



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ANEJO Nº8: ESTUDIO DE SOLUCIONES DE LAS OBRAS DE ABRIGO

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA AMPLIACIÓN DEL
PUERTO DE GANDÍA (VALENCIA) PARA USOS NÁUTICO-
DEPORTIVOS. OBRAS DE ABRIGO Y REORDENACIÓN
INTERIOR.

Presentado por

Escudero Serrano, Mónica

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2020



ÍNDICE

1. OBJETO	4
2. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS DE ABRIGO	5
2.1 Diques en talud	5
2.1.1 Elementos del manto	6
3. TIPOLOGÍAS DEL MANTO A CONSIDERAR	7
3.1 Descripción de las piezas de estudio	7
3.2 Determinación del peso de los elementos del manto principal y filtro	8
3.3 Criterios y coeficientes de ponderación	11
3.4 Valoración y elección de la alternativa	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Sección dique en talud	6
Ilustración 2. Ejemplos de piezas del manto artificiales	6
Tabla 1. Cálculo de los elementos del tronco. (Fuente: elaboración propia).	10
Tabla 2. Cálculo de los elementos del tronco. (Fuente: elaboración propia).	Error!
Bookmark not defined.	
Tabla 3. Cálculo de capas de filtro. (Fuente: Elaboración propia)	11
Tabla 4. Coeficientes de ponderación. (Fuente: Elaboración propia)	12
Tabla 5. Puntuación asociada a cada valoración. (Fuente: Elaboración propia)	12
Tabla 6. Valoración de alternativas. (Fuente: Elaboración propia)	12
Tabla 7. Valoración final. (Fuente: elaboración propia)	13



1. OBJETO

El presente anejo tiene por objeto la elección de la tipología de las obras de abrigo más favorables para el Puerto de Gandía. Concretamente, se centra en la elección de la pieza del manto del dique, ya que, como se comentará en este anejo supone un gran porcentaje del coste final de la obra. Para determinar las características del dique se deberá: seleccionar la pieza del manto principal, el número de capas y el cálculo del peso de los bloques con la fórmula de Hudson.

2. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS DE ABRIGO

Se denominan obras de abrigo aquellas obras que generan una protección frente a la acción del oleaje, en nuestro caso para permitir el acceso seguro y fácil a las embarcaciones usuarias y establecer líneas de atraque.

Existen dos tipos de diques según la acción que causan sobre el oleaje: los que amortiguan el oleaje y los que impiden el paso del oleaje. Dentro de este último, a su vez, distinguimos entre diques en talud, que rompen el oleaje; diques verticales, que reflejan el oleaje, y diques mixtos, formados por una combinación de los anteriores.

En los puertos deportivos un aspecto muy importante a la hora de diseñar el dique de abrigo es que la altura de coronación sea pequeña, con objeto de facilitar la vista y no provocar un efecto de confinamiento visual. Como consecuencia, los diques más utilizados son los de tipología en talud que es la tipología que estudiaremos a continuación.

2.1 Diques en talud

La misión principal del dique en talud, también conocido como rompeolas, es reducir la acción del oleaje en una zona para facilitar las operaciones de atraque, amarre, carga y descarga.

Su forma de trabajo consiste en provocar la rotura del oleaje sobre el talud de escollera o piezas especiales que constituyen su manto principal.

Además del manto resistente, el dique puede contar con una estructura de soporte (cuerpo) de no menor importancia que constituye el núcleo y las capas de filtro. En España, además, suele construirse un espaldón de hormigón en masa, situado en coronación y que resiste la acción del oleaje en ocasión de temporales, permitiendo, además, disponer de una excelente vía de acceso a las instalaciones o incluso albergar galerías de servicio.

Los elementos que constituyen la estructura de un dique en talud son:

- **NÚCLEO:** parte central del dique que soporta los mantos de escollera y posibilita su ejecución. Tiene que tolerar deformaciones y generalmente está compuesto por materiales procedentes de todo uno de cantera o por escollera de pequeño peso.
- **CAPA DE FILTRO:** parte intermedia de los diques en talud colocada sobre la parte exterior del núcleo. Habitualmente, está constituida por una o varias capas de escollera de tamaño creciente desde el núcleo hacia el interior. La gradación de tamaños evita el paso de las partículas del núcleo hacia el exterior.

- **MANTO PRINCIPAL:** va colocado sobre la capa externa del filtro. Está constituido por los elementos -escolleras naturales o artificiales- de mayor tamaño y su finalidad principal es resistir la acción del oleaje que actúa sobre él.
- **BANQUETA:** sirve de apoyo inferior al manto principal.
- **ESPALDÓN:** generalmente sobre la coronación del dique se dispone una estructura de hormigón con objeto de eliminar o reducir los rebases.
- **LOSA DE HORMIGÓN:** sirve como camino de rodadura y para proteger al núcleo frente a posibles rebases.
- **MANTO INTERIOR:** protege el talud interior del dique frente a la agitación y posibles rebases.

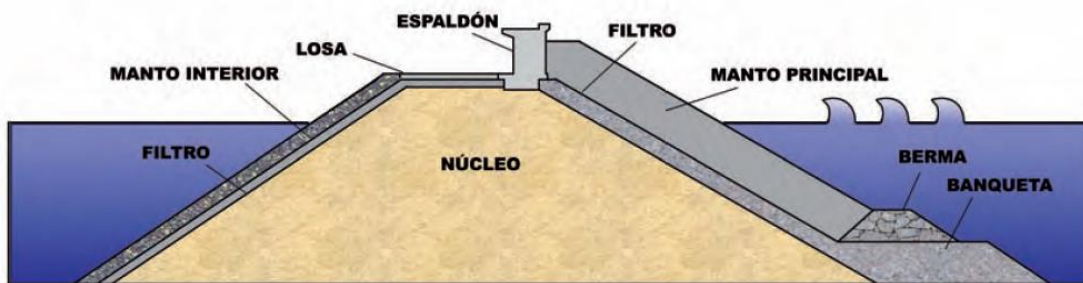


Ilustración 1. Sección dique en talud

2.1.1 Elementos del manto

Como se ha señalado anteriormente, el manto principal de un dique en talud constituye el elemento resistente frente al oleaje. Esto se consigue por el peso propio unitario y el engarce y trabazón de las piezas que lo integran. Estas pueden ser escolleras naturales que tienen un efecto de trabazón que depende directamente de la naturaleza de la roca, o piezas especiales de hormigón que por su forma confieren mayor rugosidad y trabazón. Algunas tipologías se muestran en la imagen siguiente:

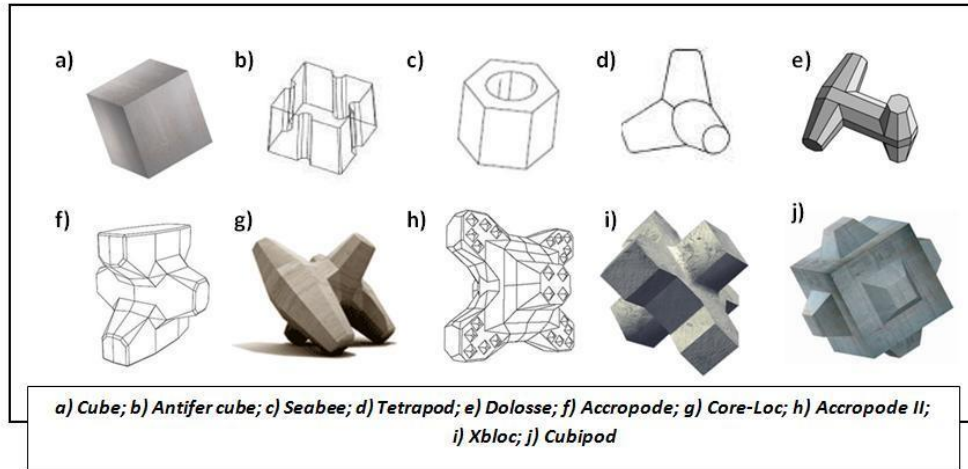


Ilustración 2. Ejemplos de piezas del manto artificiales

3. TIPOLOGÍAS DEL MANTO A CONSIDERAR

El manto principal y las piezas que lo componen son una parte muy importante del dique, ya que es la parte que condiciona fundamentalmente su diseño. Esto se debe a que el manto principal tiene un elevado coste relativo, es decir, una gran parte del coste del dique se utiliza para el manto principal. Por lo que, la elección de las piezas y capas que componen el manto principal va a repercutir de una manera muy importante en el resultado económico de la obra.

Por lo que estudiaremos las siguientes tipologías de manto, para determinar cual es la más adecuada:

- Dique con escollera bicapa.
- Dique con cubos bicapa.
- Dique con Cubípodos monocapa.
- Dique con Cubípodos bicapa.
- Dique con acrópodos monocapa.

3.1 Descripción de las piezas de estudio

Escollera natural

Pieza masiva utilizada en mantos bicapa, obtenida directamente de la explotación de una cantera, tiene una resistencia estructural muy elevada y su tamaño viene limitado por la posibilidad de extracción de una cantera cercana y los medios de transporte, normalmente el tamaño máximo es de 6 t. Suele ser una opción cara debido al precio que supone su colocación y transporte (sobre los 225€/t), junto a su bajo

coeficiente de estabilidad hidráulica y necesidad, por tanto, de bloques de gran tamaño, difíciles de gestionar.

Cubos

Pieza masiva con forma cúbica que se utiliza en mantos bicapa, fabricada con hormigón en masa sin limitación de tamaños a excepción de la capacidad de los equipos de manipulación. Tiene una gran resistencia estructural pero un coeficiente de estabilidad hidráulica bajo y además con la acción de los temporales tiende a adoquinarse, ordenándose cara contra cara, de manera que aumentan los daños y rebases.

Se pueden almacenar en parque durante la construcción con un nivel de porosidad bajo y se pueden manipular perfectamente con pinzas de presión, haciendo que los costes logísticos bajen. La colocación en el manto debe ser aleatoria, pero garantizando la porosidad definida en proyecto (uds/m²) y evitando adoquinamientos.

Cubípodos

Pieza masiva con forma cúbica a la que se le añaden unas protuberancias para evitar el acoplamiento entre caras y aumentar la fricción con la capa inferior. La resistencia estructural es superior a la del cubo, demostrando menores daños tanto en caída libre como volteos. El Cubípodo se caracteriza porque puede utilizarse en mantos monocapa y bicapa con distintos coeficientes de estabilidad. El coeficiente de estabilidad hidráulica del Cubípodo es muy superior al del cubo bicapa ($KD = 6$), siendo $KD = 12$ en mantos monocapa y $KD = 28$ en mantos bicapa, lo cual permite, para el mismo temporal de cálculo, utilizar piezas de peso mucho menor y por tanto reducir en gran medida el consumo de hormigón. Además, debido a las protuberancias elimina los problemas de adoquinamiento y rebase que sufren los mantos de cubos. El diseño del Cubípodo permite que se coloquen en el manto aleatoriamente y se autoposicionen sobre el talud manteniendo la porosidad uniforme a lo largo de su vida útil.

La fabricación y acopio en parque tiene un rendimiento similar a los cubos, se utilizan encofrados articulados tipo flanera que permiten ritmos de producción de hasta 3,5 piezas/día. Su manipulación se realiza con pinzas de presión igual que los cubos, en lugar de eslingas como precisa el Acrópodo.

Acrópodos

Pieza masiva con forma especial, es un elemento diseñado para taludes monocapa, con una malla predefinida de colocación, ya que el mecanismo resistente frente a la acción del oleaje es la trabazón entre piezas, que debe garantizarse mediante una colocación precisa en el talud.

Su coeficiente de reflexión es superior al de otras piezas de manto bicapa y proporciona niveles superiores, recomendándose su medición en ensayos hidráulicos. El ahorro económico debido al alto coeficiente de estabilidad, deberá ser comparado con el mayor coste de fabricación y colocación en obra, el posible fallo rígido y la necesidad de piezas para el filtro del doble de tamaño.

Por tener limitadas las dimensiones de bloques y encofrados permite el almacenamiento de los bloques en el lugar mismo de fabricación, optimizando la disposición en hileras con las piezas encajadas en líneas alternadas. Por la forma que tiene el bloque puede ser manipulado por medio de una pinza, de horquillas o de eslingas, con un riesgo mínimo de falsa maniobra.

3.2 Determinación del peso de los elementos del manto principal y filtro

Manto principal

Para el cálculo del peso de los elementos del manto principal se utilizará la fórmula de Hudson, aplicando los coeficientes de estabilidad publicados en el “Manual del Cubípedo 2015” (Medina y Gómez-Martín, 2015). Siendo la fórmula de Hudson la siguiente:

$$W = \frac{\gamma * H^3}{K_D * \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot \alpha}$$

Donde:

- W: Peso medio de las piezas del manto principal (Tn)
- H: Altura de ola de diseño (m)
- γ : Peso específico de los elementos del manto (Tn/m³)
- γ_w : Peso específico del agua de mar, 1,025 Tn/m³
- α : Ángulo del talud respecto a la horizontal
- K_D : Coeficiente de estabilidad

El valor de la altura de ola de diseño se obtiene como 0,78 veces la profundidad al pie del dique.

$$H_{TRONCO} = H_{MORRO} = 0,78 * h_{pie} = 0,78 * 7 = 5,46$$

Además, se calculará el espesor de cada pieza, en función del peso obtenido, mediante la siguiente fórmula:

$$D_n = \left(\frac{W}{\gamma}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Siendo:

- D_n : Diámetro nominal (m)
- W : Peso de la pieza (Tn)
- γ : Peso específico del material estudiado (Tn/m³)

Se van a comprobar en el tronco y morro del dique, escogiendo siempre la zona que se encuentre a mayor profundidad. En nuestro caso será de 7 metros tanto para el morro como para el tronco. Podemos observar los resultados en las tablas siguientes:

	Pieza	Nº capas	K_D	γ	Cot α	H_s	W	D_{nom}
TRONCO	Escollera	2	4	2,6 5	1,5	5,46	18	1,89
	Cubo	2	6	2,3 5	1,5	5,46	20	2,04
	Cubípodo 2	2	28	2,3 5	1,5	5,46	5	1,29
	Cubípodo 1	1	12	2,3 5	1,5	5,46	10	1,62
	Acrópodo	1	15	2,3 5	1,5	5,46	8	1,5

Tabla 1. Cálculo de los elementos del tronco. (Fuente: elaboración propia).

A partir de los pesos obtenidos podemos descartar la utilización de escollera natural, ya que, la obtención de piezas de escollera de más de 6 toneladas solo se puede encontrar en canteras especiales, lo que encarecería la obra pudiendo llegar a ser económicamente inviable. Por otra parte, la utilización de cubos supondría la utilización de un gran volumen de hormigón para cumplir con el peso exigido por lo que también tendría un gran coste económico. En cuanto a la alternativa con Cubípodos bicapa para el tronco, ésta necesitaría una gran superficie de acopio de los Cubípodos, por lo que a priori tampoco parece la mejor opción. Por último, si comparamos la alternativa de acrópodos con la de Cubípodos monocapa parece que no hay una gran diferencia. Sin embargo, durante su fabricación los acrópodos necesitan un encofrado más complicado que los Cubípodos que tienen un encofrado de tipo flanera que permite desencofrar a

las 6 horas frente a las 24 horas de desencofrado de los acrópodos. Por todo esto, la alternativa con Cubípodos monocapa es la más favorable.

Filtros

La función principal de las capas de filtro es la de evitar que se produzcan filtraciones de agua y que estas lleguen hasta el núcleo. Por lo tanto, los materiales que compongan las capas de filtro tendrán un tamaño inferior a los que forman el manto principal y la berma de pie.

El peso de la primera capa de filtro puede estar entre $W/10$ y $W/20$, siendo W el peso del manto principal. A continuación, se obtienen los pesos para los diferentes materiales estudiados de las capas de filtros.

Tramo	Pieza	1ª capa de filtro	
		$W(T_n)$	D_n (m)
Tronco	Cubo	2	0,95
	Cubípodo 2	0,5	0,6
	Cubípodo 1	1	0,75
	Acrópodo	0,8	0,7

Tabla 2. Cálculo de capas de filtro. (Fuente: Elaboración propia)

3.3 Criterios y coeficientes de ponderación

Para la elección de la tipología del manto de la obra de abrigo realizamos un análisis multicriterio, este análisis ya se utilizó para la elección de la alternativa en planta en el “Anejo nº7: Estudio de soluciones en planta” por lo que seguiremos el mismo procedimiento. A continuación, se describirán los criterios considerados en la toma de decisiones.

Criterios económicos

Este criterio es muy importante en los diques en talud, como se ha comentado anteriormente, por lo que la opción más favorable económicamente será la que tenga mayor valoración. Se incluye en este condicionante los costes de mantenimiento y de construcción. El coeficiente de ponderación que se le asigna es de 5.

Criterios funcionales

Este criterio se basa en el punto de vista estructural. Se valorará la fiabilidad a largo plazo, la resistencia estructural y el remonte y rebase del oleaje. Al ser un aspecto

fundamental para el correcto funcionamiento del manto, se le asigna un coeficiente de ponderación de 5.

Criterios ambientales

En este criterio se tiene en cuenta el impacto ambiental durante la fase de construcción como durante la fase explotación. Se considerará la opción más favorable la que menor impacto tenga sobre el medio ambiente, es decir, la que presente el valor más alto. Se establece un coeficiente de 4 para este criterio.

Criterios estéticos

Se tendrá en cuenta el visual que produzca la estructura. Algunos materiales permiten que la cota de coronación del dique sea más baja y, por tanto, eso materiales tendrán mayor valoración. Se asigna un coeficiente de ponderación igual a 4 para estos criterios.

Criterio	Coeficiente
Económico	5
Funcional	5
Ambiental	4
Estético	4

Tabla 3. Coeficientes de ponderación. (Fuente: Elaboración propia)

3.4 Valoración y elección de la alternativa

Para realizar la valoración se asociará a cada criterio una puntuación entre 1 y 5, de manera subjetiva como ya se hizo anteriormente en otro anejo. Dicha valoración se refleja en la siguiente tabla:

Valoración	Puntuación
Muy bueno	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1
No afecta	0

Tabla 4. Puntuación asociada a cada valoración. (Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente matriz se asigna un valor a cada material del manto en función de los distintos criterios.

	Cubípodos 2	Cubos	Cubípodos 1	Acrópolis
Criterios económicos	2	3	4	3
Criterios ambientales	4	3	4	4
Criterios funcionales	5	3	5	2
Criterios estéticos	4	3	4	3

Tabla 5. Valoración de alternativas. (Fuente: Elaboración propia)

Una vez asignados las valoraciones a cada alternativa, ponderamos éstas con los coeficientes descritos anteriormente con lo que obtenemos la siguiente matriz:

	Cubípodos 2	Cubos	Cubípodos 1	Acrópolis
Criterios económicos	10	15	20	15
Criterios ambientales	16	12	16	16
Criterios funcionales	25	15	25	10
Criterios estéticos	16	12	16	12
TOTAL	67	54	77	53

Tabla 6. Valoración final. (Fuente: elaboración propia)

Como conclusión, se puede extraer de la matriz multicriterio que la alternativa más favorable es el uso de Cubípodos para el manto del dique en talud. Por tanto, se va a optar por la realización de un dique en talud monocapa. El talud del dique será 3:2.

