

Diques marítimos^(*)

Por **GEORGES VINCENT**

Ingeniero Civil

LOUIS TOURMEN

Ingeniero Civil

JUAN GONZALO VARA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Se estudia la Estabilidad al oleaje de una coraza formada por bloques Accropode (R), así como el predimensionamiento de una coraza en función del oleaje de proyecto, basándose en los resultados de ensayos sistemáticos realizados en laboratorio y en la experiencia.

1. OBSERVACIONES GENERALES

Numerosos parámetros intervienen en el dimensionamiento de la coraza de un dique marítimo. Tienen que ver tanto con el contexto del proyecto —es decir la topografía y naturaleza geotécnica de los fondos marinos, los niveles extremos del mar, el régimen del oleaje, el régimen de las corrientes, la naturaleza de las características de los materiales de construcción— como con los métodos de construcción y la calidad de la realización de la obra.

Muy rara vez el ingeniero proyectista tiene un conocimiento preciso de estos parámetros para un proyecto dado. Las características específicas de algunos de ellos pueden obtenerse a partir de observaciones y mediciones realizadas en el sitio durante la elaboración del proyecto, tal como se hace para el conocimiento de los fondos marinos, cuya evolución en el tiempo es generalmente lenta. Esto es válido también para las características de los materiales de construcción, para los cuales es posible precisar sus características probables de forma y la densidad de las escolleras, áridos y hormigones para bloques artificiales, gracias a reconocimiento de cantera.

En cambio, hay parámetros cuyo conocimiento está supeditado a variaciones aleatorias en el tiempo y cuya estimación requiere observaciones a largo plazo. Este es el caso de los niveles extremos probables del mar y, sobre todo, del oleaje probable de los temporales.

En cuanto a la calidad de ejecución de la obra, depende, en lo que se refiere a la empre-

sa contratista, de la disponibilidad de los equipos adecuados, de la experiencia de los operadores, de la calidad de los materiales y su utilización y, en lo que se refiere al director de la obra, del seguimiento constante, del control y de la experiencia de los ingenieros.

Por lo general, el proyectista de una obra dispone de valores aproximados para ciertos parámetros y aplica estos valores a fórmulas de predimensionamiento, que resultan de ensayos realizados en laboratorio en condiciones relativamente ideales. Es evidente que el proyectista debe implícitamente tener en cuenta a la vez el carácter incierto de algunos parámetros y los albrures de la realización, de modo que los riesgos a los que está expuesto el proyecto real no difieran demasiado de los riesgos teóricos. La seguridad obtenida dependerá del grado de incertidumbre de los valores de los parámetros básicos, de la sensibilidad de estos factores inciertos en relación a la perennidad de la obra y de los coeficientes de corrección realmente tenidos en cuenta.

2. PREDIMENSIONAMIENTO DE UNA CORAZA DE DIQUE. FORMULA DE ESTABILIDAD AL OLEAJE

Desde hace unos treinta años, los ingenieros recurren al análisis dimensional, combinado con los ensayos de estabilidad en canal de oleaje, en situaciones de oleaje regular y aleatorio, para probar diferentes materiales que pueden servir para la construcción de corazas de diques, a fin de conocer mejor la influencia de ciertos fac-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de Agosto de 1989.

tores principales, capaces de determinar la estabilidad de una coraza al oleaje.

De allí resultan fórmulas que tienen en cuenta los parámetros básicos, ponderados por uno o varios coeficientes, que abarcan globalmente los parámetros secundarios y los niveles de incertidumbre.

Una de las primeras fórmulas empíricas fue la del Profesor Iribarren, la cual, después de estudios complementarios, evolucionó hacia una fórmula del tipo Hudson, que es hoy en día la más utilizada a nivel internacional. Esta fórmula se escribe de la forma siguiente:

$$W = \frac{H_d^3 \beta}{K_D \cot \alpha} \quad \text{con } \beta = \frac{e}{\left(\frac{e}{e_0} - 1\right)^3}$$

W Peso de los bloques de la coraza (la mayoría de los autores considera que se trata del peso promedio de la categoría cuando se trata de elementos no homogéneos) en toneladas;

cot α Pendiente del talud de la coraza;

H_d Amplitud del oleaje de dimensionamiento, en metros;

Las fórmulas de predimensionamiento de los elementos de una coraza para diques marítimos, tal como la fórmula de Hudson, resultan de ensayos de estabilidad realizados en canal de oleaje; existe una relación empírica entre el valor de H considerado en la fórmula y el valor de K_D. En general, el valor de K_D corresponde a un valor H = H_s (amplitud significativa del oleaje).

Parece preferible utilizar el valor de la amplitud de dimensionamiento H_d, que es igual al valor H_s, en las cercanías inmediatas de la obra, «transformada» por la topografía de los fondos marinos.

e y e₀ Peso específico de los elementos de la coraza y del agua, en t/m³;

K_D Coeficiente de estabilidad, en la fórmula de Hudson, este coeficiente integra en forma global el comporta-

miento ante el oleaje de los elementos que constituyen la coraza de un dique, para un oleaje de dimensionamiento dado, así como factores secundarios diversos, tales como los grados de incertidumbre del valor de los parámetros naturales, la calidad de la construcción de la coraza, etc.

Parece que resulta más claro subdividir el coeficiente K_D en dos partes. El primero es un factor inherente al elemento que forma la coraza (escolleras o tipo de bloque artificial) y a su estabilidad al oleaje, que resulta de ensayos realizados en laboratorio; éste será designado como K_d. El segundo es un coeficiente empírico que abarca los parámetros secundarios no representados en la fórmula, así como los grados de incertidumbre sobre los valores de estos parámetros y los albrures de la construcción; éste será llamado coeficiente de incertidumbre, o, más positivamente, coeficiente de seguridad. De este modo, se podrá escribir la fórmula siguiente:

$$K_D = \frac{K_d}{\gamma}$$

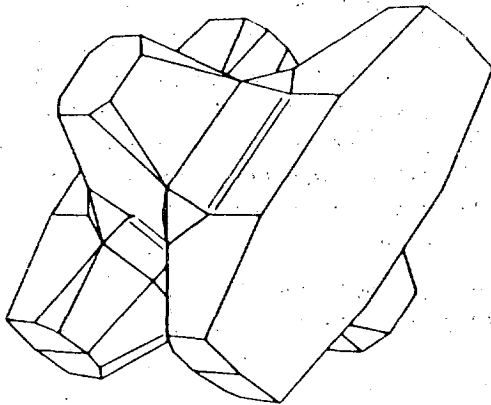
3. EL BLOQUE ACCROPODE (R) Y LOS ENSAYOS SISTEMATICOS DE ESTABILIDAD EN CANAL DE OLEAJE

3.1. La forma del bloque ACCROPODE (R)^(*)

La forma del bloque ACCROPODE (R) fue diseñada muy especialmente para constituir corazas de diques formadas por una sola capa de bloques. Además de su facilidad de fabricación y de manejo, esta forma de bloques ofrece una gran robustez y permite su colocación en una coraza sin que se tenga que respetar una posición particular del bloque. El único aspecto importante a nivel de la colocación es el intervalo

(*) Hasta el 01/06/88, el bloque ACCROPODE (R) había sido utilizado para la realización de 30 proyectos en diversos países del mundo.

Bloque ACCROPODE (R)



entre bloques vecinos, es decir el diagrama de colocación. Esto facilita el trabajo de la empresa contratista y reduce los riesgos de una colocación incorrecta.

3.2. Ensayos sistemáticos de estabilidad en canal de oleaje

En lo que se refiere al bloque ACCROPODE (R), *ensayos sistemáticos* de estabilidad en canal de oleaje, en régimen de oleaje regular y aleatorio, fueron realizados en diversos laboratorios de hidráulica de fama internacional, en particular:

- en 1980 (1)* en los Laboratorios de Hidráulica de SOGREAH, Francia.
- en 1987 (2) en el DELFT Hydraulics Laboratory, Harbours, Coasts and Offshore Technology Division. Países Bajos.
- (3) en el First Design Institute of Navigation Engineering of Ministry of Communications, TJANJIN, China.
- en 1988 (4) en el National Research Institute for Oceanology Stellenbosh, S. A.
- (5) en el Central Water Power Research Station en Pune, India.

(*) Véase bibliografía.

A la hora de redactar este artículo (1988), los resultados de los ensayos (4) y (5) aún no están disponibles (los ensayos (4) están terminados, el informe todavía no está publicado; los ensayos (5) están empezando). Los resultados de los ensayos, (1), (2) y (3) fueron objeto de informes internos en el seno de los organismos mencionados.

Los resultados de los estudios (2) y (3) fueron presentados y publicados en la conferencia internacional BREAKWATERS'88, y en una revista técnica china sólo los del (3).

Las condiciones de ensayos y los resultados disponibles, primero los presentaremos separadamente y luego los analizaremos en forma global.

Cabe añadir, a título informativo, que otros ensayos de estabilidad en canal y en tanque de oleaje también han sido realizados en diversos laboratorios de hidráulica, pero se refieren a obras relacionadas con aplicaciones específicas de la técnica ACCROPODE (R), en particular en los laboratorios de la Universidad de Lieja, del LCHF (París), del LNH (París), del LPEE (Casablanca), de PORTOBRAS (Río de Janeiro), del LEM (Argel), del LHOM (México), de la Universidad de STELLENBOSCH, etc.

4. ENSAYOS SOGREAH. 1980

SOGREAH está directamente interesada en el desarrollo de la técnica ACCROPODE (R), por lo que, ya a partir de 1980, fue llevando a cabo una serie de ensayos de comprobación de su buen comportamiento, anteriores a las primeras aplicaciones de esta técnica.

Ensayos sistemáticos fueron realizados en un canal de oleaje de 1,20 m de ancho, 80 m de largo y 1,50 m de altura, a escala 1/50, en oleaje regular y en oleaje aleatorio. Al mismo tiempo, se realizaron ensayos en tanque, con la misma escala y los mismos bloques, pero sobre una estructura rebasada por un oleaje medio a fuerte, pero sus resultados no son significativos desde un punto de vista general.

En canal de oleaje, los ensayos se aplicaron a un talud formado por una capa única de bloques ACCROPODE (R) de 4 m³ (peso real 9,6 t), a escala 1/50, altura del bloque modelo 46

mm, densidad 2,33 g/cm³, colocados a granel y respetando la densidad de colocación recomendada (1,04 m³/m², con una pendiente 4/3 sobre una capa doble de materiales sueltos de un peso unitario comprendido entre 1/7 y 1/15 del peso del bloque, estando esta capa colocada sobre un núcleo compuesto por materiales todo uno de cantera. En su parte superior, el talud alcanzaba la cota (+ 15,00), no rebasable, y, en su parte inferior, estaba apoyado en la cota (- 8,00), sobre un repié de contención de materiales sueltos de 5 a 7 toneladas. La base del perfil se situaba a la cota (- 14,00) sobre un fondo no erosionable que presentaba una pendiente uniforme hacia el alta mar de 1 %.

Fueron recogidas cuatro series de resultados:

- (i) amplitudes del oleaje que corresponden al criterio de «ningún daño» en la coraza,
- (ii) amplitudes del oleaje que corresponden al criterio de «daños severos»
- (iii) coeficientes de reflexión del talud,
- (iv) afloramientos máximos y mínimos de las olas sobre el talud.

En este texto, sólo se presentan los resultados (i) y (ii).

Por razones de homogeneidad con la presentación de los resultados de los ensayos de Delft y de Tjanjin, los valores de H_s y de T_z fueron traducidos en las expresiones H_s/Δ.D_n y ξ_z con:

$$\Delta = \frac{e}{e_0} - 1, \quad D_n = \frac{(W)^{1/3}}{e}$$

$$y \quad \xi_z = \text{tg } \alpha / (2 H_s / gT_z^2)^{1/2}$$

Debemos recordar que T_z = período de paso por cero ascendente y que

$$H_z/L_z = \text{peralte de la ola.}$$

$$= \frac{H_z}{gT_z^2 / 2 \pi}$$

4.1. Definición de los criterios de «ningún daño» y de «daños severos»

La definición de los criterios de «ningún daño» y de «daños severos» en una coraza es un

tema delicado, en torno al cual resulta difícil llegar a la unanimidad. Ya que estos criterios no son exactamente los mismos según los autores o que no son especificados en forma precisa, existen necesariamente algunas divergencias en los valores publicados, sobre todo para la situación de «daños severos», aun suponiendo que las condiciones de los ensayos sean absolutamente idénticas.

SOGREAH admitió que la situación límite para el «ningún daño» es aquella para la cual el 5 % (como máximo) de los bloques situados en la zona activa de la coraza (entre +H_s y -H_s en relación al nivel del agua en descanso) está afectado por un movimiento de oscilación apenas perceptible a simple vista. La situación de «daños severos», en cambio, se caracteriza ya sea por el desplazamiento en una dirección perpendicular al plano de la coraza, en una distancia equivalente a por lo menos media altura de un bloque, del 10 % de los bloques situados en la zona activa de la coraza, o bien por oscilaciones repetidas, al ritmo de las olas fuertes, con un ángulo de 5 a 10°, de este mismo 10 % de los bloques.

4.2. Valores de H_s / Δ .D_n para el criterio de «ningún daño»

4.2.1. Pendiente del fondo marino igual a 1 %

T _z	H _s / Δ .D _n			
	Ensayos 1	Ensayos 2	Ensayos 3	Ensayos 4
8	3,05	2,76	—	—
9	2,86	2,95	3,28	3,10
10	3,33	3,43	3,33	3,24
12	2,95	3,48	3,33	—

4.3. Valores H_s / Δ .D_n para el criterio de «daños severos»

4.3.1. Pendiente del fondo marino igual a 1 %

T _z	H _s / Δ .D _n			
	Ensayos 1	Ensayos 2	Ensayos 3	Ensayos 4
8	3,57	3,67	—	—
9	3,71	3,67	3,51	3,81
10	3,90	3,76	3,81	3,95
12	3,81	3,90	3,71	—

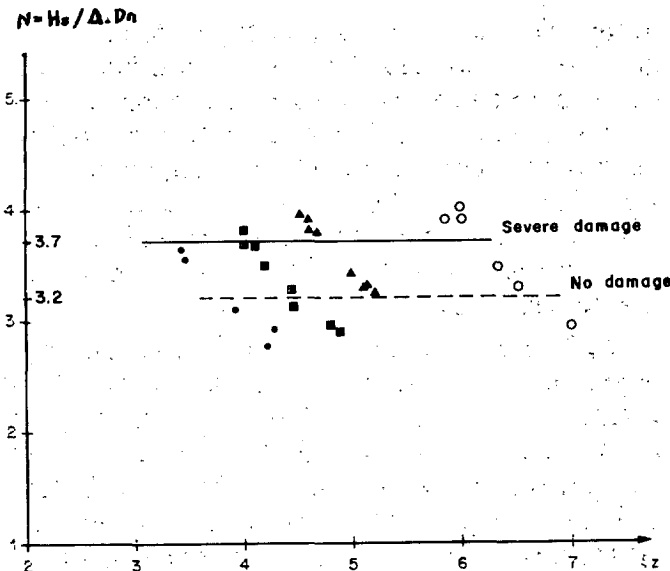


Fig. 1.—Stability of ACCROPODE - SOGREA tests.

Los resultados aparecen en la figura 1 para las situaciones de ningún daño (trazado interrumpido) y de daños severos (trazado continuo).

En lo que se refiere a la pendiente de los fondos marinos de 1 %, los ensayos fueron efectuados para 4 períodos de oleaje, o sea 8, 9, 10 y 12 s. Los resultados no indican una influencia neta del período sobre la estabilidad de la coraza; los puntos se sitúan sobre una recta paralela al eje de las abscisas.

Los valores medios $H_s / \Delta D_n$ correspondientes a las situaciones de «ningún daño» y de «daños severos» son respectivamente iguales a 3,20 y 3,70. Refiriéndose a la fórmula de Hudson, estos valores $H_s / \Delta D_n$ corresponden a valores de K_d :

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_n} = (K_d \cot \alpha)^{1/3} \quad \text{con } \cot \alpha = 1,33$$

$$K_d = 24,6 \text{ (ningún daño)}$$

$$\text{y } K_d = 38,0 \text{ (daños severos)}$$

5. ENSAYOS DELFT

Los ensayos de estabilidad en canal de oleaje realizados en DELFT HYDRAULICS LABORATORY (DHL) en marzo de 1987 sobre una estructura dotada de una coraza de bloques AC-

CROPODE (R), se sitúan en el marco de un programa de estudio más amplio, relacionado con la elaboración de una fórmula de estabilidad al oleaje de las corazas de rompeolas de talud formadas por escolleras, cubos, bloques Tetrápodos o bloques ACCROPODE (R). Los resultados globales de este estudio comparativo fueron presentados por el autor del estudio, J. W. Van der Meer, en la conferencia Breakwaters'88, celebrada en Inglaterra.

Los ensayos de estabilidad en canal de oleaje para una coraza de bloques ACCROPODE (R) fueron realizados en un canal de 50 m de largo, 1 m de ancho y 1,5 m de altura. Fueron aplicados a bloques de 161 gramos, de un peso específico de 2,32 g/cm³, volumen 69,4 cm³, correspondientes a bloques de 9 m³ a escala 1/50,6. La coraza estaba formada por una capa única de bloques de un espesor 0,9 H (H = altura del bloque) con una densidad de colocación conforme a las normas de SOGREA; la capa filtro por debajo de la coraza estaba constituida por piedras de 2-2,5 cm de peso promedio 20 gramos (aproximadamente 1/8 del peso del bloque); el núcleo del dique estaba formado por piedras de $D_{50} = 1,1$ cm con $D_{85}/D_{15} = 1,50$; la pendiente del fondo marino delante de la estructura era uniforme e igual a 1/30.

Una sola pendiente de coraza fue considerada: 4/3 (4 horizontal por 3 vertical), o sea $\cot \alpha = 1,33$ o $\text{tg } \alpha = 0,75$.

Los ensayos fueron realizados para 4 períodos de oleaje modelo: T = 1,4 s, 1,7 s, 2,15 s y 2,8 s y valores de H_s comprendidos entre 15 y 24 cm; por cada período de oleaje, se realizaron de 2 a 5 ensayos para valores crecientes de H_s .

Por razones de homogeneidad con los resultados presentados anteriormente por el autor para corazas formadas por escolleras, bloques cúbicos o bloques Tetrápodos, los valores de H_s y de T_z para ambos tipos de daño, «ningún daño» y «daños severos», están representados por los parámetros adimensionales $H_s / \Delta D_n$ y

$$\xi_z = \text{tg } \alpha / (2 \pi H_s / g T_z^2)^{1/2}$$

El grado de daño en la coraza estaba caracterizado, por un lado, por mediciones de la evolución de una serie de perfiles mediante el «pro-

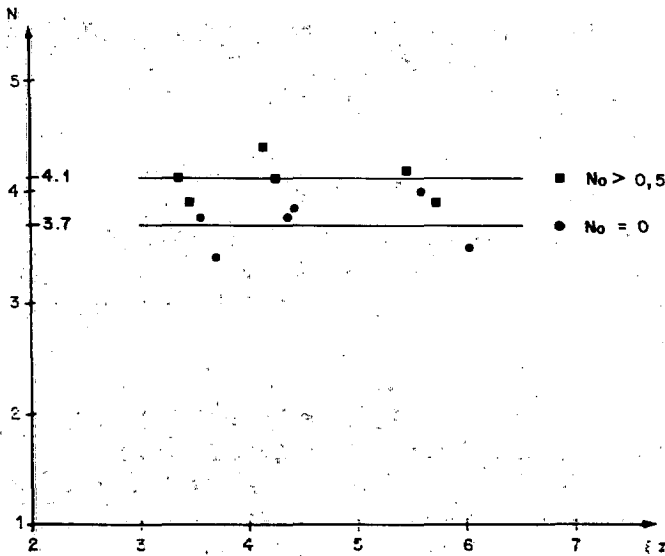


Fig. 2.—Stability of ACCROPODE DELFT hydraulics Laboratory tests.

file indicator» (factor s) y, por otro lado, por el conteo del número de bloques desplazados (factor N_o). Se constató que para la coraza de bloques ACCROPODE (R), la relación entre S y N_o es de forma $S = 2 N_o + 1$. Según el autor, la situación de «ningún daño» corresponde a $S = 1$ o $N_o = 0$ y la situación de «daños severos» corresponde a $S > 2$ o $N_o > 0,5$.

Los resultados de estos ensayos fueron llevados al gráfico de la Figura 2. El autor de los ensayos no constató ninguna influencia de la duración del temporal sobre la estabilidad de la coraza. Los resultados de estos ensayos muestran que el período del oleaje tampoco tendría una influencia (al menos en la gama de los períodos considerados 1,4 s a 2,8 s, o sea, si se considera una escala del modelo cercana a 1/50, una gama de períodos reales de 7 a 14 s).

En su informe, el DHL precisa que la forma del espectro y del grupo de olas no tiene influencia sobre la estabilidad de la coraza, cuando se considera el período promedio para el cálculo de T_z , pero que esto no necesariamente sería el caso si se considerara el período óptimo.

6. ENSAYOS TJANJIN

Los ensayos de estabilidad en canal de oleaje realizados en 1986/87 en el First Design Ins-

titute of Navigation Engineering en Tjanjin, sobre una estructura dotada de una coraza de bloques ACCROPODE (R), se sitúan en el marco de un estudio sistemático comparativo de corazas formadas por bloques Dolos o bloques ACCROPODE (R). Estos ensayos fueron realizados simultáneamente en un canal de 91 m de largo, 4 m de ancho y 1,80 m de altura; el canal estaba dividido en dos partes laterales de 1 m de ancho cada una y una parte central de 2 m de ancho; las estructuras de bloques Dolos y ACCROPODE (R) estaban colocadas en uno y otro de los canales laterales y las mediciones de oleaje se efectuaban en el canal central.

Los ensayos fueron realizados para una pendiente de coraza única, o sea 3/2; los bloques representaban a escala 1/25 bloques Dolos y ACCROPODE (R) de un peso unitario de 4 Tm (o sea según la escala: 256 g); el peso específico era de 2,3 Tm/m³.

Los ensayos fueron realizados en oleaje regular y en oleaje irregular (espectro Bretschneider-Mitsuyasu) en la gama de períodos 9-18 s; la profundidad del agua al pie de la estructura era de 21,25 m (0,85 m a escala).

El criterio de «ningún daño» no está especificado en el texto del informe; se puede admitir que éste era poco diferente de aquellos que fueron definidos por SOGREAH y el DHL. Para el criterio de «daños severos», éste se definía de la forma siguiente: el desplazamiento de un bloque rebasa su mayor dimensión, gira en 180° y cae en una nueva posición. Se trata en realidad de un criterio algo más severo que los considerados por SOGREAH y el DHL, lo cual puede explicar en gran parte una diferencia en los resultados. La duración de la acción de las olas para cada ensayo era uniformemente igual a 30 minutos.

Para un período óptimo dado, la amplitud significativa del espectro se incrementaba en forma progresiva durante cada ensayo; los daños sólo se consideraban en la única parte activa de la coraza, localizada entre los dos niveles de agua; nivel medio del agua $\pm H_s$. El nivel de «daños» al final del ensayo era igual a la suma de los «daños» ocurridos durante el ensayo.

Para los ensayos efectuados en oleaje regular, los resultados publicados por el laboratorio

DIQUES MARITIMOS

de Tjanjin son los siguientes:

Período del oleaje T	Amplitud del oleaje H(en m)	H _s	Nivel de daño en %	Valor de K _d
9,0	8,25	6,60	0	46,7
9,0	7,40	5,92	0	33,7
10,5	7,50	6,00	0	35,1
10,5	7,57	6,06	0	36,1
12,0	7,88	6,30	0	40,6
12,0	7,03	5,62	0	28,8
13,5	8,25	6,60	0	46,7
13,5	7,03	5,62	0	28,8
15,0	8,06	6,45	0	43,6
15,0	7,34	5,90	0	33,9
16,5	8,81	7,05	0	56,9
16,5	7,74	6,20	0	38,7

Para ello, se admitió, tal como lo proponen varios autores, que el valor H de un oleaje regular corresponde, desde el punto de vista de los daños sobre una coraza, al valor H 1/10 de un oleaje aleatorio de espectro normal con H 1/10 = 1,25 H_s.

Tal como lo indica esta tabla, los resultados corresponden a una situación de «ningún daño»; los valores de T, H_s y K_d fueron traducidos en las expresiones $N = H_s/\Delta \cdot Dn$ y

$$\xi_z = \text{tg } \alpha / (2\pi H_s/gT^2)^{1/2}$$

El valor del coeficiente K_d fue introducido mediante la fórmula de Hudson que se escribe de la forma siguiente:

$$H_s/\Delta \cdot Dn = (K_d \cot \alpha)^{1/3}$$

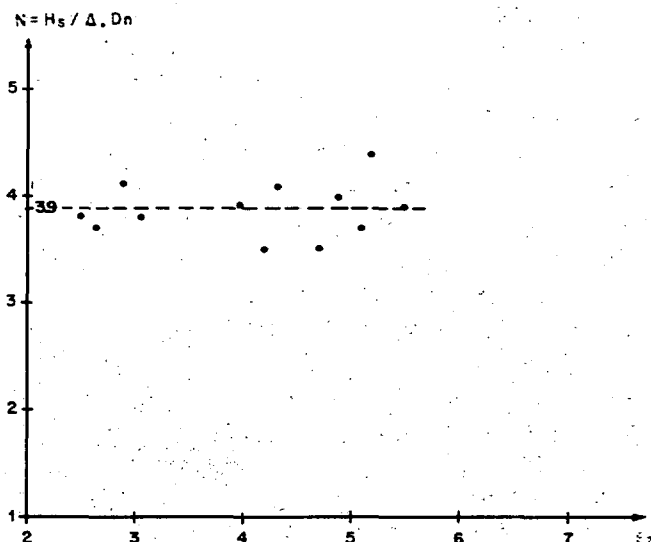


Fig. 3.—Stability of ACCROPODE - TJANJIN hydraulics Laboratory tests. No damage regular wave.

o sea, en el caso de los ensayos con $\cot = 1,5$:

$$H_s/\Delta \cdot Dn = 1,145 K_d$$

$$K_d = (H_s/(1.20 \times 1.33))^3$$

$$\xi_z = \text{tg } \alpha / (2\pi H_s/gT^2)^{1/2}$$

$$= 0,83 \frac{T}{H_s^{1/2}}$$

Los resultados se escriben entonces de la forma siguiente:

Período del oleaje T	Amplitud del oleaje H(en m)	H _s	H _s /Δ · Dn	ξ _z
9,0	8,25	6,60	4,12	2,90
9,0	7,40	5,92	3,70	3,07
10,5	7,50	6,00	3,75	3,56
10,5	7,57	6,06	3,79	3,54
12,0	7,88	6,30	3,93	3,97
12,0	7,03	5,62	3,51	4,20
13,5	8,25	6,60	4,12	4,36
13,5	7,03	5,62	3,51	4,73
15,0	8,06	6,45	4,03	4,90
15,0	7,34	5,90	3,69	5,12
16,5	8,81	7,05	4,41	5,16
16,5	7,74	6,20	3,87	5,50

Los valores $N = H_s/\Delta \cdot Dn$ en función de ξ_z fueron llevados al gráfico de la Figura 3.

Los valores de N se aproximan a 3,9; los resultados muestran una leve influencia del período del oleaje.

En situación de oleaje irregular, el autor del artículo, que relata los resultados de los ensayos de Tjanjin, presentó estos resultados tomando en cuenta directamente los factores utilizados por los otros autores, es decir:

$$N = H_s / \Delta \cdot Dn \quad y$$

$$\xi_z = \text{tg } \alpha / (H_s/Lo)^{1/2} = \text{tg } \alpha / (2\pi H_s/gT^2)^{1/2}$$

Los resultados se indican en el gráfico de la Figura 4 para una situación de «ningún daño». A diferencia de los resultados de los ensayos de Delft (que se refieren prácticamente a la misma gama de valores de ξ_z), estos resultados muestran una influencia relativamente neta del período sobre el valor de N, con un valor mínimo de N para los valores de ξ_z comprendidos entre 5 y 5,5 (o sea para valores H_s/Lo comprendidas entre 0,074 y 0,09).

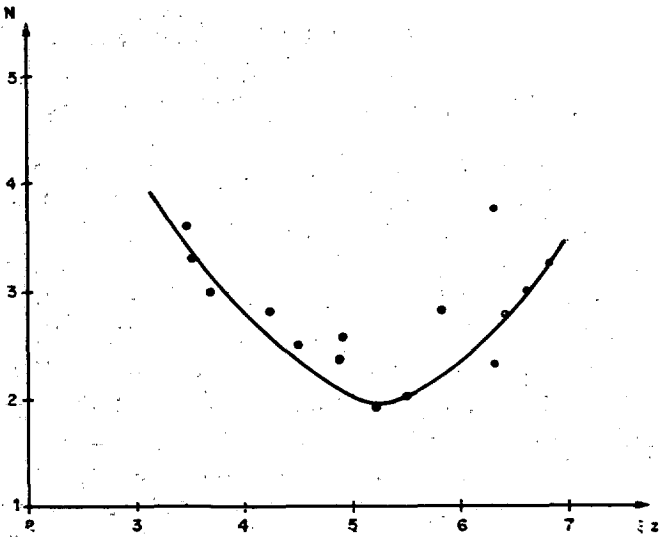


Fig. 4.—Stability of ACCROPODE TJANJIN hydraulics Laboratory testy.

7. COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS SOGREAH, DELFT Y TJANJIN

Los valores de $N = f(\xi_z)$ se recapitulan en la tabla que sigue para los valores enteros de ξ_z leídos sobre los cuatro gráficos de los dibujos 1, 2, 3 y 4; todos corresponden, en principio, a una situación de «ningún daño».

Valores de N para valores enteros de ξ_z	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
(1) SOGREAH		3,2	3,2	3,2	3,2	3,2		
(2) DELFT		3,7	3,7	3,7	3,7	3,7		
(3) TJANJIN (oleaje regular)		3,9	3,9	3,9	3,9	3,9		
(4) TJANJIN (oleaje irregular)		3,4	2,8	2,3	2,0	2,05	2,35	2,9

Estos valores se indican sobre el gráfico de la Figura 5. Se constata cierta dispersión de los resultados, en particular entre los valores de N observados durante los ensayos de Tjanjin en oleaje regular y en oleaje irregular.

Según los ensayos de Tjanjin, en oleaje irregular para la situación de «ningún daño», los valores de N varían desde $N = 2$ ($5 < \xi_z < 5,5$) hasta $N = 4$ ($\xi_z > 7$ ó $\xi_z < 3$). Los resultados de los ensayos de Delft y de SOGREAH parecen más coherentes con N promedio = 3,7 (ensayos de Delft) y $N = 3,2$ (ensayos de SO-

GREAH), ya que no indican ninguna influencia del período del oleaje en la gama de los períodos de oleaje considerada. Lo mismo vale para los ensayos de Tjanjin, en situación de oleaje regular $H_s/\Delta \cdot D_n = 3,9$.

8. VALORES EXPERIMENTALES DE K_d PARA UNA SITUACION DE NINGUN DAÑO

Ya que no se conocen en forma exacta las condiciones en las que se realizaron los ensayos de Tjanjin, se concederá más peso, en la apreciación que se hará del valor de N, a los resultados de los ensayos de Delft y de SOGREAH. No obstante, se observará que el valor «promedio» de N, que resulta de los ensayos de Tjanjin en oleaje regular y en oleaje irregular, se sitúa alrededor de un valor cercano a $N = 3,5$.

Se admitirá que el valor $N = 3,5$ es representativo de los resultados de estas tres series de ensayos llevadas a cabo en tres centros diferentes. Se admitirá también que, en la gama de los períodos de oleaje más frecuentes con $7 < T < 14$ s, el período del oleaje no tiene una influencia notable sobre la estabilidad de una coraza formada por bloques ACCROPODE (R).

Para esta situación de «ningún daño» con $N = H_s/\Delta \cdot D_n = (K_d \cot \alpha)^{1/3} = 3,5$, el valor del coeficiente K_d para una pendiente de talud igual a 4/3 es cercana a $K_d = 32$.

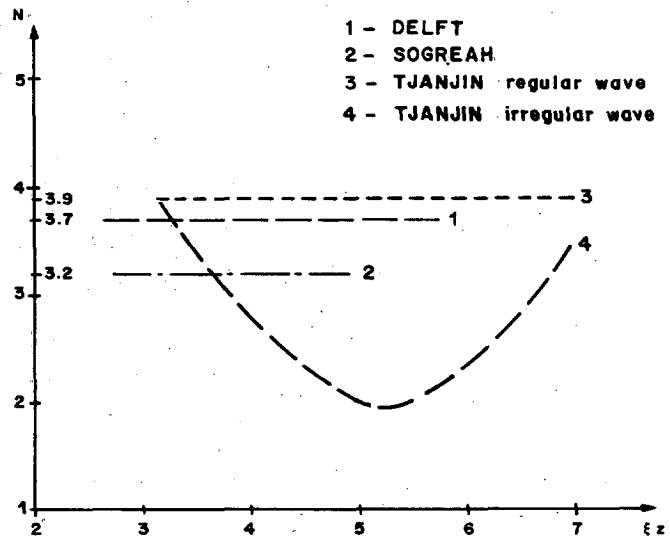


Fig. 5.—Stability of ACCROPODE - No damage criteria.

9. COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Para el predimensionamiento de una coraza formada por bloques ACCROPODE (R) sometida a un ataque frontal del oleaje, se propone considerar un valor K_D levemente reducido en relación al valor $K_d = 32$ de la situación de «ningún daño».

SOGREAH recomienda tomar en consideración el valor $K_D = 10$ en una situación de oleaje rompiente (lo cual casi siempre ocurre en un momento u otro de la vida de una estructura), o sea, en realidad, el coeficiente de seguridad siguiente:

$$\gamma = \frac{K_d}{K_D} = 3,2$$

Si nos referimos a los parámetros principales que intervienen en la estabilidad al oleaje de una coraza y si atribuimos a cada uno de estos parámetros un coeficiente de incertidumbre, por ejemplo γ_1 para el factor β , γ_2 para los albrures de la colocación, γ_3 para la pendiente de la coraza y γ_4 para el parámetro representativo de la amplitud del oleaje de dimensionamiento, tendríamos:

$$\gamma = \gamma_1 \times \gamma_2 \times \gamma_3 \times \gamma_4$$

Si se admite que

$\gamma_1 = 1,1$; $\gamma_2 = 1,12$ y $\gamma_3 = 1,05$, el coeficiente de incertidumbre γ_4 sería igual a:

$$\gamma_4 = \frac{\gamma}{\gamma_1 \times \gamma_2 \times \gamma_3} = \frac{3,2}{1,1 \times 1,12 \times 1,05} = 2,47$$

Un nivel de incertidumbre de 2,47 sobre el parámetro amplitud del oleaje, que interviene con raíz cúbica (H_D^3) en la fórmula de Hudson, corresponde a un coeficiente de incertidumbre (o de seguridad) cercano a $(2,47)^{1/3} \approx 1,35$ sobre el valor de la amplitud del oleaje; esto significa que, considerando los grados de incertidumbre sobre los demás factores, el hecho de seleccionar en la fórmula de Hudson un valor $K_D = 10$ para la situación de «ningún daño» en la coraza permite que sea válida hasta una incertidumbre del 35% sobre el valor de la amplitud del oleaje de dimensionamiento.

10. NIVEL DE INCERTIDUMBRE SOBRE EL VALOR DE LA AMPLITUD DEL OLAJE DE DIMENSIONAMIENTO

En principio, existen casos en que el riesgo que resulta de la selección del valor de la amplitud de dimensionamiento es reducido. Esto se da en primer lugar cuando la amplitud del oleaje es controlada por su rotura en los fondos marinos situados delante de la estructura, como ocurre en particular en el caso de estructuras ubicadas en poca profundidad sobre fondos arenosos de pendiente moderada (1 a 2). Es también el caso cuando el proyectista es suficientemente cauto y escoge un valor razonable aunque sea relativamente elevado, para H_d en un emplazamiento dado abierto al oleaje de alta mar.

Sin embargo, existen también casos en que este riesgo es importante. Esto es particularmente válido cuando el proyectista, para justificar un proyecto en la fase del estudio de factibilidad, redujo a propósito (o no) el valor del oleaje de dimensionamiento de los diques o también cuando, por falta de experiencia, no tuvo suficientemente en cuenta el efecto de incremento de la altura de las olas sobre fondos marinos de pendiente fuerte. Los estudios de Goda (entre otros) mostraron que, para un oleaje largo, las amplitudes del oleaje, sobre fondos marinos con una pendiente cercana a 10%, podían ser amplificadas en una proporción de 1 a 2 y hasta más.

Es obvio que el arriba mencionado coeficiente de seguridad no puede cubrir errores de diseño demasiado graves, pero este coeficiente si puede anular las consecuencias de errores moderados o bien atenuar las consecuencias de errores relativamente graves.

11. CONCLUSION

La selección del valor $K_D = 10$ en la fórmula de Hudson, para el predimensionamiento de una coraza formada por bloques ACCROPODE (R), cubre en forma muy correcta los grados normales de incertidumbre que afectan a los valores de los factores naturales, así como los albrures normales de la realización de la obra.

Sin embargo, insistimos en que, para la ma-

yoría de los proyectos, es necesario verificar el dimensionamiento correcto de la corza, así como la estabilidad, en situación de oleaje de temporal, del pie y de la coronación de la corza, recurriendo a ensayos apropiados en canal y tanque de oleaje. Esto es aún más válido si los fondos marinos en la parte delantera de la obra proyectada son muy irregulares.

Estos ensayos representan costes relativos poco significativos en cuanto las obras involucradas presenten dimensiones importantes. Por ello, pueden contribuir en forma decisiva a la elaboración racional de un proyecto y, finalmente, a la optimización de su coste de realización.

A título de comparación, los diferentes autores recomiendan para la situación de «ningún daño» o de «daño moderado» los siguientes valores para otros elementos de una corza sometida a un ataque frontal del oleaje:

- escolleras naturales $K_D = 2,5$ a 3
- bloques cúbicos $K_D = 6,5$
- bloques cúbicos
 ranurados $K_D = 8$
- Tetrápodos $K_D = 8$
- Dolos $K_D = 8$ a 10

BIBLIOGRAFIA

1. VICENT, G. E.: 27 aplicaciones de la técnica ACCROPODE (R) durante los primeros 7 años de su desarrollo.
2. VAN der MEER, J. W.: Stability of cubes, Tetrapods and ACCROPODE (R). BREAKWATERS'88. The Institution of Civil Engineers, 4-6 de mayo de 1988, Inglaterra.
3. The stability of ACCROPODE (R) and comparison with DOLOS First Design Institute of Navigation Engineering. Ministry of Communications, Tjanjin.

Georges Vincent

Ingeniero Civil, Consultor del Departamento de Puertos y Costas de SOGREA. H.

Louis Tourmen

Ingeniero Civil, Director Delegado de Proyectos Internacionales del Departamento de Puertos y Costas de SOGREA. H.

Juan Gonzalo Vara

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, 25 años Director del hoy Puerto Autónomo de Huelva, representante actualmente en España del Departamento de Puertos y Costas de SOGREA. H.
