

MANTOS MONOCAPA PARA REDUCIR LOS COSTES DE LOS DIQUES EN TALUD

J. R. Medina¹, M. E. Gómez-Martín², A. Corredor³ y M. Santos³

¹Lab. de Puertos y Costas, Univ. Politécnica de Valencia, Camino de Vera, 14, 46022 VALENCIA

²Dep. de Construcción, Universidad de Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig, ALICANTE

³SATO (Grupo OHL), Pº Castellana 259-D-8º, "Torre Espacio", 28046 MADRID
jrmolina@upv.es, esther.gomez@ua.es, acorred@ohl.es, mosantos@ohl.es

INTRODUCCIÓN

Los grandes diques en talud sometidos a oleajes intensos requieren piezas prefabricadas de hormigón para los mantos; el volumen de hormigón utilizado en ellos es el factor clave que determina el coste de construcción y de su huella energética y del carbono. Para unas condiciones ambientales de diseño dadas, el consumo de hormigón asociado al dique depende fundamentalmente del número de capas del manto (monocapa o bicapa) y en segundo lugar de la geometría de la pieza (Tetrápodo, cubo, etc.). En este artículo se analizan las ventajas e inconvenientes de los mantos monocapa en relación a los mantos bicapa convencionales.

Los mantos bicapa de escollera y bloques de hormigón (escollera artificial), colocados aleatoriamente, se han utilizado desde antiguo (S. XIX). Los trabajos sistemáticos de Iribarren y Hudson hace medio siglo impulsaron el uso del manto bicapa convencional también con piezas especiales como el Tetrápodo (1950) y otros (ver SPM, 1984). Se estudiaron piezas nuevas con coeficientes de estabilidad elevados como el Dolo, creado en 1963. Sin embargo, el fallo del dique de Sines (Portugal) en 1978, protegido con dolos de $W[t]=42$, puso de relieve la importancia de la resistencia estructural de las piezas además de su estabilidad hidráulica. La Fig. 1 muestra la evolución del diseño de piezas prefabricadas de hormigón, influenciada por el fallo del dique de Sines, descrita por Dupray & Roberts (2009).

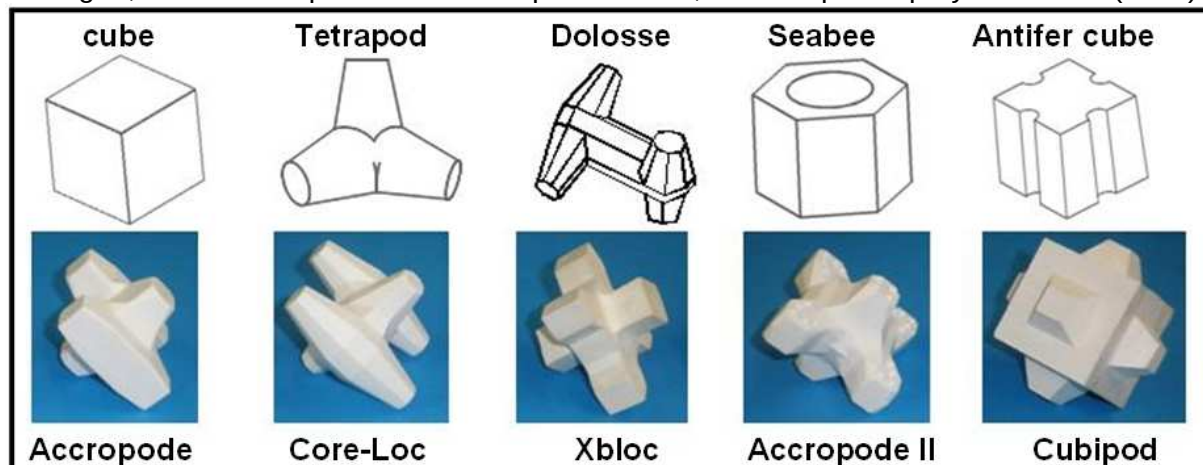


Figura 1. Evolución del diseño de piezas para mantos de diques (Dupray and Roberts, 2009).

Cada forma geométrica tiene una resistencia estructural y condicionantes logísticos distintos y una estabilidad hidráulica diferente asociada a la geometría, la colocación (aleatoria, ordenada, adoquinada, etc.) y al número de capas del manto (monocapa o bicapa). Para obtener suficiente resistencia estructural y elevada estabilidad hidráulica, se inventa el Accropode (1980), la primera pieza "bulky" para una colocación monocapa. De esta forma se reducía aproximadamente a la mitad el consumo de hormigón compensando con ello los mayores costes asociados a los encofrados y la colocación cuidadosa exigida para estas piezas. Posteriormente, se han inventado otras para su utilización en mantos monocapa como el Core-Loc (1993) y Xbloc (2003). En la actualidad, hay más de 200 diques con mantos monocapa construidos y decenas en construcción por todo el mundo, algunos superando temporales de cálculo $H_s[m]>8$ con piezas "bulky" sin armar de $W[t]>35$.

MANTOS MONOCAPA Y BICAPA

Los mantos bicapa convencionales con colocación aleatoria tienen una gran flexibilidad entre el Inicio de Averías (IDa) y el Inicio de Destrucción (IDe), siempre que se garantice la integridad estructural de las piezas (SPM, 1984). Por el contrario, los mantos monocapa suelen tener una respuesta rígida con un IDa próximo al IDe; por consiguiente, los mantos monocapa requieren unos coeficientes de seguridad a IDa e IDe mayores (ver Medina y otros, 2010). Con todo, el coste económico y la huella energética de los mantos monocapa suelen ser muy inferiores a los bicapa, siempre que se pueda garantizar una buena colocación en obra y la integridad estructural de la pieza (sin armar). Las piezas “bulky” se están utilizando en mantos monocapa hasta $W[t]=40$ y $Hs[m]=9$ y, de momento, no se han usado para los diques sometidos a grandes temporales, que se protegen con piezas masivas (cubos) sin armar o piezas esbeltas armadas (ver Medina et al, 2011).

El bloque cúbico de hormigón tiene una estabilidad hidráulica muy baja y se utiliza para mantos bicapa convencionales con colocación aleatoria, por su tendencia al adoquinamiento progresivo, lo que implica consumos muy elevados de hormigón. El manto bicapa de cubos o paralelepípedos es el único utilizado en los grandes diques españoles en todas las fachadas marítimas, mientras que los mantos monocapa de piezas “bulky” tienen una presencia residual; una situación completamente distinta de la observada fuera de España donde los diques protegidos con mantos monocapa llevan años extendiéndose por el mundo (ver www.concretelayer.com, www.xbloc.com y www.cubipod.com) impulsados por las mejoras en los equipos y técnicas de colocación. El bloque cúbico tiene una gran resistencia estructural y es muy fácil de encofrar, acopiar y colocar en obra, lo que reduce los costes de manipulación y puesta en obra, pero el bloque masivo “Cubípodo” (ver Fig. 1) tiene unas características similares y sí puede colocarse en una sola capa con el consiguiente ahorro. Para estimar los costes de construcción de los mantos bicapa de cubos y monocapa de cubípodos (ver Medina y otros, 2010) puede utilizarse las expresiones siguientes:

$$C_B \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (205 + HOR) + 0.75 \times \left[10^5 \times \left(\frac{1}{\ln(V \times W)} \right)^2 - 10^4 \times \left(\frac{1}{\ln(V \times W)} \right) \right] \quad (1)$$

$$C_C \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (265 + HOR) + 1.00 \times \left[10^5 \times \left(\frac{1}{\ln(V \times W)} \right)^2 - 10^4 \times \left(\frac{1}{\ln(V \times W)} \right) \right] \quad (2)$$

donde $HOR[\text{€}]$ es el coste del m^3 de hormigón suministrado, $W[t]$ es el peso de las piezas del manto, $V[\text{m}^3]$ es el volumen total de hormigón utilizado en piezas de peso $W[t]$. El manto monocapa de cubípodos permite ahorros del orden del 40% frente al bicapa de cubos, siendo mayor el ahorro en el caso de los diques más grandes.

REFERENCIAS

- Corredor, A., Torres, R., Miñana, J.V., Fernández, E., Menéndez, C.F., Santos, M., Gómez-Martín, M.E., Goumy, R. y Medina, J.R. 2008. CUBÍPODO: Estudios de estabilidad hidráulica 2D y 3D, estudio del remonte y rebase, diseño del encofrado y ensayos de caída de prototipos. *Libro de ponencias del III Congreso Nacional de la ATPyC*, O.P. Puertos del Estado, 187-211.
- Dupray, S., and Roberts, J. 2009. Review of the use of concrete in the manufacture of concrete armour units. *Proc. of Coasts, Marine Structures and Breakwaters 2009*, ICE, Vol. 1, 245-259.
- Gómez-Martín, M.E. and Medina, J.R. 2008. Erosion of cube and Cubipod armor layers under wave attack. *Proc. ICCE 2008*, ASCE, 3461-3473.
- 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
- Medina, J.R., Gómez-Martín, M.E., Corredor, A., Torres, R., Miñana, J.V., Fernández, E., Menéndez, C.F., Santos, M. 2011. Prototype drop tests of cube and Cubipod armor units. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE (scheduled March 2011).
- Muttray, M., Reedijk, J.S., Vos-Rovers, I. and Bakker, P. 2005. Placement and structural strength of Xbloc® and other single layer armour units. *Proc. Coast., Struct. and Breakwaters*, ICE, 555-567.
- Shore Protection Manual*. 1984. Shore Protection Manual, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.