

Diques marítimos (*)

**Costes comparados de las corazas de diques
construídas con bloques artificiales**

**Economía proporcionada por la utilización
del bloque ACCROPODE (R)**

Por Georges Vincent
Ingeniero Civil.

Louis Tourmen
Ingeniero Civil

Juan Gonzalo Vara
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Se describen los criterios para el dimensionamiento de revestimientos de diques marítimos de escollera, estudiándose en particular las características de los bloques artificiales «accropode».

1. EL BLOQUE ACCROPODE (R)

Después de haber desarrollado el bloque Tetrápodo en los años 50, SOGREAH creó en 1978 el bloque ACCROPODE (R), que empezó a comercializar a partir de 1980.

Gracias a su forma, diseñada especialmente, este bloque artificial de hormigón no armado permite construir corazas de diques formadas por una sola capa de bloques. Esta particularidad que no es posible con los otros bloques del mismo tipo (Tetrápodo, Dolo, Cúbico) proporciona una economía de hormigón importante en relación a las soluciones clásicas.

La facilidad de ejecución, manipulación y almacenaje, así como su robustez, son rasgos característicos de este bloque. Los primeros se deben, entre otras cosas, a los factores siguientes:

- la apertura ancha del molde que facilita la colocación y la vibración del hormigón, así como los controles de calidad,
- el volumen reducido ocupado por el conjunto bloque-encofrado, que permite almacenar los bloques en el propio sitio de fabricación, lo cual evita manipulaciones antes del endurecimiento adecuado del hormigón,
- la forma del bloque, que permite su manejo con pinzas, horquillas o eslingas, sin correr riesgo durante las maniobras.

La robustez es consecuencia de la forma del bloque, ya que su cuerpo central macizo y sus protuberancias están sólidamente unidas.

2. FORMULAS PARA EL PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS BLOQUES DE CORAZA

Numerosos ensayos en canal de oleaje, en situaciones de oleaje regular y aleatorio, han sido realizados durante los últimos treinta años. Estos han permitido elaborar fórmulas semiempíricas que se utilizan comúnmente para el predimensionamiento de los bloques artificiales destinados a constituir la coraza de un dique marítimo.

La fórmula de Hudson es la que se utiliza más a menudo para el predimensionamiento de corazas de diques constituidas por bloques artificiales, aunque se estableció basada en ensayos, con oleaje regular y para corazas de escolleras, sin además tener en cuenta factores secundarios tales como el período del oleaje, la duración de los temporales, la permeabilidad general del núcleo del dique, etc.

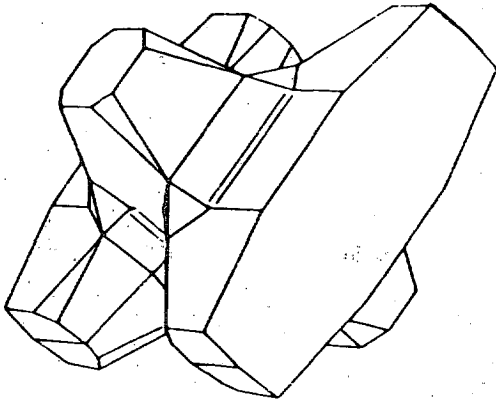
Las investigaciones más recientes y principalmente las de J.W. Van der Meer (1), realizadas en DHL, han conducido a fórmulas semiempíricas que consideran en todo o en parte los factores secundarios antes mencionados.

Tratando de realizar un estudio comparado entre los costes de construcción de una coraza ejecutada con diferentes tipos de bloques

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de noviembre de 1989.

que ofrezcan cualidades comparables de estabilidad a la ola, parece correcto y suficiente que se refiera a la fórmula de Hudson para este tipo de estudios con la condición, bien entendido, que el coeficiente de estabilidad K_d tenga correctamente en consideración la forma del bloque.

Bloque ACCROPODE (R)



Nos hemos propuesto comparar «corazas» equivalentes formadas por bloques artificiales todavía corrientemente utilizados estos últimos años para la construcción de diques de medianos a importantes: éstos son el cubo ordinario, el cubo ranurado tipo «Antifer», el Tetrápodo, el Dolos y el ACCROPODE (R).

De hecho, después de los accidentes constatados sobre varios grandes diques realizados con el bloque Dolos, a pesar de que ofrece ciertas cualidades propias, es cada vez menos utilizado; del mismo modo, el bloque cúbico ordinario, que tiene sus partidarios, tiene que enfrentarse con la competencia del bloque cúbico ranurado.

3. LA CONCEPCION DE UN PROYETO Y LA REALIDAD

Los recientes accidentes ocurridos en distintos grandes diques en los últimos diez años, han conducido a los ingenieros a profundizar los factores técnicos unidos al comportamiento de una coraza, que son principalmente: la incertidumbre sobre el valor de la ola de proyecto, la calidad de la construcción, la fragili-

dad de los bloques, el dimensionamiento de la capa de filtro, etc.

El ingeniero proyectista, que diseña un proyecto de dique marítimo, no considera siempre los diversos estados de la vida de una obra, desde su concepción hasta su realización. De hecho, debería considerar, con la misma atención, al menos cuatro etapas esenciales:

3.1. El diseño de la estructura

Aunque esta fase corresponda a un estudio meramente preliminar, éste implica generalmente la conformidad del Director de la Obra y del Propietario de la misma, por lo que el proyectista tiene dificultades para alejarse posteriormente de este primer bosquejo. A esta altura del proyecto, el Proyectista tiene en consideración el tipo de bloque, el valor de la ola de proyecto, la densidad del hormigón y los demás parámetros los engloba en forma de un coeficiente de estabilidad empírico, ponderado o no por un coeficiente de seguridad, según el entorno del proyecto.

3.2. La optimización y el control de la estructura mediante ensayos de estabilidad en canal de oleaje y en tanque con oleaje regular y/o irregular.

Estos ensayos afectan a la coraza del dique, pero sobre todo a las otras características del dique, a saber el pie de recalce de apoyo (y sus riesgos de erosión), la parte superior, el talud posterior, el ataque con oleaje oblicuo, etc...

A esta altura del estudio, a diferencia de la fase preliminar, el Ingeniero puede comprobar la *sensibilidad* de la coraza a un incremento del valor del oleaje de proyecto o a unas condiciones específicas de la construcción, como, por ejemplo, la relacionada con la colocación de los bloques.

3.3. La fase de la construcción

Durante esta fase, lo que importa principal-

mente es el respeto de las especificaciones técnicas establecidas por el autor del proyecto, tanto en lo referente a las características de los materiales como a las exigencias de su utilización, buscando la calidad real de la obra ejecutada.

Es evidente que la calidad de la obra en la realidad nunca es tan buena como la que fue lograda en el laboratorio durante un ensayo de estabilidad al oleaje, sobre todo si la empresa encargada de la obra no tiene el equipamiento adecuado. Por lo tanto, es necesario que esta diferencia sea tenida en cuenta, al menos mediante un coeficiente de seguridad, y ello desde la fase del diseño de la obra.

3.4. La situación real

Las condiciones de vida de una obra nunca son las que fueron imaginadas por el proyectista en la oficina de diseño o en el laboratorio. La naturaleza no deja de lado ningún parámetro; sucede a veces, lo cual es lógico, que haga coincidir un nivel muy elevado del mar con un oleaje muy fuerte, un viento violento, a veces corrientes violentas —generadas por el oleaje y otros factores— o bien hundimientos imprevistos, etc... Es entonces necesario, también en este caso, que el proyectista tenga en cuenta este riesgo integrándolo al proyecto, o que estime las consecuencias financieras eventuales de su no inclusión.

4. CRITERIO DE ESTABILIDAD DE LOS BLOQUES EN UNA CORAZA —COEFICIENTES DE ESTABILIDAD— COEFICIENTES DE SEGURIDAD

4.1. Criterio de estabilidad

En vista de los accidentes ya mencionados, ocurridos en algunos diques importantes durante los últimos años, parece esencial tener en cuenta el hecho de que un elemento de coraza —sea cual sea— termina rompiéndose si está sometido a movimientos repetidos dentro de la coraza. Desde luego, las rupturas parciales

o generalizadas en la coraza intervienen en forma más o menos importante y más o menos temprana según la fragilidad del material.

Sin embargo, parece arriesgado referirse a un criterio de estabilidad correspondiente a $n\%$ de daños, ya que la definición de (n) será siempre subjetiva.

Primero, se debe definir el oleaje de dimensionamiento de la coraza con la mayor claridad posible en las cercanías inmediatas de la obra. Luego, se debe estar de acuerdo en que una coraza ofrece una estabilidad correcta para este oleaje, siempre y cuando los bloques estén dimensionados para su situación de *ningún daño*, la cual se caracteriza —en un ensayo de estabilidad en canal de oleaje, por ejemplo— por un movimiento, apenas perceptible a simple vista, del 5% como máximo de los bloques que constituyen la zona activa de la coraza (entre los niveles H_n y H_d en relación al nivel del agua en descanso). Esta situación es calificada también por los especialistas como «movimiento no discernible» o, en inglés, «non discernible movement».

4.2. Coeficientes de estabilidad

Los coeficientes de estabilidad aplicables a la fórmula de Hudson han sido definidos para los diferentes tipos de bloques mencionados. Estos valores resultan a la vez de ensayos en laboratorio y de la experiencia.

Empíricamente, se podría pensar que estos coeficientes de estabilidad están divididos en dos grandes categorías, según que la estabilidad del elemento considerado dependa únicamente de su masa o que dependa a la vez de la masa y del efecto de imbricación.

Este es el caso del bloque Dolos, por ejemplo, para el cual el factor imbricación fue considerado durante mucho tiempo como preponderante, tal como aparecía durante ensayos de estabilidad en laboratorio. Es evidente que, en la realidad, las condiciones de colocación de los bloques son mucho más aleatorias y que el efecto de imbricación puede eventualmente desaparecer totalmente, con mayor razón en el sistema de coraza de dos capas.

Indicamos a continuación los valores comunes de K_D recomendados por diferentes autores para una situación llamada de «ningún daño», con oleaje rompiente sobre una sección corriente de un rompeolas:

TABLA 1

Tipo de bloques	(2)	(3)	(4)	(5)
Bloques cúbicos comunes	6,8	6,5		7*
Bloques cúbicos ranurados	8			10*
Tetrápodos	8,3	7	8	8,9**
Dolos	22-30	7,9		16***
ACCROPODE (R)	10		10	

(2), (3), (4), (5): véase bibliografía.

* Promedio 5 diques.

** Promedio 50 diques.

*** Promedio 30 diques.

En lo que se refiere a la columna (5) de la tabla 1 se trata de valores promedios del K_D que, a veces, resultan de un cálculo a posteriori.

La investigación llevada a cabo por el grupo de trabajo del Comité Técnico Permanente II del AIPCN (5) abarcó 163 diques ya realizados; esta investigación puso de relieve una dispersión importante de los valores de K_D .

La gama de los valores de K_D se indica a continuación para 5 tipos de elementos de coraza:

TABLA 2

Tipo de elementos	Gama de K_D
Tetrápodos	2-32
Dolos	2-28
Stabit	4-23
Cubo	2-15
Escollera	2-10

Naturalmente, es un poco sorprendente que, para un bloque tan utilizado como el Tetrápodo durante los años 1950-1985, los proyectistas de diques hayan contemplado valores de K_D tan divergentes, sobre todo hacia valores superiores a 10. Se puede imaginar que son valores calculados a posteriori para obras, cuyo oleaje de proyecto sólo se conocía en forma imprecisa. Algunas de estas obras fueron incluso destruidas.

4.3. Pendiente de los taludes

La tabla siguiente indica las pendientes de taludes generalmente consideradas para estos mismos tipos de bloques:

TABLA 3

Tipo de bloques	Pendientes de talud
Bloques cúbicos comunes	1,5/1-2/1
Bloques cúbicos ranurados	1,5/1
Tetrápodos	4/3
Dolos	1,5/1
ACCROPODE (R)	4/3

4.4. Coeficientes de seguridad

Los valores de K_D utilizados en la fórmula de Hudson son generalmente diferentes de los valores que resultan de los ensayos de estabilidad en canal de oleaje.

Si K_D representa el valor del coeficiente de estabilidad derivado directamente de los ensayos en laboratorio para una situación de «ningún daño», la relación $K_d : K_D = \gamma$ puede caracterizar lo que pasaremos a llamar el coeficiente de seguridad global. Este coeficiente se llama global, porque abarca grados de incertidumbres de diferentes tipos, así como factores secundarios que no aparecen en la fórmula de Hudson, tales como los albrues en la colocación de los bloques, factores como el espectro real del oleaje, la duración del temporal, etc...

Este coeficiente de seguridad puede ser determinado para tres tipos de bloques, que son el cúbico, el Tetrápodo y el ACCROPODE (R) (y para las escolleras), en base a los resultados de los ensayos realizados en el Delft Hydraulics Laboratory por J. W. Van der Meer (1). Tal como lo indica la Figura 1 que sigue, según estos resultados, los valores del grado de daño («relative damage number» o «stability number») $N_s = H_s / \Delta \cdot D_n = (K_d \cot \alpha)^{1/3}$ dependen poco del peralte del oleaje S_z . Para la situación de «no damage», los valores $(K_d \cot \alpha)^{1/3}$ difieren poco entre el cubo, las escolleras y el Tetrápodo; son de aproximadamente 1,6 para el cubo, 1,7 para las escolleras y 1,8 para el Tetrápodo.

Para $\cot \alpha = 1,5$, los valores de K_d son pa-

ra estos elementos iguales a $K_d = 2,70$ (cubo), $K_d = 3,3$ (escolleras) y $K_d = 3,9$ (Tetrápodo). Para el bloque ACCROPODE (R) ($K_d \cot \alpha)^{1/3} = 3,2$, o sea, para $\cot \alpha = 1,33$ un valor $K_d = 37$.

Según estos resultados, el coeficiente de seguridad sería igual a 1 (ninguna seguridad adicional) si se escogiera en la fórmula de Hudson un valor $K_D = K_d$ que sea respectivamente de 2,7 para el cubo, 3,3 para las escolleras y 3,9 para el Tetrápodo. Este coeficiente de seguridad es en cambio de $37:10 = 3,7$ para el bloque ACCROPODE (R) cuando, para este bloque, se escoge el valor $K_D = 10$.

¿No es lógico pensar que en una coraza formada por dos capas de bloques (o escolleras), en la que los elementos de la segunda capa están relativamente libres entre sí, se constaten diferencias notables en el coeficiente de estabilidad (independientemente de la forma de sus elementos) con relación a una coraza dispuesta por bloques de las características del ACCROPODE (R) colocados en una sola capa? Esto es, en definitiva, lo que parece deducirse de los ensayos de J. W. Van de Meer.

4.5. Seguridad proporcionada por una coraza formada por una sola capa de bloques

En una coraza, la primera capa de bloques

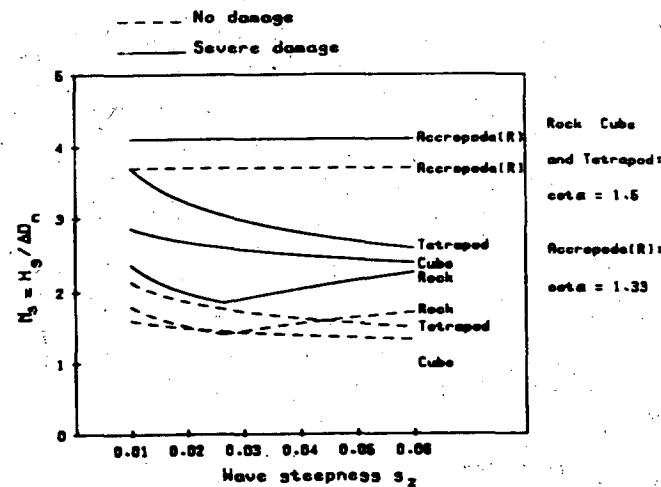


Fig. 1.—Valores del grado de daño (relative damage number) en función de S_z . Resultados Van der Meer.

se coloca sobre un filtro de escollera, intercalado entre el núcleo del dique y la coraza; el filtro tiene varios objetivos, entre los cuales cabe mencionar por lo menos éstos:

- impedir el escape del material que constituye el núcleo del dique, que es el papel básico del filtro,
- garantizar una protección provisional de los taludes y del frente de avance de la obra durante las fases de construcción,
- contribuir a la destrucción de la energía del oleaje dentro de la coraza, considerando este filtro de escollera como integrante de la coraza, y
- ofrecer una superficie de colocación de los elementos de la coraza (escollera gruesa o bloques artificiales) a la vez lo suficientemente regular como para facilitar el posicionamiento de los elementos gruesos de la primera capa, y también lo suficientemente rugosa como para contribuir a cierto «enganche» de estos elementos grandes sobre el núcleo del dique.

En un sistema de coraza formado por dos capas de bloques artificiales, los bloques de la primera capa se colocan directamente sobre la superficie del filtro de escollera. Las asperezas de la superficie de colocación siendo de amplitudes reducidas en relación a la envergadura del bloque artificial, en principio no existen dificultades especiales para posicionar los bloques de la primera capa según un plano de colocación determinado y para respetar cierta postura de colocación para cada bloque, como para el Tetrápodo, por ejemplo. En cambio, no es lo mismo para la segunda capa de bloques, formada por elementos, cuya posición respectiva depende directamente de las posiciones reales de los bloques de la primera capa. Ya que, en la práctica, es siempre muy difícil, hasta imposible, respetar en la primera capa a la vez las coordenadas y la postura de cada bloque, es obvio que las coordenadas y la postura de cada bloque de la segunda capa son generalmente imperfectas, lo cual aumenta el riesgo de «rocking».

En realidad, en un sistema de coraza de dos capas, la segunda capa ofrece probablemente una estabilidad menor que la primera capa y los

bloques inestables de la capa superior se convierten entonces en verdaderos proyectiles potenciales que incrementan el riesgo de ruptura de los bloques de la primera capa.

El fenómeno puede ser modificado en un sentido y otro mediante el asentamiento diferencial de las dos capas durante el inicio de la vida de la obra; ciertos bloques de la segunda capa aumentarán su asentamiento en relación a los bloques vecinos; otros, por el contrario, aumentarán su independencia dentro de la coraza.

Este aspecto aparece claramente en los resultados de los ensayos de Van der Meer, donde los K_d para los bloques cúbicos y Tetrápodos se demostraron ser relativamente bajos.

En una coraza formada por una sola capa de bloques, sobre todo si su envergadura es superior a la de los bloques colocados en dos capas (es de 1,43 h para el bloque ACCROPODE (R) comparada con h para el bloque cúbico del mismo peso), los inconvenientes de la segunda capa desaparecen. Además, ya que la capa única permite una economía de hormigón importante, es posible (y deseable) sobredimensionar los bloques colocados en una capa única.

A diferencia de los que se cree generalmente, la seguridad es mayor en una coraza formada por una sola capa de bloques. Si hubiera que traducir esta seguridad mediante la comparación de los K_d derivados de los ensayos en laboratorio, ésta podría expresarse en forma de coeficientes empíricos, cuyos valores serían los siguientes:

- Para el bloque ACCROPODE (R) en relación al bloque Tetrápodo:

$$\gamma_1 = 37 : 3,9 = 9,5$$

- Para el bloque ACCROPODE (R) en relación al bloque cúbico:

$$\gamma_1 = 37 : 2,7 = 13,7$$

5. HIPOTESIS SELECCIONADAS PARA LA COMPARACION DE LOS COSTES DE CONSTRUCCION DE LAS CORAZAS DE LOS DIQUES MARITIMOS

Los resultados de los ensayos realizados por Van der Meer incitan a seleccionar, para el cubo y el Tetrápodo, valores de K_d apenas superiores a 2,7 y 3,9 respectivamente. No obstante, si se tiene en cuenta la experiencia y partiendo de la hipótesis de corazas bien construidas, se admiten valores más corrientes, que corresponden probablemente a una situación de «daño leve» y no de «ningún daño».

Proponemos optar por los valores siguientes para el K_D y la pendiente normal de los taludes para los bloques considerados:

TABLA 4

Tipo de bloques	Valor de K_d	Pendiente normal del talud
Bloques cúbicos comunes ...	6,8	2/1
Bloques cúbicos ranurados ..	8	1,5/1
Tetrápodos	8	4/3
Dolos	10(*)	1,5/1
ACCROPODE (R)	10(*)	4/3

(*) Las diferencias entre los valores de los K_D para los bloques cúbicos ranurados y Tetrápodos con efecto de imbricación moderado y los valores de los K_D para los bloques Dolos y ACCROPODE (R) con efecto de imbricación notable, pueden resultar de este mismo efecto de imbricación.

6. PESO UNITARIO DE LOS BLOQUES DE CORAZA

Los pesos unitarios de los bloques destinados a constituir una carga para $\varphi = 2,4 \text{ t/m}^3$ y $\varphi_0 = 1,03 \text{ t/m}^3$ son respectivamente de:

$$W = 1,02 \frac{H_d^3}{K_d \times \cotg \alpha}$$

H_d siendo la amplitud del oleaje de dimensionamiento del bloque.

O sea para los valores de K_D y las pendientes de talud indicadas en la tabla 4, resultan los valores siguientes:

TABLA 5

Tipo de bloques	Peso unitario de los bloques
Cubo común	0,075 H_d^3
Cubo ranurado	0,085 H_d^3
Tetrápodo	0,096 H_d^3
Dolos	0,068 H_d^3
ACCROPODE (R)	0,0767 H_d^3

Las cantidades de hormigón por m^2 de coraza y por metro de altura del dique (para un metro lineal), considerando las pendientes de los taludes, son respectivamente las siguientes:

TABLA 6

Tipo de bloques	Número de capas	Coefficiente de vacío en la coraza	Vol. hormigón por m^2 de talud según H_d	Vol. hormigón de bloques por metro de altura de coraza**
Cubo común	2	0,40	0,42 Hd	0,94 Hd
Cubo ranurado	2	0,44	0,39 Hd	0,70 Hd
Tetrápodo	1	0,5	0,35 Hd	0,58 Hd
Dolos	2	0,55	0,25 Hd	0,45 Hd
ACCROPODE (R)	1	0,5	0,21 Hd	0,35 Hd

* Estos valores estan calculados según las normas de utilización corrientes.
 ** Por ejemplo, para una coraza formada por cubos comunes, la relación entre la longitud del talud (L) y la altura del talud (h) es $L = \sqrt{5} h$; el volumen de hormigón para 1 m de altura del talud corresponde a una longitud del talud de $\sqrt{5}$ m.

7. COEFICIENTES DE CORRECCION QUE AFECTAN A LOS COSTES RELATIVOS DEL HORMIGON DE BLOQUE COLOCADO

Los valores indicados en la tabla 6, última columna, indican los volúmenes de hormigón de bloque por metro de altura de la coraza; una comparación de estos valores sólo da una visión aproximada de los costes comparados, ya que los precios unitarios del hormigón de bloque colocado difieren entre bloques. Los razonamientos que siguen tratan de cuantificar estas diferencias, distinguiendo aquellas que dependen de la propia estructura del dique en cada solución de coraza adoptada, de las que dependen de la propia construcción del bloque. Definimos coeficientes de corrección para los parámetros más significativos.

8. COEFICIENTES DE CORRECCION VINCULADOS CON LA ESTRUCTURA

8.1. Coeficiente de corrección vinculado con la naturaleza de la coraza—destrucción de la energía del oleaje dentro de la coraza

La cantidad de energía del oleaje absorbida dentro de la coraza depende a la vez de la rugosidad de la coraza, de la permeabilidad del macizo homogéneo que ésta constituye y de su espesor.

La importancia de los rebases de la coronación del dique por la ola depende directamente de la cantidad de energía residual, no absorbida dentro de la coraza. Para obtener rebases comparables con corazas de naturalezas diferentes, se deberá corregir la cota de coronación del dique, es decir la altura de la coraza.

Los coeficientes de corrección afectan particularmente a las corazas formadas por una sola capa de bloques, tales como el ACCROPODE (R), y a las que presentan superficies relativamente lisas, tales como el bloque cúbico común (fenómeno de ordenamiento de los bloques) y, en un menor grado, el bloque cúbico ranurado.

Los valores razonables de los coeficientes de corrección parecen deber ser los siguientes:

TABLA 7

Tipo de bloques	Coefficiente de corrección
Cubo común	1,02
Cubo ranurado	1,01
Tetrápodo	1
Dolos	1
ACCROPODE (R)	1,08

8.2. Coeficiente de corrección debido a la pendiente de los taludes

La mayoría de los grandes diques marítimos están construidos avanzando progresivamente, por vía terrestre; los camiones y los equipos de obras públicas circulan y trabajan sobre la coronación del dique. La construcción de un dique con este método es tanto más rápida y económica en cuanto las pendientes de los ta-

ludes de las diferentes capas de materiales se aproximan a las pendientes naturales de equilibrio de los materiales descargados al agua. De este modo, una gran proporción del conjunto de los materiales de construcción es colocada mediante descarga directa por camión y empuje con pala.

Por el contrario, cuando la pendiente es relativamente suave, por ejemplo 2/1 o hasta más, una parte muy importante de los materiales debe ser colocada ya sea con una grúa, o bien por vía marítima, con un evidente sobrecoste.

En el caso más común, es la pendiente del talud de la coraza, es decir la naturaleza del material que constituye esta coraza, la que determina la pendiente del alud de los otros materiales que constituyen el núcleo del dique y las capas intermedias.

De este modo, parece natural que se tenga en cuenta este parámetro mediante un término de corrección que afecta al coste de construcción de la obra (la incidencia sobre el coste de la colocación de los propios bloques de coraza se tiene en cuenta en 9.2(a).

TABLA 8

Tipo de bloques	Pendientes de talud	Coefficiente de corrección
Cubo común	2/1	1,04
Cubo ranurado	1,5/1	1,02
Tetrápodos	4/3	1
Dolos	1,5/1	1,02
ACCROPODE (R)	4/3	1

8.3. Incidencia de los gastos de asistencia técnica

En los que se refiere al bloque ACCROPODE (R), SOGREAH, que es propietario de los derechos sobre las patentes y sobre la marca, desea encargarse del control de las aplicaciones de esta técnica. Los gastos de asistencia técnica y los derechos de patente contribuyen a aumentar el coste del hormigón utilizado para el dique, por lo que deben tenerse en cuenta.

8.4. Otros factores secundarios

Algunos otros factores podrían afectar al coste de un dique según el tipo de bloque esco-

gido. Este podría ser el caso de la capa filtro intercalada entre el núcleo del dique y la coraza. Si uno se fija como regla, por ejemplo, que, independientemente del tipo de bloque, la capa filtro está formada por escolleras, cuyo peso unitario esté comprendido entre W/7 y W/15, siendo W el peso del elemento de coraza, los pesos unitarios de las escolleras de la capa filtro variarán según el tipo de coraza. Es probable que las diferencias de este tipo se compensen según los bloques de coraza considerados.

9. COEFICIENTES DE CORRECCION VINCULADOS CON LA CONSTRUCCION DE LA CORAZA

Los costes unitarios del hormigón de bloque colocado en una coraza difieren según el tipo de bloque. Para una obra dada, los costes varían en las fases de la fabricación, del manejo, de la colocación, etc. Desde luego resulta difícil cuantificar estas diferencias, algunas de las cuales dependen de la organización de la obra, del equipo disponible por la empresa, etc..., pero se puede intentarlo.

9.1. Incidencia de las diferencias de fabricación y de la dosificación de cemento

Parece evidente que la fabricación de un bloque Dolos es más compleja que la fabricación de un bloque cúbico común, tratándose de la instalación del encofrado, la colocación del hormigón, la vibración del mismo o la operación de desencofrado. Asimismo, los costes de amortización de los encofrados no son los mismos para los bloques de forma sencilla que para los de forma compleja. Una empresa bien organizada, que funciona con tres turnos de trabajo, podrá eventualmente fabricar tres bloques cúbicos comunes por día con un solo encofrado, pero difícilmente podrá fabricar más de dos bloques de forma compleja. Por otra parte, las dosificaciones de cemento para cada m³ de hormigón dependerá generalmente de la complejidad de la forma de bloque.

Por lo tanto, es normal que esto afecte al coste de fabricación del m³ de hormigón de bloque.

9.2. Incidencia de las diferencias de colocación

Las diferencias de colocación de los bloques en una coraza intervienen a tres niveles:

- a) Sobre la capacidad del aparato de colocación. Es evidente que la grúa necesaria para colocar bloques de peso unitario $0,075 H_d^3$ (bloque cúbico común) sobre un talud de pendiente 2/1 no será la misma que la que se necesitará para colocar bloques de peso unitario $0,0767 H_d^3$ (bloque ACCROPODE (R)), de peso casi equivalente, sobre un talud de pendiente 4/3. La distancia de colocación afecta la capacidad del aparato de colocación y, por tanto, al coste de la colocación.
- b) Sobre la disposición de los bloques en la coraza. Independientemente de otros factores, resulta más fácil y rápido coger y colocar un bloque ACCROPODE (R) dentro de una coraza, que hacer lo mismo con un bloque cúbico común o ranurado de tamaño casi igual.
- c) Sobre el número de bloques a colocar. La construcción de una coraza formada por una sola capa de bloques, como es el caso con el bloque ACCROPODE (R), implica la instalación en la coraza de un número de bloques menor. El número de bloques afecta indirectamente al coste del m^3 de hormigón de bloque instalado, debido a la reducción consiguiente de las inmovilizaciones e instalaciones en el sitio de la obra.

9.3. Coeficiente de corrección probables

TABLA 9

Tipo de bloques	Incidencia fabricación y dosificación cemento	Incidencia colocación	Incidencia aparato colocación
Cubo común	1	1,03	1,04
Cubo ranurado	1,01	1,03	1,03
Tetrápodos	1,04	1,02	1,02
Dolos	1,05	1,02	1,01
ACCROPODE (R)	1,03	1	1

10. COEFICIENTE DE CORRECCION OBTENIDO

TABLA 10

Tipo bloques	Absorción oleaje	Asistencia técnica	Pendiente del talud	Fabricación y dosificación	Colocación	Aparato de colocación	Coefficiente obtenido
Cubo común	1,02	1,0	1,04	1	1,03	1,04	1,136
Cubo ranurado	1,01	1,0	1,02	1,01	1,03	1,03	1,104
Tetrápodos	1,0	1,0	1,0	1,04	1,02	1,02	1,082
Dolos	1,0	1,0	1,02	1,05	1,02	1,01	1,103
ACCROPODE (R)	1,08	1,08	1	1,03	1,0	1,0	1,201

11. FACTOR REPRESENTATIVO DEL COSTE DEL HORMIGON POR METRO DE ALTURA DEL DIQUE - ECONOMIA RELATIVA

TABLA 11

Tipo de bloques	Volumen de hormigón por metro de altura del dique	Coefficiente global de corrección	Factor coste del hormigón de coraza por m de altura	Factor coste coraza por m de altura en rel. a 1 para el bloque ACCROPODE
Cubo común	$0,94 H_d$	1,136	$1,068 H_d$	2,54
Cubo ranurado	$0,70 H_d$	1,104	$0,773 H_d$	1,84
Tetrápodo	$0,58 H_d$	1,082	$0,627 H_d$	1,49
Dolos	$0,45 H_d$	1,103	$0,496 H_d$	1,18
ACCROPODE (R)	$0,35 H_d$	1,201	$0,420 H_d$	1

12. ECONOMIA RELATIVA EN VALOR

A fin de cuantificar el factor coste del hormigón de coraza, asignaremos valores indicativos a H_d y al coste unitario del hormigón del bloque ACCROPODE (R) de referencia colocado para una coraza de 15 m de altura.

O sea:

Amplitud del oleaje de dimensionamiento: $H_d = 7$ m.

Coste unitario del m^3 de hormigón de bloque ACCROPODE (R) colocado: 120 US\$/ m^3 .

En base a estas hipótesis, los costes comparados para una coraza de 15 m de altura, por metro lineal de dique, serían los siguientes:

TABLA 12

Tipo de bloques	Peso unitario del bloque (T.m.)	Coste por ml de coraza (US \$)
Cubo común	26	13.456
Cubo ranurado	29	9.740
Tetrápodos	33	7.900
Dolos	23	6.250
ACCROPODE (R)	26	5.292

Este estudio comparativo pone de relieve la ventaja económica del bloque ACCROPODE (R) en relación a los otros bloques artificiales comúnmente contemplados por los diseñadores de diques marítimos.

En los que se refiere al bloque Dolos, esta comparación debería ser matizada para los bloques de peso unitario superior a 25-30 t (métricas), ya que su mayor fragilidad obliga a prever armaduras, o cualquier otro sistema destinado a incrementar la resistencia del hormigón a las fracturas, por ejemplo, mediante la incorporación de fibras artificiales.

Si se comparan los costes relativos del metro lineal de coraza para los tres tipos de bloques más utilizados durante los últimos cinco años en la construcción de diques de envergadura mediana a grande, los valores numéricos encontrados en relación a la unidad para el bloque ACCROPODE (R) son los siguientes:

- Bloque cúbico ranurado: 1,84.
- Bloque Tetrápodo: 1,49.
- Bloque ACCROPODE (R): 1.

Así vemos que, para corazas de diques que presentan características muy parecidas en cuanto a su estabilidad al oleaje y su perdurabilidad, una coraza de bloques cúbicos ranurados costaría 84 % más que una coraza de bloques ACCROPODE (R); para el Tetrápodo, el sobrecoste sería de 49 %.

CONCLUSION

La economía proporcionada por la técnica ACCROPODE (R) proviene básicamente de la forma del bloque, que permite construir corazas constituidas por una sola capa de bloques de pendiente 4/3.

La colocación de los bloques en una sola capa puede ser considerada como una ventaja, no sólo económica, sino también técnica, cuando la forma del bloque lo permite. En efecto, con este sistema, los bloques se colocan a granel en la coraza, sin que se tenga que respetar una disposición especial para cada bloque, lo único que se debe respetar es el diagrama o «malla» de colocación. Esto hace más fiable la colocación debajo del agua, aun sin visibilidad. Dentro de la coraza, después de los asentamientos que siguen a los primeros temporales moderados, los bloques van tomando su puesto los unos en relación a los otros. Forman entonces un conjunto homogéneo, lo cual reduce considerablemente los riesgos de «rocking» y, por ende, de ruptura.

A diferencia del sistema de dos capas, aparentemente más fiable, no existe en este sistema el problema derivado de los riesgos que impone la dependencia entre bloques de la segunda y la primera capa.

En cuanto a la pendiente 4/3, es generalmente satisfactoria desde el punto de vista de la estabilidad de los materiales al deslizamiento, salvo cuando las condiciones del terreno de apoyo del dique son difíciles. Esta pendiente es incluso deseable, ya que contribuye a la homogeneidad de la coraza y a su estabilidad al oleaje, gracias al apoyo de los bloques de las capas superiores sobre las capas medianas (las que generalmente reciben la mayor presión) e inferiores.

La experiencia comprueba que, en una coraza formada por bloques ACCROPODE (R), gracias a su forma, éstos se van imbricando entre sí, de modo tal que, cuando un bloque está particularmente sometido a presión por las olas, los bloques adyacentes garantizan a este bloque un complemento a la estabilidad derivada de su propia masa.

En una coraza constituida con bloques ACCROPODE (R), sin embargo, se puede considerar que este complemento de estabilidad, atribuible a la imbricación de los bloques entre sí, es una *ventaja adicional* que se suma a la estabilidad individual del bloque. Para ello, es preferible que el K_D escogido para el predimensionamiento del bloque ACCROPODE (R) no di-

fiera notablemente del de un bloque para el cual este efecto de imbricación es casi nulo, como el bloque cúbico ranurado, por ejemplo, cuyo K_D de predimensionamiento se estima generalmente en 8.

Finalmente, para los proyectos donde existe un grado de incertidumbre en cuanto al valor del oleaje de proyecto, es deseable que una parte de la ECONOMIA de hormigón, que resulte de la selección de la técnica ACCROPODE (R), lleve a una solución de compromiso entre menos ECONOMIA y más SEGURIDAD, sin sacrificar naturalmente el presupuesto del proyecto.

BIBLIOGRAFIA

1. VAN DER MEER, J. W.: «Stability of Cubes Tetrapods and ACCROPODE (R)». Breakwaters'88 report The Institution of Civil Engineers, U. K.
2. FEUILLET, J.; COEFFE, Y.; BERNIER, J.; CHALOIN, B.: «Le dimensionnement des digues à talus». Edition Eyrolles, 1987.
3. SHORE PROTECTION MANUAL: Coastal Engineering Research Center US Army Corps of Engineers, 1984 issue.

4. SOGREAH

5. «La stabilité des digues à talus en grandes profondeurs». Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation Supplément au bulletin n.º 48. 1985.

Georges Vincent

Ingeniero Civil, Consultor del Departamento de Puertos y Costas de SOGREAH.

Louis Tourmen

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

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 SOGREAH.
