

LAS MALLAS DE COLOCACIÓN DE CUBOS Y CUBÍPODOS Y LA POROSIDAD DEL MANTO PRINCIPAL DE LOS DIQUES EN TALUD

V. Pardo¹, J. Molines², J.R. Medina³

*Laboratorio de Puertos y Costas, Universidad Politécnica de Valencia,
Camino de Vera s/n, 46022 Valencia.*

¹vipardeq@cam.upv.es, ²jormollo@cam.upv.es, ³jrmedina@upv.es

INTRODUCCIÓN

Los diques en talud son estructuras de protección ampliamente utilizadas en todo el mundo para proporcionar áreas abrigadas del oleaje; a medida que el tamaño de los buques crecía era necesario construir nuevos diques a profundidades mayores. Durante siglos el único elemento que constituía el manto principal de los diques en talud fue la escollera; a partir del S. XIX aparecieron los bloques cúbicos y paralelepípedicos de hormigón para sustituir a la escollera natural en los lugares donde no había una cantera que proporcionase un tamaño de piedra apropiado. A partir de mediados del siglo XX aparecieron multitud de elementos prefabricados de hormigón en masa para mantos de diques en talud, los cuales buscaban una optimización de estas estructuras, proporcionando una mayor estabilidad hidráulica y reduciendo los costes de construcción y mantenimiento. Estos elementos prefabricados de hormigón pueden clasificarse de diversas formas en función de la resistencia estructural (masivas, esbeltas, etc.), de la resistencia hidráulica (peso propio, trabazón, etc.), del número de capas (monocapa, bicapa, etc.), etc.

El cubo para mantos bicapa colocados aleatoriamente, es un elemento masivo que resiste por su propio peso y es el más utilizado en España debido a sus ventajas logísticas, producción eficiente (dos puestas/día), manipulación segura (pinzas de presión), acopio denso ($p\%=30\%$), alta resistencia estructural y bajo riesgo de fallo progresivo. Sin embargo, los bloques cúbicos presentan algunos inconvenientes: baja estabilidad hidráulica ($K_D=6$), alta compactación heterogénea (ver Gómez-Martín y Medina, 2008) con adoquinamientos cara contra cara que generan un mayor remonte y rebase, además de pérdida de fricción con la capa de filtro. Gómez-Martín y Medina (2008) describen el Cubípodo, un nuevo elemento masivo que tiene la mayoría de las

ventajas logísticas del cubo, pero no sus desventajas. El Cubípodo presenta una alta estabilidad hidráulica (ver Medina y otros, 2010) con $K_D=12$ para mantos monocapa, $K_D=28$ para mantos bicapa una baja compactación heterogénea.

La estabilidad hidráulica del manto principal de un dique en talud depende de una serie de variables climáticas y estructurales, tales como D_n , Δ , α , I_r o K_D . Es normal que manuales de ingeniería portuaria proporcionen valores de porosidad nominal y coeficientes de capa asociados a cada uno de los elementos de protección, siendo asumidos estos valores en los ensayos de laboratorio y en prototipo. Desafortunadamente, la construcción del manto principal está condicionada por una colocación ciega, el oleaje y la maquinaria empleada en la colocación, mientras que en los ensayos de laboratorio la colocación es a mano y con una visión perfecta sin agua. Estas diferencias pueden desembocar en grandes efectos de modelo, sobretodo en lo relativo a la porosidad del manto principal que es un factor clave al que no se le suele dar la importancia que tiene; diferencias significativas entre las porosidades de diseño y de construcción suelen derivar en aumentos significativos del riesgo estructural y desviaciones incontroladas de programación y presupuesto. La porosidad del manto influye en el comportamiento hidráulico de la estructura afectando a la estabilidad, reflexión, remonte y rebase, además del volumen de material necesario para la construcción.

Este artículo se centra en el estudio de las mallas de colocación de cubos y cubípodos y su relación con la porosidad del manto principal. El objetivo principal de esta investigación ha sido encontrar las mallas de colocación con las que se obtiene una porosidad real similar a la ensayada en laboratorio, encontrándose ésta en el entorno del 37% para cubos y del 41% para cubípodos. Para ello se han llevado a cabo series de experimentos de colocación realista 3D bajo distintas condiciones de oleaje y utilizando una grúa radial a escala de las empleadas en prototipo. En ellos se ha trabajado con bloques cúbicos (empleados habitualmente en ensayos de laboratorio), bloques pseudocúbicos (utilizados en prototipo) y cubípodos. Se ha analizado especialmente la malla de colocación real de bloques pseudocúbicos empleada en la construcción del dique de Punta Langosteira. Además, se propone un nuevo tipo de malla de construcción denominada *malla progresiva*, la cual se adapta a la compactación que sufren los elementos de protección a medida que se avanza con la construcción del manto principal.

POROSIDAD DEL MANTO PRINCIPAL

Cuando los diques en talud se construían con escolleras naturales, tanto el diseño como la construcción eran relativamente simples (vertido de piedras). Con la aparición de los nuevos elementos prefabricados de hormigón, sobre todo los esbeltos a partir de 1950, nuevos criterios relativos a su colocación, forma y resistencia estructural tuvieron que definirse para garantizar una correcta construcción.

En relación a la orientación de una pieza con respecto a las vecinas, hay diferentes tipos de colocación (regular, concertada, trabada, etc.) donde ésta se tiene que definir con precisión, y la colocación aleatoria. Independientemente de la orientación con respecto a piezas vecinas, los elementos del manto se colocan según una malla de colocación que fija sus coordenadas horizontales X-Y. En la fig. 1 se puede ver un tipo de malla diamante (Oever 2006) habitualmente utilizada en colocación aleatoria; donde “a” es la distancia entre centros de gravedad de dos piezas consecutivas de la misma fila en la dirección de avance del dique y “b” es la distancia entre centros de gravedad de dos piezas de filas consecutivas en la dirección del pie a la coronación del manto.

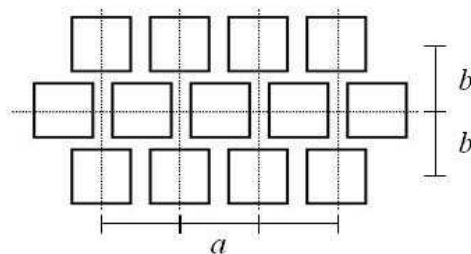


Figura 1. Malla de colocación con forma de diamante.

En los manuales de ingeniería marítima, como el Shore Protection Manual (1984), suelen recomendar una porosidad nominal del manto y un coeficiente de capa específicos para cada una de las piezas. Este coeficiente de capa es un corrector del espesor de manto o capa si se considera que el espesor de un manto es numero entero de lados de cubo equivalentes (capas) o diámetros nominales. Por otro lado, el concepto de porosidad es claro e intuitivo (porcentaje de huecos en un sistema granular); sin embargo, el de porosidad del manto no lo es debido a la dificultad de establecer el espesor de una capa de piezas colocadas aleatoriamente. Para definir con claridad la porosidad, se requiere previamente la definición de un espesor de manto, el cual no es sencillo para piezas colocadas regularmente pero no para las de colocación aleatoria, tanto en modelo reducido como en prototipo (ver fig. 2). El SPM

de 1984 da una formulación para calcular el espesor del manto en la que introduce el coeficiente de capa (ver ec.1).

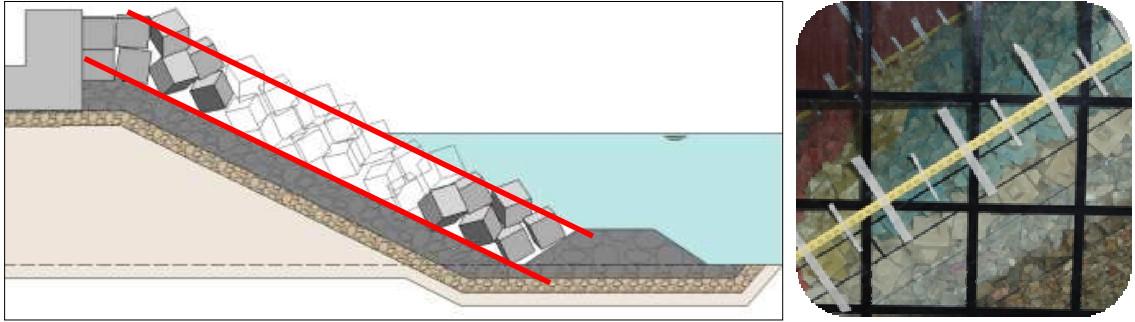


Figura 2. Espesor de manto para bloques colocados aleatoriamente.

$$\text{Espesor del manto: } r = n k_{\Delta} (W/\gamma_r)^{1/3} \quad (1)$$

donde r es el espesor del manto, n es el número de capas del manto, K_{Δ} el coeficiente de capa y W/γ_r el volumen de la pieza del manto. Otros parámetros de diseño son la densidad de colocación (*“placing density”*) y la densidad de empaquetamiento (*“packing density”*). La densidad de colocación (N_r/A en $uds./m^2$) es una variable dimensional afectada por la malla de colocación y relaciona la porosidad nominal del manto y el coeficiente de capa según muestra la ec.2.

$$N_r/A = n k_{\Delta} (1-P\%) (\gamma_r/W)^{2/3} \quad (2)$$

donde N_r es el número de elementos colocados en una superficie A y $P\%$ es la porosidad nominal del manto. Según esta formulación, diferentes valores de porosidad nominal ($P\%$) y de coeficiente de capa (K_{Δ}) pueden conducir a la misma densidad de colocación. Por ejemplo, una porosidad nominal de $P\%=47\%$ con un coeficiente de capa de $K_{\Delta}=1.10$ es equivalente a una porosidad de $p\%=42\%$ con un coeficiente de capa de $K_{\Delta}=1.00$. Frens (2007) describe los malentendidos causados por la adopción de distintos criterios en cuanto a la elección del coeficiente de capa (subjetiva y dependiente de los autores). Por otro lado, el *“packing density”* puede considerarse la densidad de colocación adimensionalizada por el lado del cubo equivalente (D_n), muy útil para calcular el consumo relativo de hormigón en los mantos principales (ver ec.3).

$$\Phi = n k_{\Delta} (1-P\%) = n (1-p\%) \quad (3)$$

donde Φ es el *packing density*, n es el número de capas del manto, K_{Δ} es el coeficiente de capa, $P\%$ la porosidad nominal del manto y $p\%$ la porosidad correspondiente a $K_{\Delta}=1.00$. Para evitar malentendidos, en el caso de mantos de colocación aleatoria es

recomendable hacer referencia a porosidades $p\%$ de mantos principales con coeficientes de capa iguales a la unidad ($K_d=1.00$) en lugar de referirse a porosidades nominales $P\%$ asociadas a coeficientes de capa subjetivos (ver Medina y otros, 2010) que pueden ser diferentes de unas a otras fuentes.

La construcción de los mantos principales a escala prototipo está condicionada por condicionantes ambientales (oleaje, viento, colocación ciega bajo el agua,...) y del equipo utilizado (maquinaria, pinzas de presión, eslingas,...). Sin embargo, los modelos a escala reducida de laboratorio se construyen en condiciones ideales (visión perfecta sin agua, construcción a mano,...). En estas condiciones es relativamente fácil construir una porosidad de manto más baja, la cual es más estable que las porosidades más altas que se obtienen en prototipo. Este hecho puede conducir a efectos de modelo significativos del lado de la inseguridad, que no se suelen tener en cuenta habitualmente ya que muy pocas fórmulas de estabilidad hidráulica incluyen la porosidad como variable explícita.

Así pues, la porosidad de los mantos es un factor clave a controlar tanto en modelos a escala reducida como en construcciones a escala prototipo; diferencias entre las porosidades de diseño, laboratorio y prototipo pueden suponer un riesgo importante descontrolado. La porosidad del manto afecta al comportamiento hidráulico de la estructura cambiando la reflexión del oleaje, la estabilidad, el remonte y el rebase. Además, en la fase de diseño es necesario conocer el valor de porosidad del manto para poder programar la obra y estimar el volumen de materiales necesario para la construcción del dique.

ENSAYOS DE MANTOS CON DIFERENTES POROSIDADES

Dado que los ensayos físicos con diferentes porosidades del manto no son muy abundantes, en este apartado se van a describir algunos de los más relevantes. Van der Meer y D'Angremond et al. (1999) estudiaron mantos de tetrápodos y demostraron la influencia de la densidad de colocación en la estabilidad hidráulica. Para ello llevaron a cabo numerosos ensayos con distintos valores de "*packing density*" (Φ) del manto principal del modelo ($\Phi=0.48, 0.88, 0.95$ y 1.02). Los resultados de los mismos reflejaron claramente que los Φ menores tenían menor estabilidad hidráulica.

VandenBosch et al. (2002) describieron la influencia de la densidad de colocación en la estabilidad de cubos dispuestos en dos capas y de tetrápodos y escolleras en una capa. En el caso de cubos, una alta densidad de colocación conducía a una mayor estabilidad hidráulica hasta un cierto valor, en el que la estructura se comportaba

como una pared adoquinada, a partir del cual la estabilidad disminuía. En el caso de tetrápodos y escolleras a mayor Φ se obtuvo una mayor estabilidad hidráulica.

Yagci and Kapdasli (2003) presentaron un estudio sobre técnicas alternativas para colocar bloques Antifer en un dique rompeolas; se compararon colocación regular, colocación irregular (con alta y baja porosidad) y colocación concertada. La forma de colocación tuvo una gran influencia sobre la estabilidad hidráulica y las baja porosidad genera mantos con mayor estabilidad hidráulica.

Gürer et al. (2005) estudiaron la estabilidad de un dique en talud formado por tetrápodos dispuestos según dos métodos de colocación diferentes, sometidos a oleaje regular sin rotura por el fondo. El primer método de colocación presentaba una porosidad del 54% y un $\Phi=1.03$, mientras que el segundo tenía una porosidad del 61% y un $\Phi=0.90$. El primer manto ($p\%=48.5\%$) mostró una progresión del daño gradual con el aumento de la altura de ola significativa, mientras que el segundo manto ($p\%=55\%$) presentaba un inicio de averías más tardío que el primer método pero su progresión del daño no era gradual sino brusca cuando se alcanzaba una altura de ola crítica. Por consiguiente, el manto de mayor porosidad resultó ser menos robusto y más frágil que el de menor porosidad.

Cevik et al. (2005) estudiaron la estabilidad de una estructura monocapa de Core-loc para diferentes tipos de colocación con oleaje regular (con y sin rotura por fondo). Los tipos de colocación fueron regular ($P\%=61\%$) y aleatoria ($P\%=63\%$) con porosidades similares. El inicio de averías se presentó primero en el de colocación regular y el aleatorio resultó tener mayor estabilidad hidráulica. Además se apreció que la elevación y descenso de la lámina de agua era mayor para el caso de colocación regular que para el aleatorio.

Muttray et al. (2005) estudiaron dos formas distintas de colocar elemento Xbloc. La primera eslingando el elemento de una de las patas de la base en forma de X y el segundo eslingando una de las patas cúbicas. Con el primer método se obtuvieron valores de densidad de colocación mayores, las cuales presentaban valores de estabilidad hidráulica mayores y menos asentamientos. Por ello recomendaron el primer método para la construcción con Xbloc a escala prototipo. Oever et al. (2006) continuaron con los estudios sobre la colocación de las piezas Xbloc en diques en talud; llevaron a cabo una serie de ensayos de construcción, con y sin control sobre la orientación de las piezas, siguiendo una malla con forma de diamante. En general, la calidad de la construcción con orientación de la pieza eslingada fue muy superior a la ejecutada con ausencia de la misma; además, en la primera no se producían errores

acumulativos de colocación, no siendo así en la segunda, donde se apreciaba una clara diferencia de calidad entre las primeras y las últimas filas de elementos. Por lo que se consideró necesario el control de la orientación de la pieza para la construcción real.

ENSAYOS 3D DE CONSTRUCCIÓN REALISTA DE MANTOS

Para analizar las mallas de colocación óptimas de cubos y cubípodos y su relación con la porosidad de los mantos principales, se han llevado a cabo ensayos de construcción realista de mantos de diques en el tanque de oleaje (15x7.5x0.5m) del Laboratorio de Puertos y Costas de la Universidad Politécnica de Valencia. Para ello se construyó un modelo a escala 1/100 de la sección completa del dique de Punta Langosteira (ver fig. 3) con talud H/V=2/1, sobre el cual se ensayó la construcción de su manto principal bajo distintas condiciones climáticas (en prototipo: calado $h[m]=40$; $H_s[m]=1.5$ y 2.5 ; $T_p[s]=10$ y 12) y distintas porosidades del manto

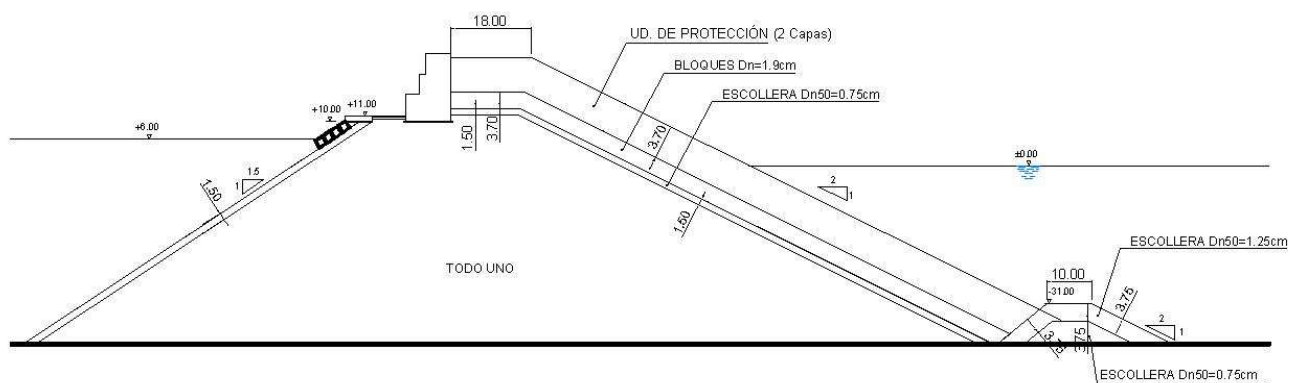


Figura 3. Sección tipo del dique Punta Langosteira ensayada (cotas modelo en cm).

En la construcción de los mantos principales se utilizaron tres tipos de elementos de protección: cubípodos, bloques cúbicos regulares (empleados en ensayos de laboratorio) y bloques pseudocúbicos (utilizados en prototipo). En la figura 4 pueden verse las dimensiones de las piezas ensayadas.

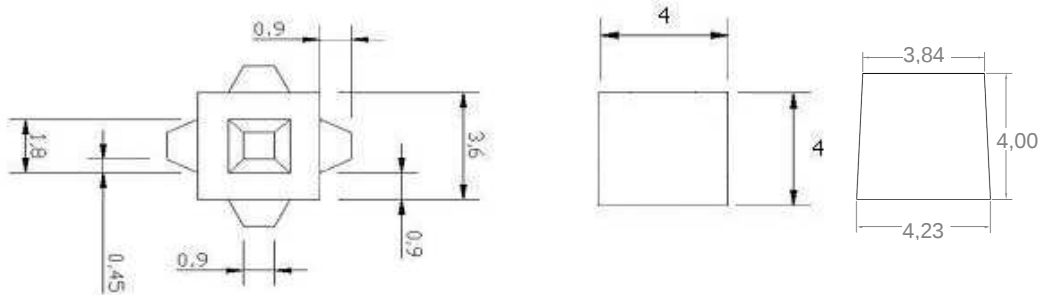


Figura 4. Elementos de protección ensayados:
Cubípodo, bloque cúbico regular y bloque pseudocúbico.

En los ensayos de construcción se emplearon dos tipos de mallas de colocación en forma de diamante: una *fija* (ver fig. 1), donde la distancia entre filas de elementos es constante y otra denominada *progresiva* (ver fig. 5), donde dicha distancia decrece a razón Δb a medida que se avanza con la construcción en la dirección del pié a la coronación. La idea de una malla progresiva surge para adaptarse a la compactación observada de las piezas a medida que se avanza en la construcción del manto.

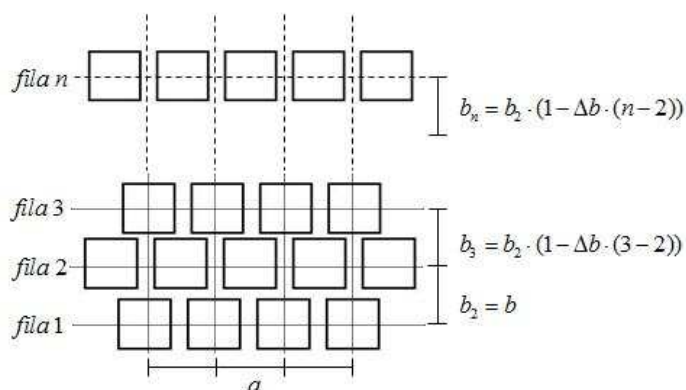


Figura 5. Malla progresiva de colocación.

donde: a = distancia entre centros de gravedad de dos elementos contiguos en la dirección de avance del dique, b_i = distancia entre los centros de gravedad de los elementos de la fila i y de la fila $i-1$, medidas sobre el talud en dirección del pié a la coronación (" i " adquiere valores entre 2 y " n "); $b_i = b_2[1-\Delta b(i-2)]$, Δb = decremento, en tanto por uno, del parámetro b_i para implementar a la malla el efecto de la compactación de las filas inferiores y n = número de filas totales del manto de construcción.

Para cada uno de los ensayos llevados a cabo se calcula la porosidad de la malla de construcción así como la porosidad real obtenida. Estas dos porosidades no tienen por qué coincidir, ya que los elementos no terminan en las coordenadas exactas que fija la malla debido a movimientos de reorganización. Para el caso de la malla fija, la fórmula

teórica que proporciona su porosidad es $P_{fija}=1-[(D_n/a)(D_n/b)]$, y para la malla progresiva es $P_{progresiva}=1-(2D_n^2/[a(b_2+b_n)])$. El método establecido para calcular la porosidad real tras cada ensayo es mediante un área de referencia móvil que se mueve en distintas direcciones para evitar el efecto de borde (fig. 6). La formulación para obtenerla es $P_{real}=1-[(N_r D_n^2)/A]$, donde N_r es el número medio de elementos dentro del área de referencia, D_n el diámetro nominal de los elementos y A el valor del área de referencia móvil.

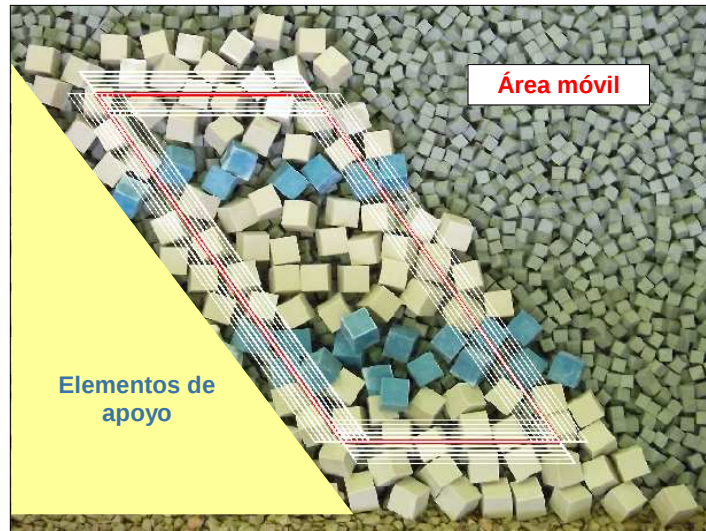


Figura 6. Área de referencia móvil para el cálculo de la porosidad real.

Para reducir el tiempo necesario de ensayos realistas de colocación 3D, se empleó un Sistema cartesiano X-Y de colocación ciega (ver fig. 7), el cual dispone los elementos a razón de 6 ud./min, frente a 1 ud/min necesarios en la colocación realista con grúa radial. En este sistema el oleaje no afecta a la colocación al realizarse en seco y con pinza rígida; sin embargo, este método de colocación es más parecida ala real que la colocación a mano habitual en laboratorio, pero no tanto como la colocación realista con grúa radial a escala reducida que se describirá más adelante. Pardo (2010) describe con detalle los ensayos con el Sistema Cartesiano X-Y.

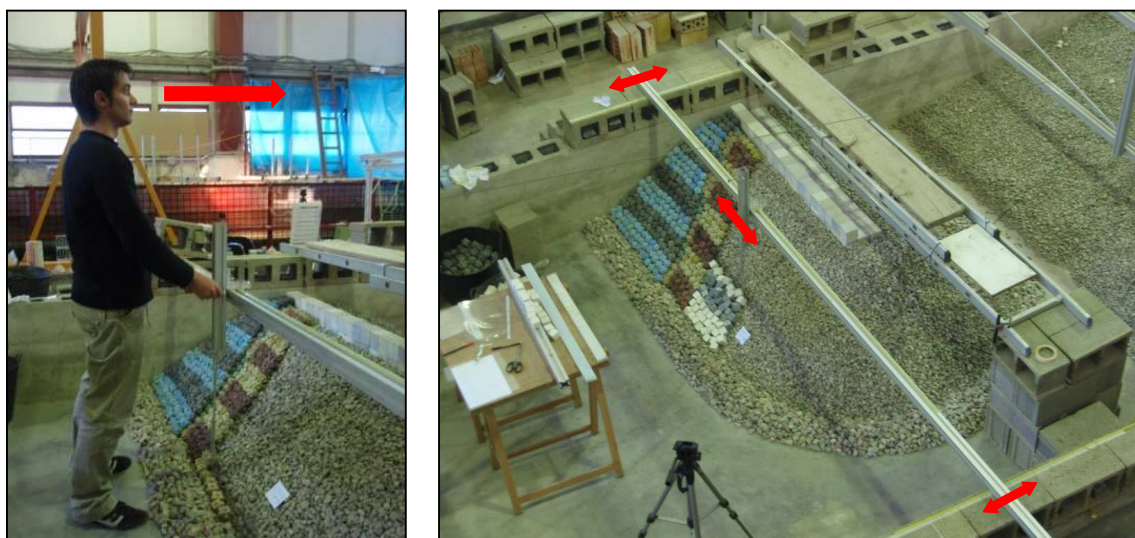


Figura 7. Sistema cartesiano X-Y de colocación ciega. Operador y vista general.

El principal objetivo de los ensayos preliminares con pinza rígida fue estimar el rango de porosidades con los que cubos y cubípodos pueden colocarse. Para obtener dichos valores se ensayó una gran variedad de mallas de colocación fijas. Obteniéndose para el cubo un rango de porosidades del 35% al 45% (ver fig. 8), y para el Cubípodo del 37% al 51% (ver fig. 9).

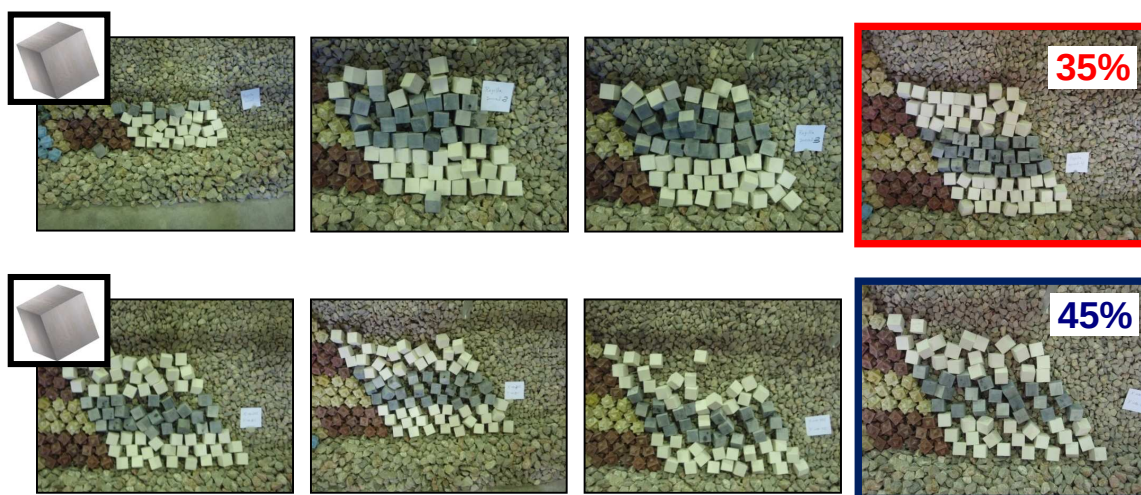


Figura 8. Ensayos obtención rango porosidades del bloque cúbico.

Una vez estimado el rango de porosidades de trabajo se procedió a realizar los ensayos realistas de colocación 3D. En ellos se empleó una grúa radial a escala 1/100 de la utilizada en el dique de Punta Langosteira, modelo LIEBHERR LR 11350, a la que se le acoplaron pinzas de presión a escala similares a las empleadas en prototipo (ver fig. 10).

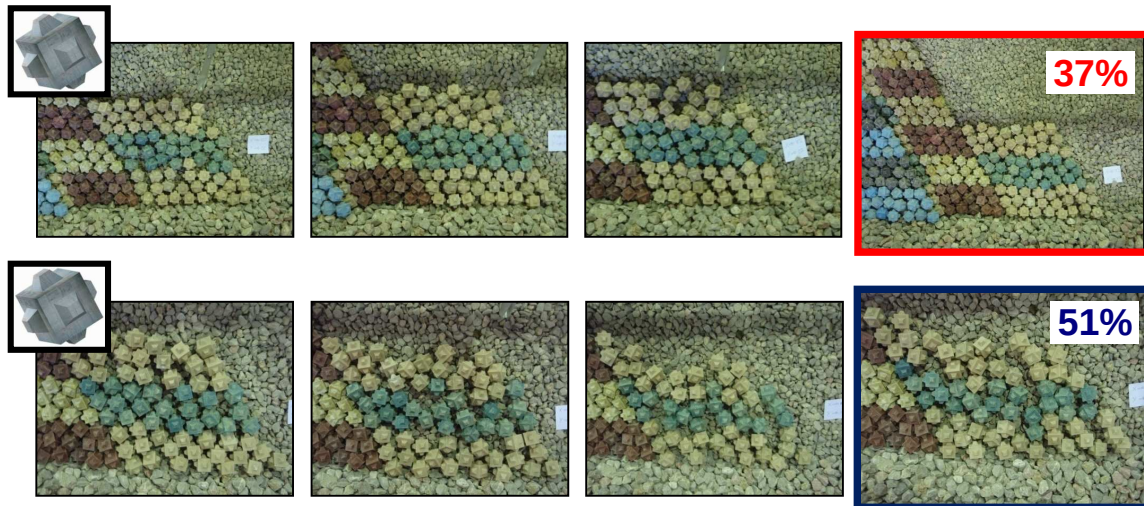


Figura 9. Ensayos obtención rango porosidades del Cubípodo.

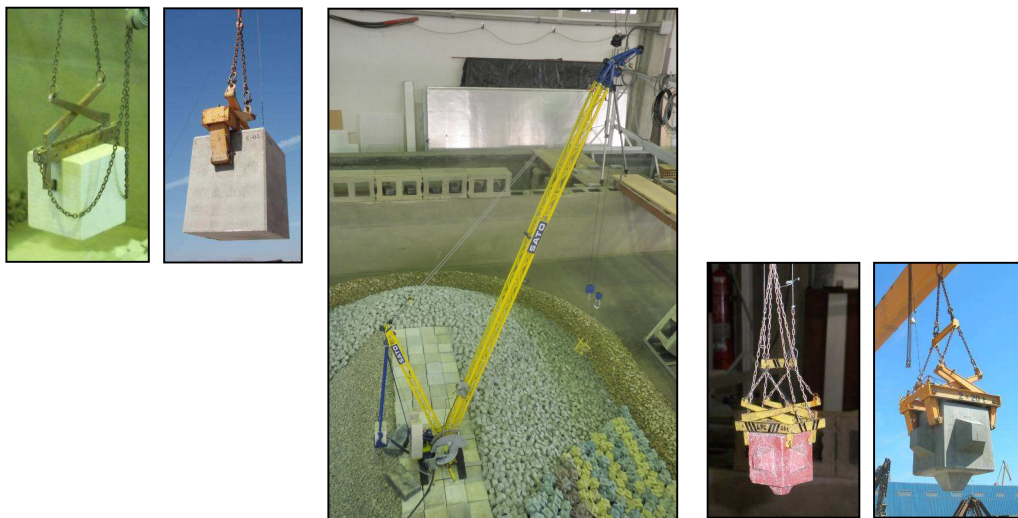


Figura 10. Grúa LIEBHERR LR 11350 a escala 1/100 y pinzas de presión reales y a escala reducida para cubos y cubípodos.

En cuanto a los ensayos de construcción realista de mantos de cubípodos, se partió de los resultados de los ensayos precedentes en los que se empleó una malla fija. Durante la realización de éstos se apreció una ligera compactación de las filas a medida que se avanzaba con la construcción del manto, por lo que se decidió utilizar la malla progresiva para reducir los movimientos de las piezas. Se realizaron ensayos sucesivos de primera y segunda capa con distintas mallas progresivas, variando sus parámetros a , b y Δb , hasta obtener una malla considerada como óptima, tanto porque obtenía una porosidad real similar a la ensayada en laboratorio ($p\%=41\%$) como porque reducía el número de elementos perdidos. Se consideran como tal a aquellos

elementos que salen de la capa de construcción y acaban en capas superiores. Este valor se expresa como porcentaje en relación a la totalidad de elementos colocados.

A continuación (ver fig. 11) se muestra la primera y segunda capa del manto principal de cubípodos construidas con la malla progresiva óptima ($a/D_n=1.60$; $b/D_n=1.17$; $\Delta b=1\%b$) según los criterios anteriores y para oleaje en prototipo $H_s[m]=1.5$ y $T_p[s]=10$, así como los valores de porosidad real con 1.4% de elementos perdidos.

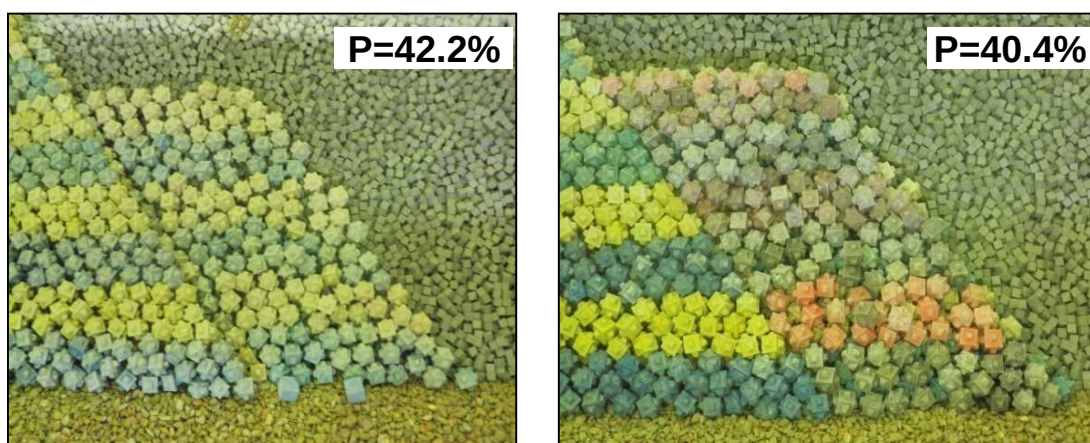


Figura 11. Primera y segunda capa de cubípodos construida con malla progresiva.

En los ensayos de bloques, se parte de una malla fija de construcción real, la empleada en el dique de Punta Langosteira, la cual presenta una porosidad de malla del 45.4%. Con esta malla se construyeron repetidos mantos principales, primera y segunda capa, bajo los dos oleajes seleccionados con bloques cúbicos (utilizados en laboratorio) y pseudocúbicos (empleados en prototipo). En ambos casos, los valores de porosidad real (en el entorno de $p\%=45\%$) y elementos perdidos (alrededor del 1%) fueron muy similares, por lo que se concluyó que se podía hacer un uso indiferente de estos bloques durante los ensayos.

A la vista de los resultados de porosidad real de la malla de Punta Langosteira se optó por ensayar con mallas fijas y progresivas más compactas, para tratar de conseguir una porosidad real similar a la de 37% ensayada normalmente en laboratorio, manteniendo un bajo número de elementos perdidos. En el caso del bloque cúbico la malla fija resultó más eficiente que la progresiva. En la figura 12 se muestra la primera y segunda capa del manto principal de bloques construidas con la malla fija de colocación seleccionada como óptima ($a/D_n=1.44$; $b/D_n=1.19$) según los criterios anteriores y para oleaje en prototipo $H_s[m]=1.5$ y $T_p[s]=10$, así como los valores de porosidad real y 0.4% de elementos perdidos en segunda capa.

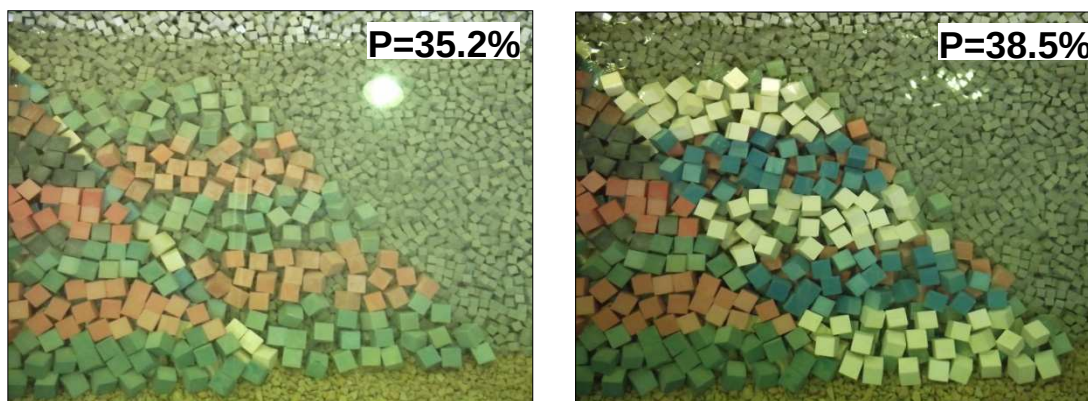


Figura 12. Primera y segunda capa de bloques cúbicos construida con malla fija.

CONCLUSIONES

La mayoría de los manuales de ingeniería portuaria recomiendan un valor de porosidad nominal asociada a un coeficiente de capa para cada elemento de protección de mantos de diques en talud. En el caso de piezas de colocación aleatoria el coeficiente de capa es un parámetro subjetivo e innecesario, por lo que se recomienda adoptar un valor de este coeficiente igual a la unidad, $K_d=1.00$, para evitar malentendidos.

Las condiciones de construcción son muy diferentes en prototipo y en modelo, lo que ocasiona diferencias entre los valores de porosidad del manto principal entre la realidad y en laboratorio, dando lugar a posibles efectos de modelo importantes que no se suelen tomar en consideración.

Para colocar cubípodos se propone un tipo de malla de colocación *progresiva*, en la cual la distancia entre filas de elementos decrece progresivamente para adaptarse a la compactación de las piezas a medida que se avanza en la construcción del manto.

Durante esta investigación se ha obtenido el rango de porosidades máximo con el que cubos y cubípodos pueden colocarse en el manto, del 35% al 45% para cubos y del 37% al 51% para cubípodos. Además, se han conseguido las mallas de colocación que proporcionan una porosidad real similar a la ensayada en laboratorio, estando ésta en el entorno del 37% para cubos y del 41% para cubípodos, que además se consiguen con un número de elementos perdidos del orden del 1%. Para el caso del manto de cubípodos, se recomienda la malla de construcción progresiva definida por los parámetros $a/D_n=1.60$, $b/D_n=1.17$ y $\Delta b=1\%b$. Para la colocación de bloques cúbicos se recomienda la malla fija caracterizada por los valores de los parámetros $a/D_n=1.44$ y $b/D_n=1.19$.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte financiero de SATO y del CDTI (Proyectos CUBIPOD y CLIOMAR) y la colaboración de la Oficina Técnica de SATO en el desarrollo de los experimentos.

REFERENCIAS

- Cevik, Y., Cihan, K. y Yüksel, Y., 2005. Stability of Tetrapod Breakwaters for Different Placing Methods. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*. Volumen 29, número 4., 225-233.
- Coastal Engineering Research Centre. Shore Protection Manual. Volumen II. 4ª Edición. Department of the Army. Waterways Experiments Station, Corps of Engineers. PO Box 631. Vicksburg, USA .1984.
- Frens, A.B. 2007. The impact of placement method on Antifer-block stability. Tesis Doctoral, Universidad Tecnológica de Delft.
- Gómez-Martín, M.E. and Medina, J.R. 2008. Erosion of cube and Cubipod armor layers under wave attack. *Proc. 31st International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, 3461-3473.
- Gürer, S., Cevik, Y. y Günbak, A.R. 2005. Stability of Tetrapod Breakwaters for Different Placing Methods. *Journal of Coastal Research*. Volumen 21, número 3, 464-471.
- Medina, J.R., Gómez-Martín, M.E, Corredor, A., y Santos, M. 2010. Diseño de diques en talud con el manto principal de cubípodos, *Revista de Obras Públicas*, Col. ICCP, Madrid. 157(Nov.): 37-52
- Muttray, M., Reedijk, J., Vos-Rovers, I. y Bakker, P. 2005. Placement and Structural Strength of Xbloc and other Single Layer Armour Units. *Coastlines, Structures and Breakwaters 2005*. UK, 556-568.
- Oever, E., Verhagen, H., Klabbers, M. y Reedijk, B. 2006. Theoretical and Experimental Study on the Placement of Xbloc Armour Units. *Coastal Engineering 2006: Proceedings of the 30th International Conference*. Volumen 5. California (USA). 4841-4848.
- Pardo, V. Experimental analysis of the influence of armor unit placement method on armor porosity. *Proceedings on the Third International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection*. Barcelona (España). 2010. Technical session 25.
- VandenBosch, A., Verhagen, H., d'Angremond, K. y Olthof, J. 2002. Influence of the density of Placement on the Stability of Armour Layers on Breakwaters. *Coastal Engineering. Proceedings of the 28th International Conference*. Volumen 2. Cardiff (Reino Unido). 2002. 1537-1549.
- Van der Meer J. 1999. Design of Concrete Armour Layers. *Proceedings of Coastal Structures '99*. Santander (España). 213-221.
- Yagci, O. y Kapdasli, S. 2003. Alternative Placement Technique for Antifer Blocks Used on Breakwaters. *Ocean Engineering* 30. 1433-1451.