral ($H_S = H_{mo}$) del registro real de la ordenada de la superficie libre. Los períodos de la densidad espectral de potencia pico T_p fueron de 1,79s y 2,39s. Las rocas utilizadas en los ensayos tenían una densidad relativa de 2,65.

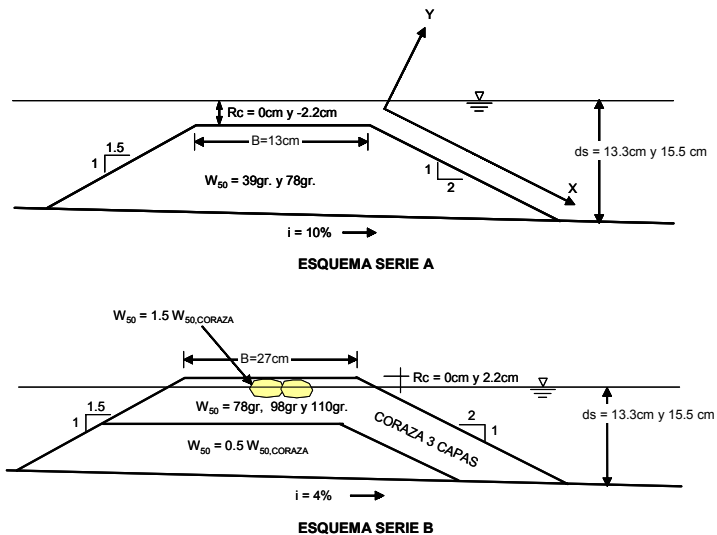


FIG. 1 - ESQUEMA DE LOS SISTEMAS EXPERIMENTALES

TRANSMISIÓN DEL OLAJE

Resultados experimentales

En la Fig. 3 se presenta la relación H_T/H_O en función de la relación entre la elevación del coronamiento R_C y la altura de ola incidente H_O . La agrupación de los resultados se hace con los parámetros: H_O/d_S , d_S/L_O y la pendiente del fondo.

Donde

H_T = Altura de ola significativa en la poza interior.

H_O = Altura significativa en aguas profundas.

d_S = Profundidad al pie del rompeolas.

L_O = Longitud de la onda de periodo T_p en aguas profundas.

H_O/d_S es el parámetro más significativo para expresar la influencia del rompimiento. La profundidad relativa d_S/L_O es indudablemente importante en el caso de aguas poco profundas.

En la misma figura se han incluido los límites del 90% de confiabilidad de los ensayos reportados en el artículo de Van der Meer (1990) que incluye data de otros autores.

En esta figura se aprecia que la influencia del parámetro H_O/d_S es casi tan importante como R_C/H_O . Para valores altos de H_O/d_S , las olas más altas rompen antes de llegar a la estructura y la energía se disipa en mayor grado antes del rebase.



FIG. 2 - VISTA DEL CANAL DE OLAJE

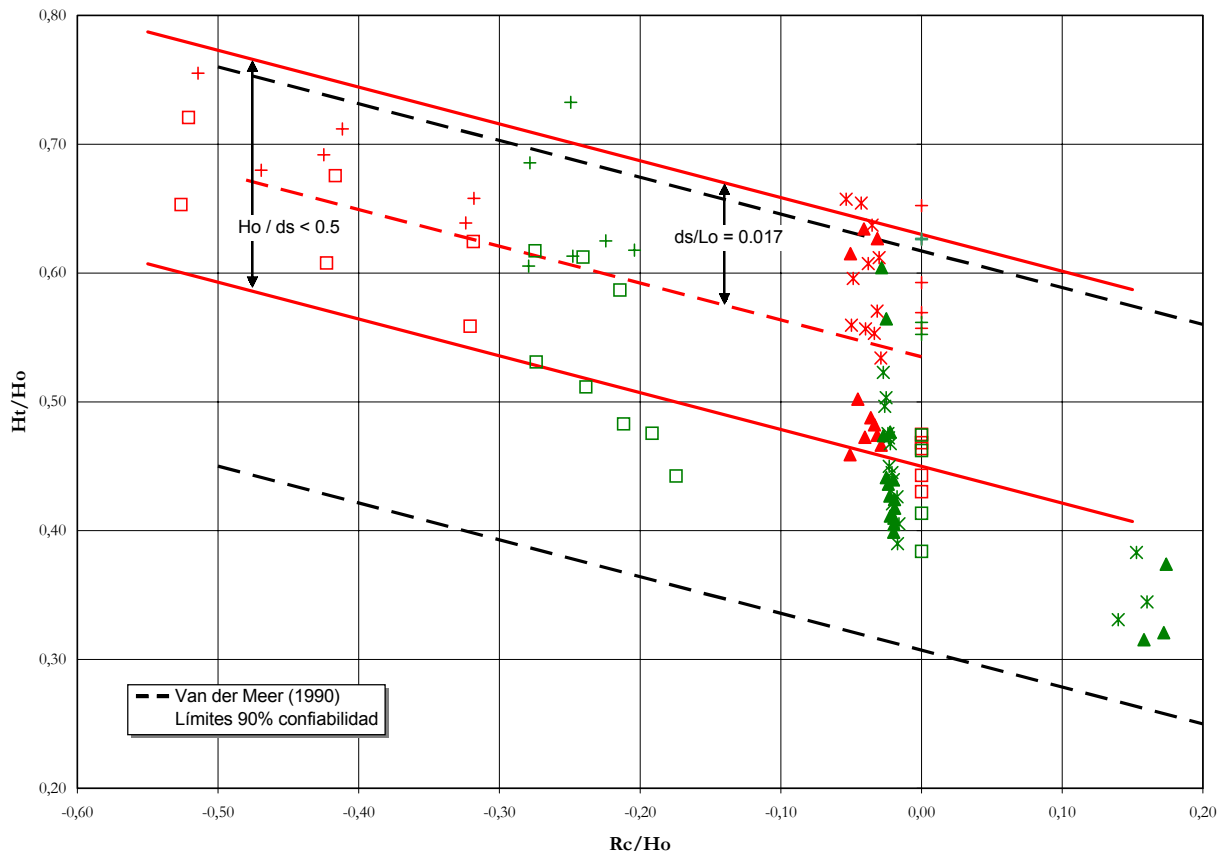


FIG. 3 - TRANSMISION DEL OLEJAE EN FUNCION DE R_c/H_o

En la Fig. 4 se presenta la relación H_T/H_O en función de la relación entre la cota del coronamiento R_C y la profundidad al pie de la estructura d_S . Al igual que en la Fig. 3 la agrupación de los resultados se hace con los parámetros H_0/d_S , d_S/L_0 y la pendiente del fondo.

SIMBOLOGIA EN LAS FIGURAS 3 Y 4

Simbología	H_0/d_S	d_S/L_0	Pendiente Fondo (%)
✱	<0,5	0,017	4%
✱	>0,5	0,017	4%
▲	<0,5	0,03	4%
▲	>0,5	0,03	4%
+	<0,5	0,017	10%
+	>0,5	0,017	10%
□	<0,5	0,03	10%
□	>0,5	0,03	10%

En este gráfico resulta más evidente la influencia de cada uno de los parámetros adimensionales aunque la dispersión de la data sigue siendo muy alta.

Análisis de los resultados

El fenómeno de la transmisión del oleaje sobre un rompeolas de escollera de cota de coronamiento baja es un fenómeno muy complejo y altamente no-lineal. Una ola que llega sin romper al pie de la estructura sufre disipación de energía por alta turbulencia por cuatro mecanismos antes de recomponerse y transmitirse como una onda libre en la poza interior. Estos cuatro mecanismos son:

- Rompimiento de la onda ascendente sobre el talud anterior.
- Rompimiento de la onda sobre el coronamiento, especialmente si su ancho es significativo.
- Disipación turbulenta entre las capas de roca de la estructura.
- Zambullida del chorro del frente de la onda tras el coronamiento con la consiguiente disipación turbulenta.

En el caso de olas que rompen antes de llegar al pie de la estructura se añade la fuerte disipación asociada a dicho rompimiento.

Estas complicaciones en la cinemática y dinámica del campo de flujo son responsables de la alta dispersión de la data experimental, tanto en el presente trabajo como en la bibliografía relativa.

En cualquier caso la parametrización de la data debe reducir dicha dispersión. En efecto Van der Meer y Doeman (1994) muestran que la data presenta menor dispersión si se agrupa con H_0/L_0 como parámetro. Ello es lógico por

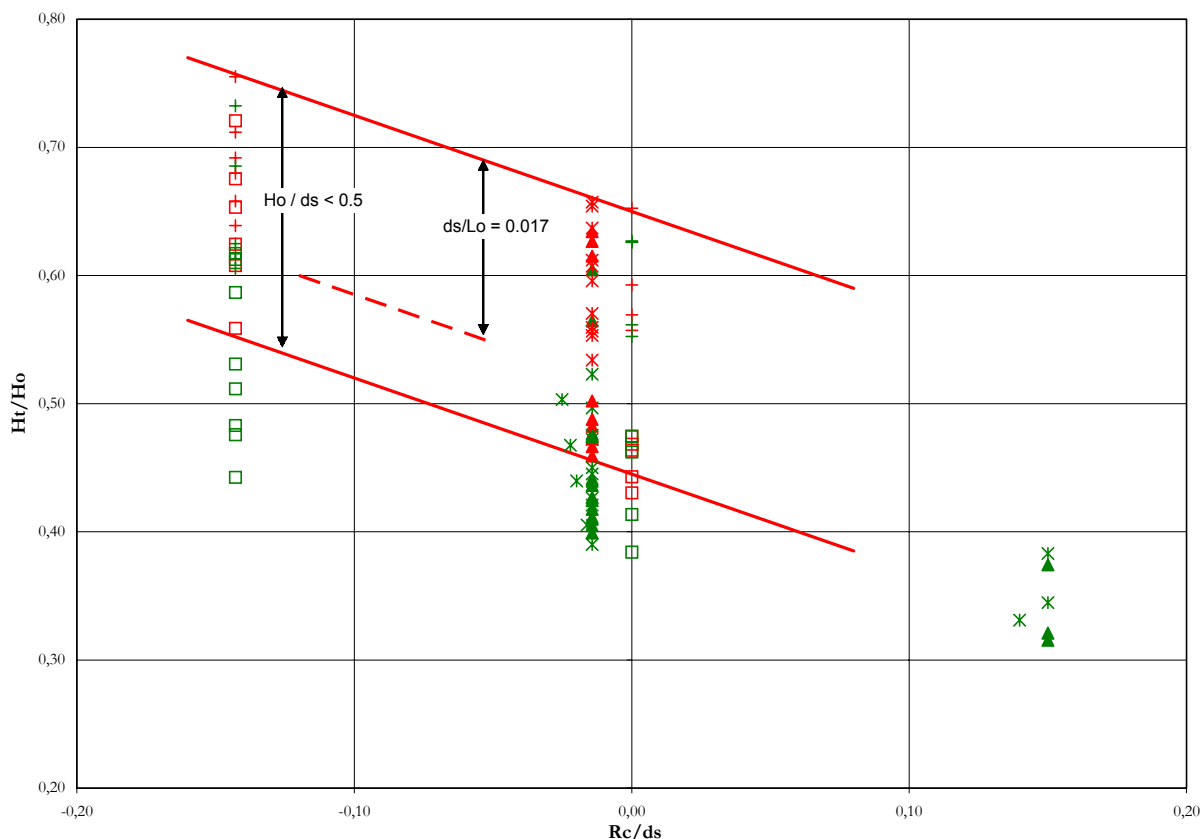


FIG. 4 - TRANSMISION DEL OLEAJE EN FUNCION DE R_c/d_s

cuanto con olas no rompientes dicho parámetro es determinante en el rompimiento sobre la propia estructura. En cambio, cuando la ola rompe antes de llegar a la estructura es la relación H_o/d_s el parámetro más relevante tal como lo muestran las Figuras 3 y 4.

La profundidad relativa d_s/L_o también es importante fundamentalmente por las siguientes razones:

- Cuando H_o/L_o es bajo la ola experimenta mayor amplificación antes de romper (“shoaling”).
- Cuando d_s/L_o es muy baja la dimensión horizontal del rompeolas es una fracción de la longitud de onda y el frente de onda rompiente rebasa la estructura con menor pérdida de energía.

En los casos ensayados la relación B/d_s fue mayor que 1. En general, la bibliografía no incluye este parámetro, suponiendo que B (ancho de la coronación) es bajo (3 ó 4 filas de rocas). La observación del fenómeno del rebase en los presentes ensayos llevó a la misma conclusión, especialmente en el caso de la ola rompiente.

El tema de la disipación de energía por flujo a través de las rocas de coraza ha sido abordado por algunos autores D’Angremond (1996), analizando la influencia del parámetro D_{50}/H_o o R_c/D_{50} . Sin embargo, no hay resultados concluyentes por cuanto el tamaño de las rocas está relacionado con H_o por razones de estabilidad estructural.

En el caso de aguas muy poco profundas la importancia de este fenómeno también se minimiza por el menor tamaño relativo de la estructura en relación con la altura y la longitud de la onda.

La pendiente del fondo es un parámetro muy importante por cuanto determina la distancia en que la ola rompiente disipa su energía antes de afectar a la estructura.

ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

Consideraciones generales sobre la hidrodinámica

Es conveniente iniciar la discusión señalando en forma sucinta las diferencias entre el caso en estudio y aquellos en los que la ola es no rompiente.

En rompeolas altos ubicados en profundidades de ola no rompiente, las fuerzas críticas se suelen presentar en la fase de descenso de la ola sobre el talud delantero (“down rush”). En estos casos las fórmulas tradicionales de estabilidad (Hudson, Iribarren, etc.) tienen como parámetro fundamental del oleaje la altura significativa H_s y la duración del temporal, por cuanto las olas más altas son las que producen los deterioros en un rompeolas diseñado para resistir dicho temporal. La duración es importante por cuanto incrementa la probabilidad de olas incidentes extremas así como la ocurrencia de valores extremos de la velocidad del descenso (“down rush”) debido a la aleatoriedad de las fases de las componentes de frecuencia.

En el caso de un rompeolas rebasable con ola que rompe antes de llegar a la estructura, la hidrodinámica del flujo y la relación entre la estabilidad estructural y los parámetros del oleaje son muy diferentes. La fase crítica para la estabilidad

puede ser el momento en que la cresta rompiente pasa sobre la estructura o puede ser el flujo de vaciado asociado a las oscilaciones de la sobreelevación causadas por la secuencia de grupos de olas. En ambos fenómenos la profundidad al pie de la estructura es un parámetro fundamental por cuanto determinaría el rompimiento de la ola. En consecuencia se plantean las siguientes correlaciones para el análisis empírico de este caso:

$$S_d = \left[N_S^*, \frac{H_o}{d_s}, \frac{d_s}{L_o}, \frac{R_C}{d_s}, N_W, \frac{X}{d_s}, \frac{B}{d_s}, m \right]$$

Donde:

S_d = Nivel de deterioro

$$N_S^* = \text{Número espectral de estabilidad} = \frac{(H_S^2 L)^{1/3}}{\left(\frac{S_r}{S_w} - 1 \right) D_{50}}$$

R_C = Cota de coronamiento de la estructura (Fig. 1)

X = Coordenada paralela al talud (Fig. 1)

L_o = Longitud de onda en aguas profundas correspondiente a T_p

T_p = Período pico en el espectro de frecuencia

L = Longitud de onda al pie de la estructura calculada por teoría lineal

B = Ancho del coronamiento (Fig. 1)

S_r = Densidad relativa de la roca

S_w = Densidad relativa del agua

$N_W = \text{Número de olas} = t_T/T \cong 1.18 t_T/T_p$

d_s = Profundidad al pie de la estructura

H_o = Altura de ola significativa en Aguas Profundas

H_S = Altura de ola significativa en el sitio de la estructura en su ausencia

t_T = Duración del temporal

D_{50} = Arista del cubo equivalente al peso medio de las rocas

m = Pendiente del fondo frente a la estructura

El deterioro de la estructura se expresa en términos del parámetro S_d definido en el manual de CIRIA-CUR (1991) y resumido en la siguiente tabla:

S_d	Nivel de Deterioro
2	Incipiente
5	Moderado
8	Avanzado
>12	Falla

En los ensayos reportados en el presente trabajo los parámetros que se analizaron fueron: N_S^* , R_C/d_s y d_s/L_o considerados fundamentales en el fenómeno de la estabilidad.

En la definición del número espectral de estabilidad (Ahrens, 1989):

$$N_S^* = \frac{(H_S^2 L)^{1/3}}{\left(\frac{S_r}{S_w} - 1 \right) D_{50}}$$

H_S es la altura significativa que ocurriría al pie de la estructura en ausencia de ella.

$$H_S = H'_{O_s} \cdot K_S$$

H'_{O_s} = Altura significativa en aguas profundas en un proceso bidimensional

K_S = Coeficiente de reducción de profundidad ("shoaling").

En este caso K_S se calculó por teoría Cnoidal y el valor de H_S se truncó por rompimiento con la condición

$$H_S \leq 1,25 d_s$$

Los parámetros H_S/d_s y N_W son también importantes y deberían ser objeto de análisis con mayor número de ensayos.

Es probable que parte de la dispersión se reduzca al incluir dichos parámetros en la agrupación de los resultados.

El parámetro X/d_s es también importante para el diseño. Sin embargo, en el caso de aguas poco profundas donde la estructura tiene un número reducido de filas de rocas, es poco probable que se pueda construir con diferencias notables de tamaños de las unidades de diferentes filas.

Presentación de los resultados

En la Fig. 5 se presenta el nivel de deterioro S_d en función del Número espectral de estabilidad N_S , con la pendiente del fondo frente a la estructura de 4% ($m = 0,04$) para el talud anterior.

En la Fig. 6 se presentan las mismas relaciones con la pendiente del fondo de 10% ($m = 0,1$).

En ambos gráficos los resultados se agrupan en función del parámetro R_c/d_s y se comparan con las relaciones recomendadas para diseño por CIARIA-CUR (1991).

En la Fig. 7 se presenta el deterioro en el coronamiento para el caso de la pendiente 4%.

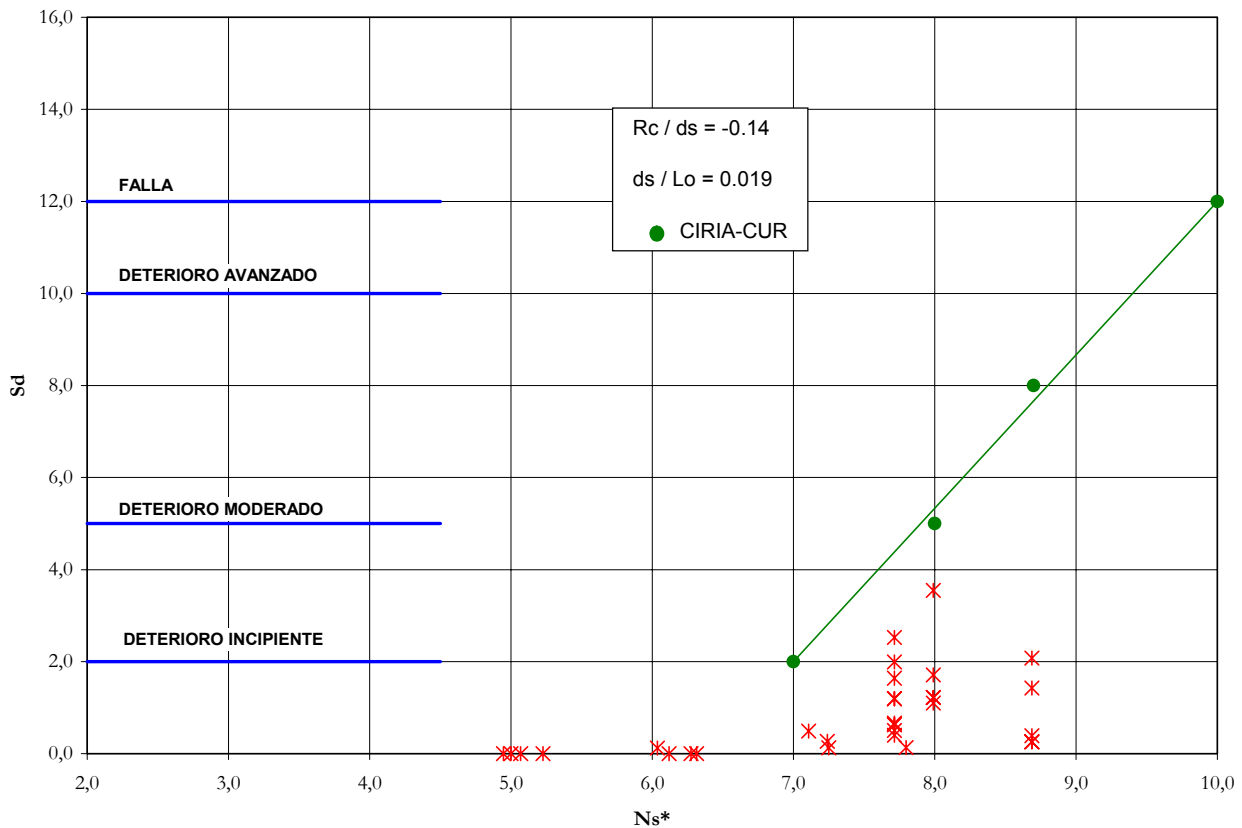


FIG 5. DETERIORO EN EL TALUD ANTERIOR.
PENDIENTE DE FONDO 4%

Análisis

La dispersión de los datos es la característica más relevante y es consistente con la bibliografía disponible para los casos con profundidad relativa (d_s/L_o) baja y coronamiento rebasable.

El número espectral de estabilidad N_S^* en forma indirecta considera la profundidad relativa al incluir la longitud de onda, pero es indudable que se requiere la agrupación de datos según los otros parámetros para reducir la dispersión.

En el caso del deterioro en el talud anterior dos parámetros se evidencian como muy relevantes: la sumersión relativa R_c/d_s y la pendiente del fondo frente a la estructura.

Los datos de este trabajo y la bibliografía coinciden en establecer que para el mismo nivel de deterioro (S_d), N_S^* es mayor al reducirse la sumersión R_c .

Los ensayos de la serie B con pendiente del fondo $m = 0,04$ tienen valores de N_S^* mayores que los recomendados para diseño por el manual de CIRIA-CUR (1991), es decir, que el peso estable de las rocas es menor que el calculado. Este resultado es lógico por cuanto el rompimiento limita la acción de las olas más altas. Sin embargo, en la serie A con pendiente 10% los valores correspondientes de N_S^* son mucho menores, es decir, para el mismo oleaje incidente la roca estable tiene un peso mayor. Este resultado es muy razonable por cuanto con la pendiente alta las olas más altas, rompen más cerca de la estructura y el frente rompiente se convierte en “colapsante” con menor disipación de energía y con incremento de velocidades y fuerzas de impacto. Aparentemente la data en que se basa el manual citado se obtuvo con pendientes de fondo inferiores a 6%.

Este hecho tiene su explicación al recordar que en los rompeolas altos con pendientes de talud normales ($> 1/2.5$), la fase crítica es la del descenso de la ola (“down rush”). Evidentemente en rompeolas altamente rebasables el descenso de la ola se reduce notablemente.

En los ensayos realizados el desplazamiento de las rocas se suele producir en la fase de ascenso de la ola (“up-rush”) para valores de $H_o/d_s < 0.7$. Para valores mayores el desplazamiento suele ocurrir en la fase de descenso debido a la sincronización de las pulsaciones de período largo del vaciado de la poza interior con la secuencia de depresiones extremas del nivel de agua frente al rompeolas.

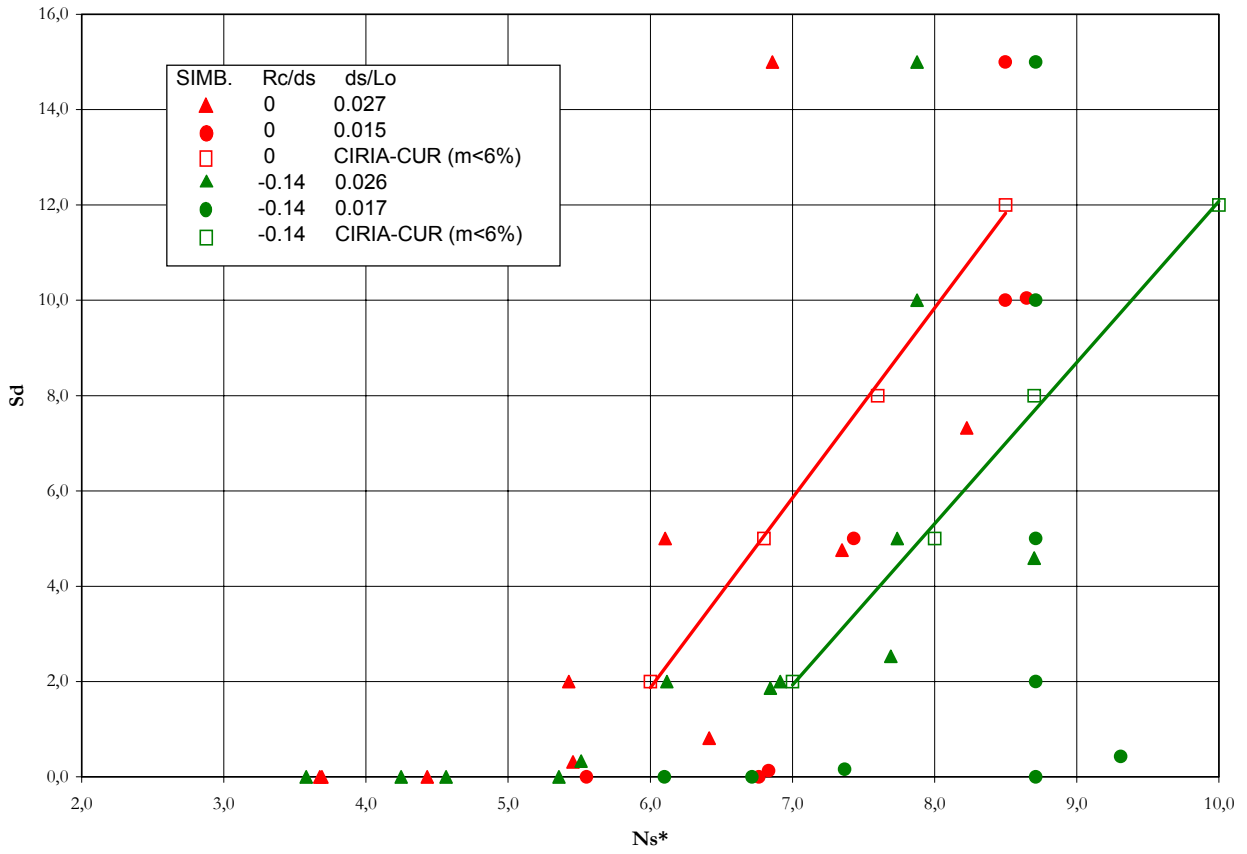


FIG 6. DETERIORO EN EL TALUD ANTERIOR.
PENDIENTE DE FONDO 10%

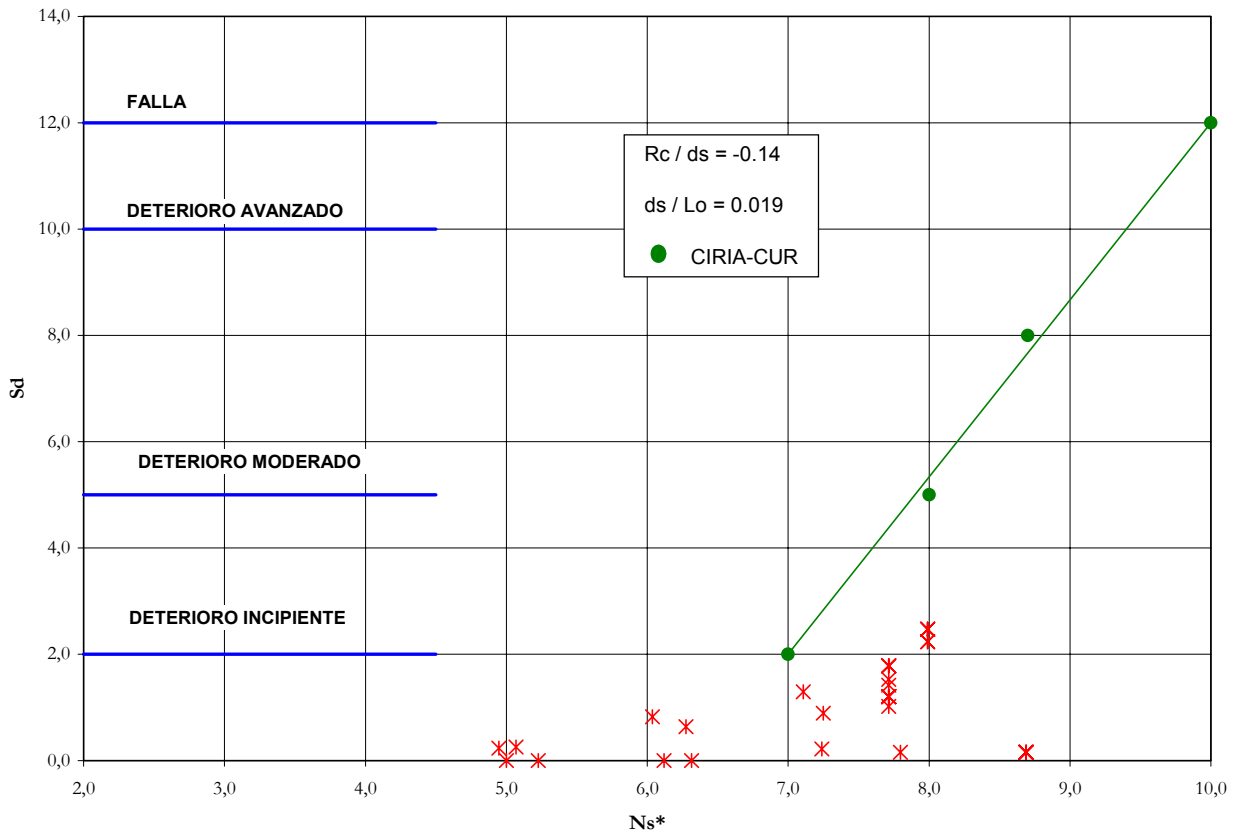


FIG 7. DETERIORO EN EL CORONAMIENTO.
PENDIENTE DE FONDO 4%

Este hecho muestra la importancia de otras características del oleaje: la función de densidad espectral de potencia y la duración del evento del oleaje. Estos, entre otros, son los factores responsables de la dispersión de la data.

En relación con el coronamiento del rompeolas la Fig. 7 muestra que en los casos estudiados los valores de N_S^* son próximos a los recomendados por el manual de CIRIA-CUR. Sin embargo es necesario señalar que en el centro del coronamiento se colocaron dos filas de rocas con peso W_{50} aproximadamente 50% mayor que las unidades del resto de la coraza lo que puede haber sido causa de mayor estabilidad. Estos resultados llevan a la recomendación de tal medida en el diseño estructural de los rompeolas sumergidos.

Una diferencia relevante entre rompeolas sumergidos en profundidades intermedias ($d/L_0 > 0,1$) con olas no rompientes y los casos estudiados en este trabajo, es la relación entre el deterioro en el talud anterior y en el coronamiento. En el primer caso (Font, 1966; Ahrens, 1989) el sector más crítico es el coronamiento y el deterioro en el talud anterior no afecta sino a las 2 ó 3 filas superiores mientras que en los ensayos realizados, donde las olas más altas rompen antes de llegar al rompeolas, la situación es inversa.

SOBREELEVACIÓN EN LA POZA INTERIOR

En la transmisión del oleaje sobre el rompeolas sumergido se produce un fenómeno de sobre elevación del nivel medio de la superficie libre (“Ponding”). El rompeolas actúa transitoriamente como un “diodo” permitiendo el flujo en la fase de la cresta e impidiendo el retorno en el valle. El equilibrio se alcanza cuando la sobre elevación del nivel medio en la poza interior P compensa dicha desigualdad.

Con el oleaje real variable la sobre elevación también oscila con período largo siguiendo la envolvente de los grupos de olas. El valor P se obtiene como valor medio de la ordenada de superficie en un punto de registro, suponiendo que la reflexión en la playa es insignificante.

La sobre elevación ocurre si la poza interior está confinada. Si el sector protegido por el rompeolas no está confinado o tiene alguna abertura importante se genera un caudal de vaciado que suele producir fuertes corrientes. Estas corrientes pueden ser muy peligrosas para los bañistas y causar fugas de arena. Browder et Al (1996) reportan la fuerte erosión causada por un rompeolas sumergido en la costa de Florida debido a dicha corriente de retorno.

En la Fig. 8 se presentan los resultados de la serie A de los ensayos. En este gráfico la relación P/H_0 se representa en función del parámetro H_0/d_s . Obviamente el parámetro de sumersión relativa R_c/d_s es muy importante y también se identifica la importancia de la profundidad relativa d_s/L_0 .

En la medida que la relación H_0/d_s aumenta y las olas más altas rompen antes de llegar a la estructura, la sobre elevación P tiene una relación casi constante con d_s para la misma sumersión relativa.

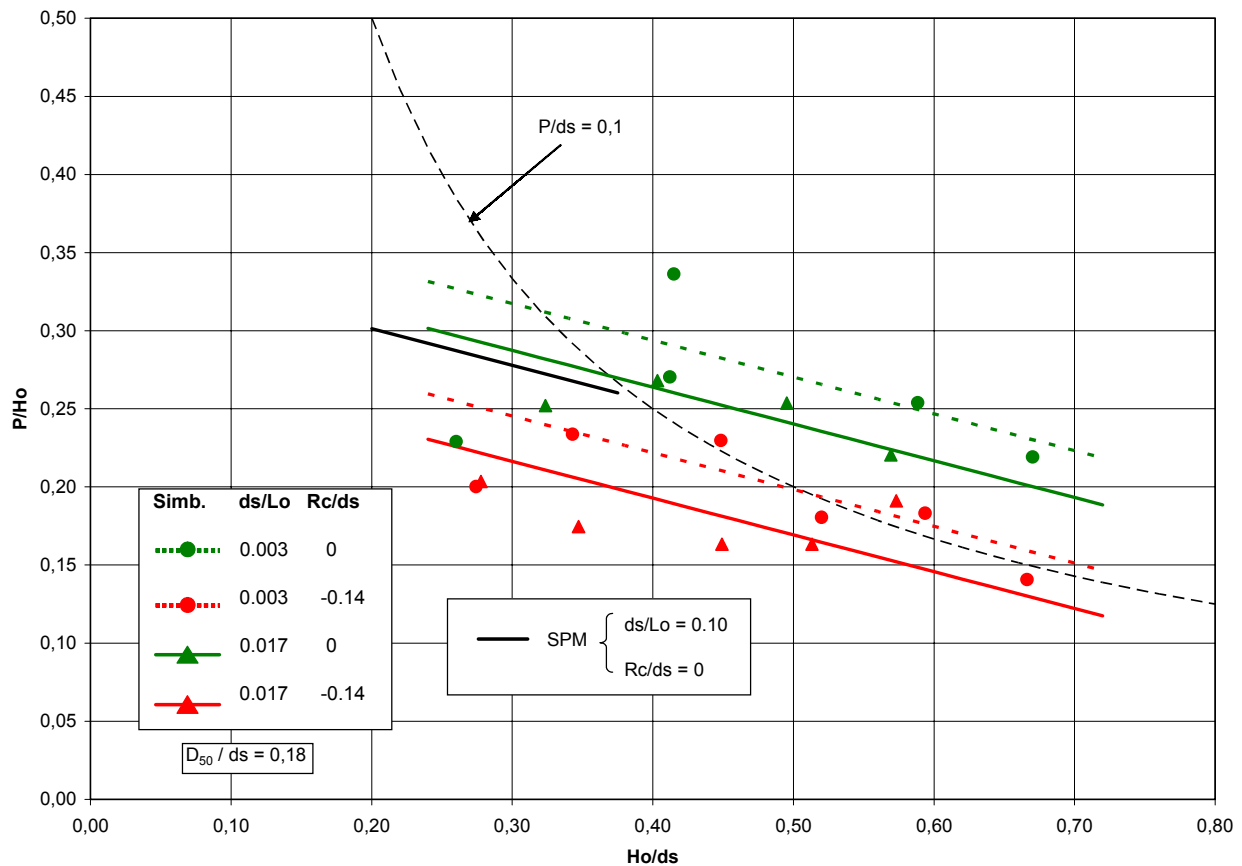


FIG 8. SOBREELEVACION EN LA POZA INTERIOR

CONCLUSIONES

- a) En el caso de rompeolas sumergidos o de cota de coronamiento muy baja, en profundidades donde las olas más altas rompen antes de llegar a la estructura, la dispersión de los datos en las correlaciones entre los parámetros adimensionales, muestra la complejidad del fenómeno y respalda la necesidad de optimizar el diseño de cada caso particular, tanto estructural como funcional, mediante ensayos en modelo hidráulico con la morfología específica del fondo marino y con los oleajes incidentes modificados por refracción. Al considerar todas las variables geométricas del fondo marino, de la estructura y los parámetros que describen el oleaje real y su variabilidad, resulta una infinidad de parámetros adimensionales que determinan la hidrodinámica del fenómeno. Cuando en el análisis empírico sólo se hacen ensayos variando unos pocos parámetros el resultado es una notable dispersión de la data.
- b) La dispersión se reduce en la medida que los resultados se agrupan para valores constantes de los parámetros adimensionales.
- c) Para las geometrías ensayadas con rompeolas de cota de coronamiento próxima al nivel del mar, la altura H_T del oleaje transmitido está en el rango entre el 50% y 70% de H_O . La transmisión es muy sensible a la sumersión del rompeolas. Para olas no rompientes, con sumersiones mayores del 15% de la profundidad, el oleaje transmitido puede tener altura de hasta un 80% de la incidente.
- d) En relación con la estabilidad estructural del rompeolas se obtuvieron resultados muy distintos con la variación de la pendiente del fondo. En el caso de la pendiente del 10% los valores de N_S^* fueron próximos o incluso menores que los recomendados por CIRIA-CUR (1991) mientras que para la pendiente 4% los valores N_S^* fueron generalmente mayores. En consecuencia el tamaño de las rocas deberá ser mucho mayor si la pendiente del fondo es muy alta.
- e) Normalmente los rompeolas sumergidos se pueden diseñar considerando un deterioro moderado del talud anterior pero se debe ser más conservador con respecto al coronamiento, pues si este se destruye en forma significativa se puede alterar su función aún cuando se alcance la estabilidad estructural. Los ensayos realizados indicaron la conveniencia de colocar dos filas de rocas con peso 50% mayor que el resto de la coraza en el centro de la capa superior del coronamiento.
- f) Los rompeolas sumergidos inducen una notable sobreelevación en el nivel medio de la poza interior si está confinada, o corrientes de retorno si está abierta. Las corrientes de retorno pueden ser muy peligrosas para los bañistas o perjudiciales al inducir la fuga de arena. El diseño de playas protegidas con rompeolas sumergidos debe prestar atención a este fenómeno y en el caso de morfologías o geometrías con gran variación espacial el uso del modelo hidráulico se considera indispensable.

NOTA

Una porción de los datos que se utilizaron para el desarrollo del presente trabajo se obtuvieron en el modelo bidimensional de las obras marítimas para el Balneario de Covadonga, Tocopilla, II Región, contratado por la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas de Chile.

REFERENCIAS

- Ahrens, J. (1989). "Stability of Reef Breakwaters". Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering. Vol. 115-2, Marzo 1989, A.S.C.E.
- Browder, A., Dean, R. y Chen, R. (1996). "Performance of a Submerged Breakwater for Shore Protection", International Coastal Engineering Conference, Cap. 179.
- CIRIA-CUR (1991). "Manual on the use of Rocks in Coastal and Shoreline Engineering".
- Coastal Engineering Research Center (1984). "Shore Protection Manual", U.S. Army Corps of Engineers.
- Diskin, M., Vajda, M. y Amir, I., (1970). "Piling-Up Behind Low and Submerged Permeable Breakwaters", Journal of Waterways and Harbors Division, A.S.C.E., No. WW2, Mayo 1970.
- D'Angremond, K., Van der Meer, J. y De Long, R. (1996). "Wave Transmission at Low-Crested Structures", International Coastal Engineering Conference, Cap. 187.
- Font, J. (1966). "Estabilidad de Rompeolas Sumergidos". II Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Caracas, Venezuela.