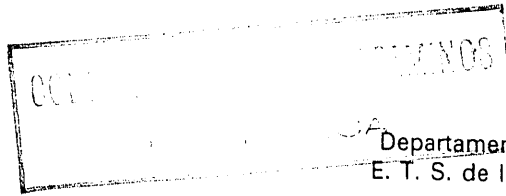


Comparación funcional de diques rompeolas de bloques^(*)



Por M. A. LOSADA
y J. M. DESIRE

Departamento de Ingeniería Oceanográfica y Puertos,
E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos,
Universidad de Santander

Se ha realizado una comparación de la variable adimensional $\psi = W/\gamma_w RH^3$ tras 40 ensayos en un canal de oleaje con dos taludes y bloques cúbicos y paralelepípedicos de razones de lado a $X a X 2a$.

W = peso de los bloques

γ_w = densidad del agua

$R = S_r/(S_r - 1)^3$

S_r = densidad relativa de los bloques

H = altura de ola

Ha sido usada una distribución de Weibull. Para todos los taludes los cubos han sido más estables que los bloques paralelepípedicos para los tres niveles de daño estudiados: iniciación de daño, avería de lribarren y destrucción total o "fluidificación". La dispersión de los resultados depende del nivel de daño.

INTRODUCCIÓN

Un gran número de diques rompeolas han sido seriamente dañados en los últimos diez años, de los que la mayor parte han sido contruidos con piezas especiales como dolos y tetrápodos. En consecuencia se ha producido un retorno a los bloques cúbicos y paralelepípedicos. Los diques de Sines y San Ciprián han sido reparados con cubos de 90 tn.; el dique de Bilbao se ha reforzado con bloques de 150 tn., de razón de lados a $X a X 1,2a$.

No hay, sin embargo, un criterio para decidir cual de las piezas, cubos o bloques paralelepípedicos son más estables bajo la acción del oleaje.

Este estudio presenta los resultados experimentados obtenidos para dos taludes con dos piezas diferentes; cubos y bloques paralelepípedicos de razón de lados a $X a X 2a$.

Se ha seguido una técnica experimental consistente en la repetición de diez ensayos para cada talud y tipo de pieza, con objeto de definir la variable adimensional ψ como una variable aleatoria, donde:

$$\psi = \frac{W}{\gamma_w RH^3}$$

y W = peso de los bloques

H = altura de la ola incidente

γ_r = peso específico de los bloques

γ_w = peso específico del agua

$S_r = \gamma_r/\gamma_w$

$$R = \frac{S_r}{(S_r - 1)^3}$$

Una vez que se ha definido un criterio de daño y una función de distribución para cada serie de valores de ψ , se ha realizado una comparación de los parámetros estadísticos que representan el comportamiento de los bloques

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de noviembre de 1984.

COMPARACION FUNCIONAL DE DIQUES DE ROMPEOLAS DE BLOQUES

cúbico y paralelepípedicos bajo el ataque de trenes de ondas regulares.

EXPERIMENTACION

Losada y Giménez-Curto, 1979, mostraron la influencia del número de Iribarren $I_r = \frac{W}{\gamma_s H} = \frac{W}{\gamma_s L_0 \tan \alpha}$, en la estabilidad de un dique rompeolas, donde α es el ángulo del talud y L_0 la longitud de onda en profundidades indefinidas.

Las peores condiciones de estabilidad están en el rango $1,5 < I_r < 4,0$, Bruun y Gunbak, 1978 y Losada y Giménez-Curto, 1979. Una importante característica de los resultados experimentales en este rango es su gran dispersión, Losada y Giménez-Curto, 1979; para analizar las peores condiciones de estabilidad sólo se han realizado ensayos en el rango $1,5 < I_r < 4,0$.

Equipo experimental

El equipamiento incluye un canal de oleaje de 70 m. de longitud, 2 m. de ancho y 2 m. de profundidad y un pistón generador hidráulico para oleaje regular e irregular.

Características físicas del modelo

Las características del modelo están resumidas en la tabla I.

Características del oleaje

Las características del oleaje incidente se muestran en la tabla II.

Técnica experimental

La técnica experimental usada en estos ensayos está explicada en la tabla III.

Criterio de daño

Definida la función de estabilidad, ψ , Losada y Giménez-Curto, 1979, por

$$\psi = \frac{W}{\gamma_w R H^3}$$

para cada ensayo y cada criterio de daño se obtiene un valor de ψ .

Generalmente, el daño se define como el porcentaje de piezas del manto que son desplazadas comparado con el total de piezas usado en la construcción del manto. Otros, Van de Kreeke, 1969, definen el daño como el porcentaje de piezas desplazado con respecto al número contenido en una banda estrecha alrededor del nivel medio del mar. Un pequeño valor de este porcentaje es considerado como inicio

TABLA II
CARACTERISTICAS DE LAS OLAS

Oleaje regular.
Incidencia normal.
Profundidad (d): 70 cm.
Altura de ola: 5-30 cm.
Período de oleaje (T): 1,3-2,6 seg.
Peralte de ola (H/L_0): 0,005-0,110.
Profundidad relativa (d/L): 0,110-0,280.
Razón (d/H): 14,0-2,30.
I_r ($\tan \alpha / \sqrt{H/L_0}$): 9,70-1,20 (todo el rango).
4,00-1,50 (rango de daño).

TABLA I
CARACTERISTICAS FISICAS DEL MODELO

Tipo de piezas	Forma	Talud ($\cot \alpha$)	$W_0(g)$	$\gamma_s(g/cm^3)$	Espesor del manto principal	Porosidad	
						$\cot \alpha 1,5$	$\cot \alpha 2,5$
Cubo	a X a X a	1,50 y 2,50	200	2,08	2 l	—	0,28
Bloque paralelepípedo	a X a X 2a	1,50 y 2,50	200	2,08	2 l	0,32	0,28

Notas: $I = (W_0/\gamma_s)^{1/3}$
Talud indefinido

COMPARACION FUNCIONAL DE DIQUES DE ROMPEOLAS DE BLOQUES

TABLA III
TECNICA EXPERIMENTAL

Objetivo	Método adoptado
Calibración de la altura de la ola	Antes de la colocación en el canal del modelo, fue colocada en el final una rampa absorbente; las alturas de ola fueron medidas entonces en el lugar del modelo.
Criterio de daño	Han sido considerados tres niveles de daño: iniciación de avería, avería de Iribarren y fluidificación (ver texto).
Homogeneización de todos los ensayos	Cada ensayo comienza con una altura de ola sensiblemente más baja que la de inicio de movimiento de las piezas. La altura de ola se aumenta por pequeños incrementos hasta alcanzar el punto de rotura. No se reconstruye el modelo para cada nueva altura de ola. Para cada altura de ola, son aplicadas al modelo olas hasta que el perfil ha sido estabilizado o totalmente "fluidificado".

de avería; en estos ensayos se ha considerado el 1 por 100 del total de piezas. Iribarren, 1965, propuso como criterio de daño la desaparición de la capa superior del manto en un área suficiente para exponer piezas de la capa inferior a la acción directa de las olas.

En esta experimentación, la acción de las olas ha sido mantenida hasta la total destrucción del talud; bajo estas condiciones, las pie-

zas de una banda se mueven a lo largo del talud como si fueran partículas del fluido, el talud en esta banda no tiene apenas las características de un sistema granular, se comporta como si estuviera «fluidificado».

Para cada nivel de daño adoptado, definidos como iniciación de avería, avería de Iribarren y «fluidificación», y por cada ensayo se obtiene un valor de ψ .

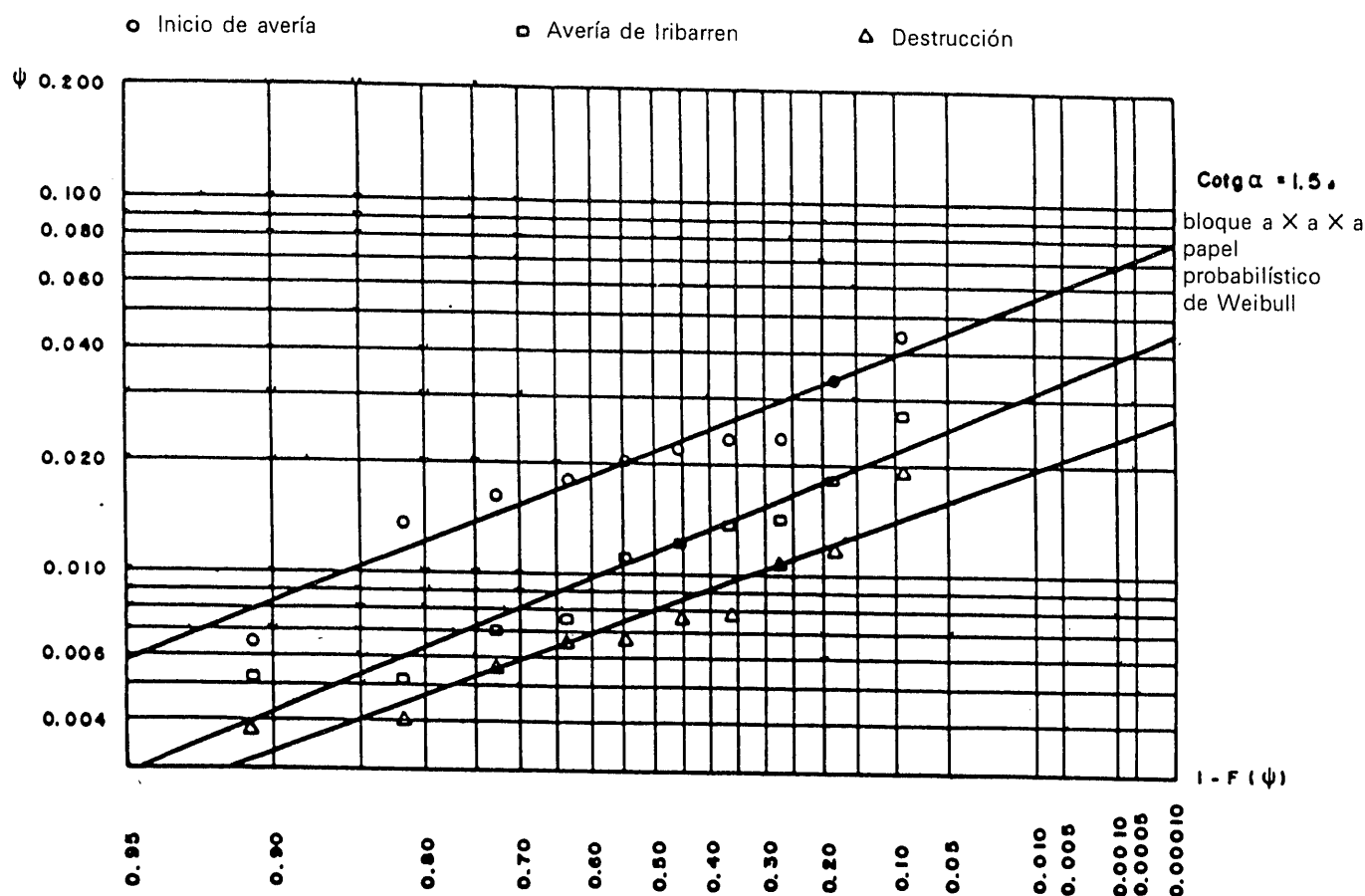


Fig. 1.—Función de distribución de $\psi = W/\gamma_w RH^3$.

COMPARACION FUNCIONAL DE DIQUES DE ROMPEOLAS DE BLOQUES

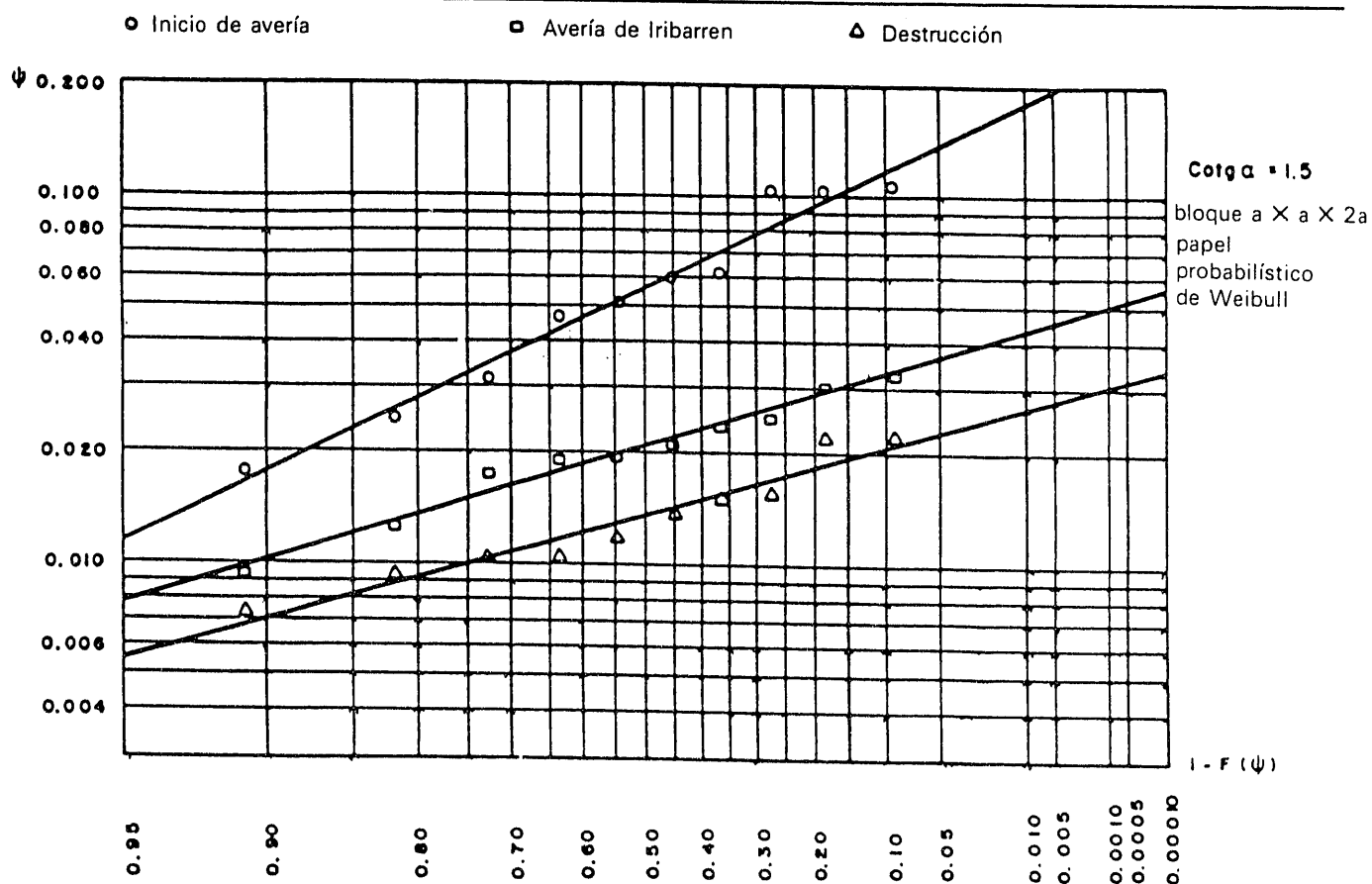


Fig. 2.—Función de distribución de $\psi = W/\gamma_w RH^3$.

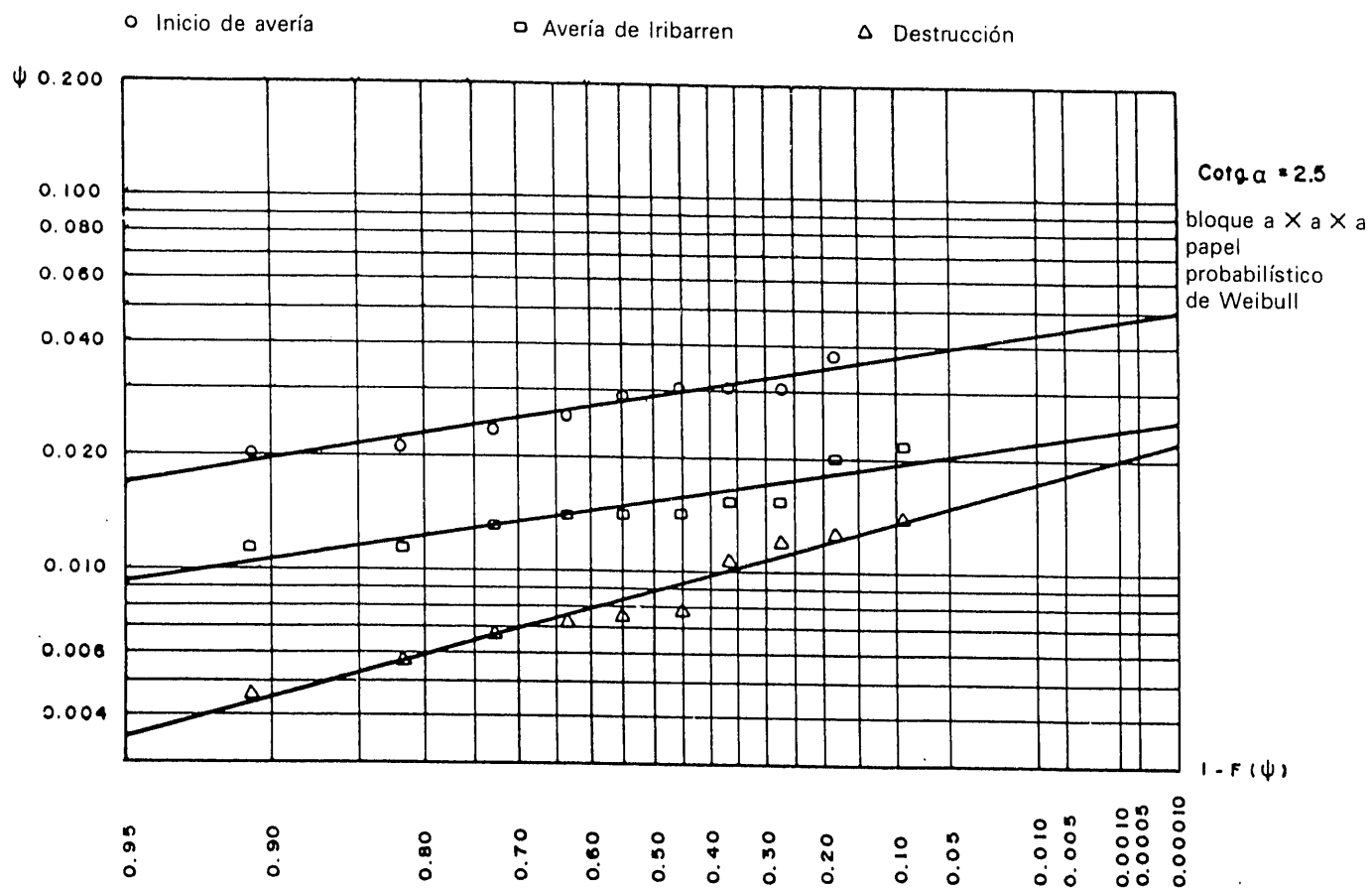


Fig. 3.—Función de distribución de $\psi = W/\gamma_w RH^3$.

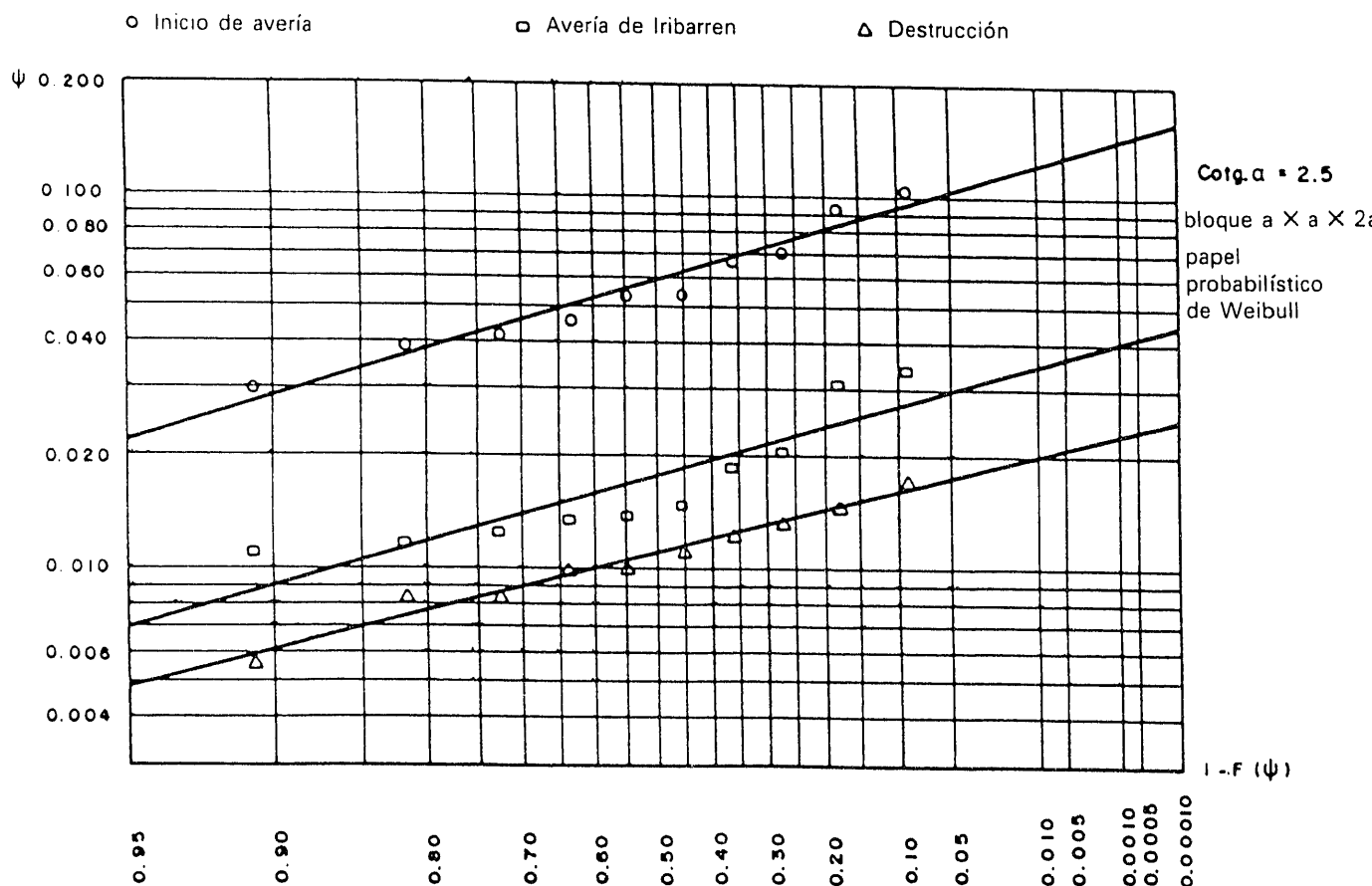


Fig. 4.—Función de distribución de $\psi = W/\gamma_w RH^3$.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se ha ajustado una distribución de Weibull a los valores de ψ . Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran la función obtenida para los taludes $\cotg \alpha = 1,5$ y $2,5$ y bloques cúbicos y paralelepípedos de razón de lados $a \times a \times 2a$. En todos los casos el ajuste se realiza con el valor del parámetro $x_0 = 0$, con lo que la función de distribución viene dada por:

$$F(\psi) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\psi}{b} \right)^a \right]$$

En la tabla IV se dan los valores de la media μ , y desviación típica σ , obtenidos por

$$\mu = b\Gamma \left(1 + \frac{1}{a} \right)$$

$$\sigma^2 = b^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{a} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{a} \right) \right]$$

$$\Gamma(p) = \int_0^\infty x^{p-1} e^{-x} dx$$

donde a y b son los parámetros de la distribución. Así mismo, la tabla IV muestra el coeficiente de correlación ρ^2 , obtenido por

$$\rho^2 = \frac{\left[N \sum_1^N X_i Y_i - \sum_1^N X_i \sum_1^N Y_i \right]^2}{\left[N \sum_1^N X_i^2 - \left(\sum_1^N X_i \right)^2 \right] \left[N \sum_1^N Y_i^2 - \left(\sum_1^N Y_i \right)^2 \right]}$$

donde

$$X_i = L \left[L \left(\frac{1}{1 - F(\psi_i)} \right) \right]$$

$$Y_i = L(\psi_i)$$

N = número de datos

La figura 5 muestra la variación de μ y del percentil del 90 por 100 con el ángulo del talud. La forma de las líneas se ha supuesto en base a los datos obtenidos para los dos taludes.

COMPARACION FUNCIONAL DE DIQUES DE ROMPEOLAS DE BLOQUES

TABLA IV

VALORES DE LA MEDIA μ , DESVIACION TIPICA σ , COEFICIENTE DE CORRELACION ρ

Tipo de piezas	Talud	Nivel de daño	a	b	μ	σ	ρ^2
$a \times a \times a$	1,50	Init.	1,9824	0,02611	0,02314	0,01218	0,938
		Irib.	1,8867	0,01407	0,01249	0,00689	0,937
		Fluid.	2,1334	0,00963	0,00853	0,00420	0,910
	2,50	Init.	4,7319	0,03167	0,02900	0,00362	0,949
		Irib.	5,0774	0,01654	0,01634	0,00343	0,853
		Fluid.	2,7948	0,01012	0,00901	0,00349	0,954
$a \times a \times 2a$	1,50	Init.	1,6298	0,07036	0,06298	0,03963	0,949
		Irib.	2,6228	0,02413	0,02144	0,00879	0,806
		Fluid.	2,8531	0,01553	0,01384	0,00525	0,975
	2,50	Init.	2,6297	0,06791	0,06034	0,02468	0,949
		Irib.	2,7813	0,02029	0,01806	0,00708	0,806
		Fluid.	3,1658	0,01239	0,01112	0,00384	0,975

Fuentes de dispersión debidas a la técnica experimental

Parece razonable pensar que una parte de las dispersiones obtenidas en los valores de ψ estén causadas por la técnica experimental. El proceso de generación del oleaje, señal y movimiento del pistón, producen olas que no son exactamente iguales. Un control de esta variación a través del análisis de 10 olas cada 150 ha puesto de manifiesto que la desviación máxima respecto a la media es del orden del 5 por 100.

Otra fuente de dispersión viene del proceso constructivo del talud. La misma persona construyó todas las secciones. Las piezas del manto fueron colocadas «como caigan». El control de las unidades extraídas fue visual, y controlado, en todos los casos, por el mismo ingeniero. Por tanto, es razonable suponer que las dispersiones generadas por estas causas pueden ser despreciadas. El peso teórico de las piezas del manto es de $W_0 = 200$ gr. Todas las piezas, cuyos pesos estaban fuera del rango $0,95 < W/W_0 < 1,05$ fueron desechadas. Las piezas deterioradas a causa de los ensayos fueron cambiadas.

Consecuentemente, la dispersión debida a la técnica experimental debe estar en el rango (0,86 – 1,16).

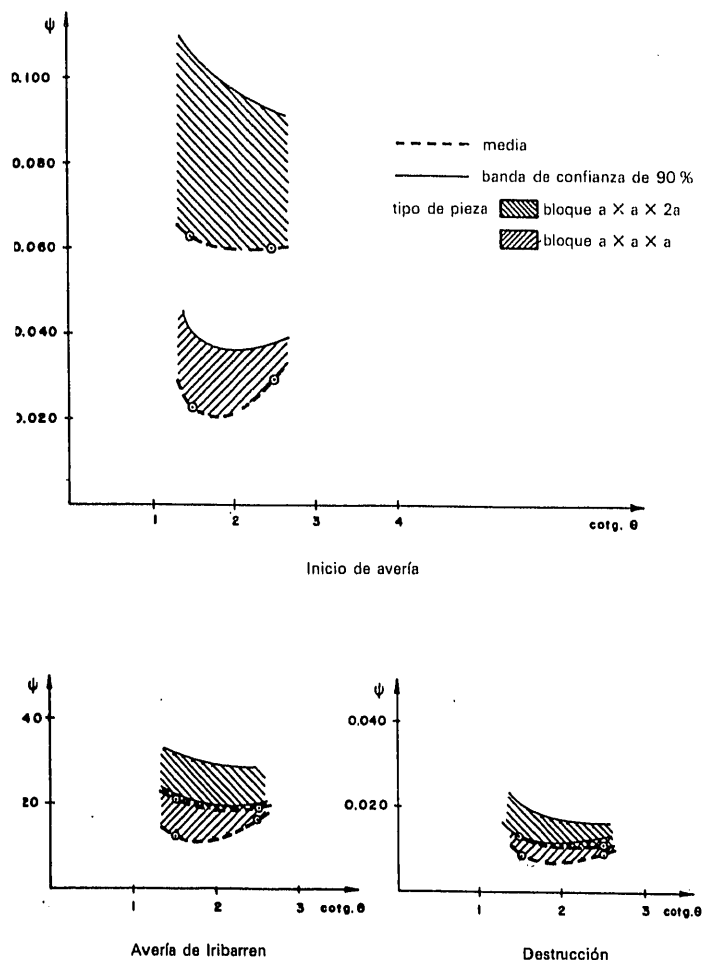


Fig. 5.—Función de estabilidad contra el talud.

OTROS COMENTARIOS

La extracción de los primeros bloques es producida porque la acción del fluido excede las fuerzas de reacción del sistema granular en esas piezas en concreto. Dichas piezas no se encuentran en un área determinada, sino en diferentes zonas del talud, sin relación aparente entre ellas. Estos primeros ataques pueden ser considerados ocurrencias aisladas e independientes, como resultado de la interacción aleatoria entre la acción del fluido y la reacción del sistema granular, Losada y Giménez-Curto, 1980.

La tabla IV muestra la reducción de la desviación típica obtenida, aumentando el nivel de avería. Estadísticamente hablando, este resultado es obvio ya que para los primeros órdenes estadísticos en una distribución de Weibull con $a > 1$ la dispersión decrece al aumentar el orden.

Consecuentemente, la dispersión de los resultados de los ensayos depende del nivel de daño considerado, haciéndose máxima para iniciación de avería (ver tabla IV). A la luz de estos resultados, parece bastante difícil aceptar un valor único de ψ o N_s , número de estabilidad de Hudson. Parece obvio que los ensayos con oleaje irregular tengan, al menos, la misma dispersión que los realizados con oleaje irregular.

CONCLUSIONES

1. Tras 10 ensayos con oleaje regular para cada talud (2) y cada tipo de piezas del manto (2), se ha obtenido para cada criterio de daño una muestra de 10 valores de ψ , función de estabilidad. La desviación típica de la muestra disminuye con el nivel de avería considerado y depende también del tipo de pieza empleado.

2. Comparando los parámetros estadísticos de la muestra, tras un ajuste de una distribución de Weibull a la muestra, pueden ser obtenidas las siguientes conclusiones:

- a) La estabilidad de un manto con cubos empeora para iniciación de avería al disminuir el talud de $\cotg\alpha = 1,5$ a $\cotg\alpha = 2,5$. Para dichas piezas (cubos) parece razonable suponer la existencia de un talud de máxima estabilidad alrededor de $\cotg\alpha = 2,0$.
- b) Los bloques cúbicos son más estables que los paralelepípedicos de razón de lados a X a $X/2a$, en todos los taludes ensayados y para todos los niveles de daño.
- c) El talud de bloques paralelepípedicos, relación de lados a X a $X/2a$, mejora su estabilidad al disminuir el talud de $\cotg\alpha = 1,5$ a $\cotg\alpha = 2,5$.

3. Bajo un punto de vista ingenieril, los laboratorios deben dar una función de distribución completa para ψ .

RECONOCIMIENTOS

Los ensayos descritos en este estudio han sido llevados a cabo mediante el soporte financiero de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, Ref. N.º 0369.

REFERENCIAS

- LOSADA, M. A., y GIMENEZ-CURTO, L. A.: «Mound breakwaters under wave attack». International Seminar on criteria for design and construction of breakwaters and coastal structures. Sesión II, paper 2.1: 127-238. Universidad de Santander (España), 1980.
- BRUUN, P. y GUNBAK, A. R.: «Stability of sloping structures in relation to $I_r = \tan\alpha/(H/L_0)^{1/2}$ risk criteria in design». *Coastal Engineering*, 1978, 1(4): 287-322.
- IRIBARREN, R.: «Formule pour le calcul des diques en enrochements naturels on elements artificiels». XXI International Navigation Congress, Sec. II, theme 1. Stockholm, 1965.
- LOSADA, M. A., y GIMENEZ-CURTO, L. A.: «The joint effect of the wave height and period on the stability of rubble mound breakwaters using Iribarren's number». *Coastal Engineering*, 1979, 3: 77-96.
- VAN DE KREEKE, J.: «Damage function of rubble-mound breakwaters». J. Waterways Harbors Division, 1969, ASCE 95 (WW3): 345-354.

COMPARACION FUNCIONAL DE DIQUES DE ROMPEOLAS DE BLOQUES

Miguel A. Losada Rodríguez



Doctor ingeniero de Caminos, Canales y puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Catedrático de Puertos de la ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Santander. Director de la ETS de ICCP de Santander.

Ha realizado numerosos estudios como: Estudio de los diques de San Ciprián (Lugo), Puerto de Carboneras; emisarios submarinos de Bilbao y Zarauz; estabilidad y ordenación de playas, Palencia (Vizcaya), playas de Guipúzcoa, etcétera; así como también estudios oceanográficos en España y el extranjero, como Cuba, Golfo Pérsico, etc.

Han sido publicados muchos de sus artículos, tanto en España como en revistas extranjeras, como: American Society of Civil Engineers, Waterways, Coastal Eng., Elsevier Scientific Publications, etc.

J. M. Desire

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (Escuela ETS ICCP de Santander, 1980). Ha desarrollado trabajos de investigación dentro del Plan de Formación del Personal investigador, patrocinado por el Ministerio de Educación.

