



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio de Soluciones para la Ampliación del Puerto de Altea (Alicante). Obras de Abrigo y Ordenación Interior.

ANEXO IX:

**Estudio de Soluciones de las Obras de
Abrigo**

Índice:

1. OBJETO.....	3
2. TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS DE ABRIGO	3
2.1 Diques en talud.....	4
2.1.1. Tipología de diques en talud	5
2.1.2. Elementos del manto.....	6
2.1.3. Otros elementos del dique.....	8
2.2 Tipologías a considerar	9
2.2.1. Descripción de las piezas de estudio	9
3. ESTUDIO DE SOLUCIONES DEL DIQUE	10
3.1 Cálculo del peso de los elementos del manto.....	11
3.2 Cálculo del peso de los elementos del filtro	13
3.3 Criterios y coeficientes de ponderación	14
3.4 Valoración y elección de la alternativa	15
4. REFERENCIAS	16

Índice de figuras:

Figura 1. Sección característica de un dique en talud	5
Figura 2. Ejemplo de las distintas tipologías de diques en talud	6
Figura 3. Ejemplos de elementos artificiales	7
Figura 4. Disposición de los elementos del manto principal	8

Índice de tablas:

Tabla 1. Cálculo de los elementos del tronco.....	12
Tabla 2. Cálculo de los elementos del morro	12
Tabla 3. Diámetro nominal mínimo de cubípodos en el manto.....	12
Tabla 4. Cálculo de las capas de filtro	13
Tabla 5. Coeficientes de ponderación.....	14
Tabla 6. Puntuación para cada valoración	15
Tabla 7. Valoración de cada alternativa.....	15
Tabla 8. Valoración final	15

1. Objeto

El propósito de este anexo es elegir el tipo de obra de abrigo y, una vez seleccionada, dimensionarla. Se describirán varias alternativas posibles y se realizará un análisis de las mejores opciones para poder escoger la más adecuada. Las tipologías básicas con las que se trabaja son las de dique en talud y dique vertical, puesto que son muy comunes en puertos del mar Mediterráneo.

En primer lugar, se va a realizar el estudio de los distintos tipos de obras de abrigo, escogiendo cuál se adapta mejor a las características de esta ampliación.

Antes de realizar el dimensionamiento es necesario estudiar distintos materiales con los que se pueda construir el manto principal del dique. Para ello, se realizará un estudio de soluciones mediante un análisis multicriterio. Este paso es muy importante ya que el material elegido condicionará el resto del dique.

Para determinar las características del dique se deberá seleccionar la pieza del manto principal, el número de capas, colocación y cálculos del peso de los bloques con la fórmula de Hudson.

Toda la información necesaria para realizar este anexo ha sido obtenida de los libros “Cubipod Manual 2016” de Medina y Gómez-Martín y la ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo (Parte 1ª. Bases y Factores para el proyecto. Agentes climáticos).

2. Tipología de las obras de abrigo

La función principal de las obras de abrigo es la de impedir el paso del oleaje hacia dentro del puerto, asegurando una zona abrigada en la que podrán atracar y navegar de forma segura las embarcaciones. Por lo tanto, las obras de abrigo deben asegurar que en el interior del puerto el oleaje sea mínimo en las situaciones límite de temporales.

Existen varias tipologías de obras de abrigo que impiden el paso del oleaje de forma distinta. Los diques verticales utilizan la reflexión del oleaje en la que la mayor parte de la energía es reflejada por el obstáculo vertical que supone el dique. Los diques en talud, que son los que se van a estudiar, rompen el oleaje sobre ellos y de esta forma impiden el paso de la energía del oleaje a las aguas abrigadas.

2.1 Diques en talud

Los diques en talud son los más usados para esta tipología de puertos. Su misión principal es reducir la acción del oleaje en una zona para facilitar operaciones de atraque, amarre, carga y descarga. Establecen un mecanismo que hace que el oleaje suba por el talud perdiendo energía por remonte con la consiguiente disipación de energía. La rugosidad del talud provoca que rompa la ola.

Su forma de trabajo consiste en provocar la rotura del oleaje sobre el talud de escollera o de elementos especiales que constituyen su manto principal. Además del manto resistente, el dique puede contar con una estructura soporte, cuerpo, de no menos 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 disponer también de una excelente vía de acceso a las instalaciones o incluso albergar galerías de servicio.

Para definir aspectos a considerar hay que proceder a la ordenación de acciones, clima marítimo, recursos, modelos matemáticos y físicos, condiciones de cimentación, disponibilidad de materiales, tecnología disponible, etc.

Los elementos que componen un dique en talud son:

- ⇒ Núcleo: es la parte más interior de la obra. Generalmente está constituido por materiales procedentes de todo uno de cantera o de escollera de pequeño peso. Sobre él se disponen las capas intermedias. Debe ser relativamente impermeable para evitar transmisiones de oleaje, así como ser una buena plataforma de trabajo durante el periodo de construcción si se emplean medios terrestres para la ejecución del dique.
- ⇒ Capas intermedias: deben ser un cimiento satisfactorio para el manto y actuar como filtro de las capas del núcleo, es decir, deben actuar como protección del núcleo, tanto cuando el dique se halla en construcción como cuando se ha ejecutado en su totalidad. Es importante disponer de una variación progresiva de diámetros de los áridos que componen las distintas capas para evitar filtraciones.
- ⇒ Manto: constituye el elemento resistente del dique frente al oleaje que evita la erosión de la estructura. Generalmente está integrado por la agregación de elementos de cierto peso mínimo determinado, escolleras o elementos de hormigón (bloques paralelepípedicos u otras piezas especiales). Este resiste la acción del oleaje por dos razones fundamentales: el peso propio unitario de los elementos que lo constituyen y el engarce y trabazón entre los elementos que lo integran.
- ⇒ Banqueta: en algunos casos, para mejorar la calidad de la cimentación sobre la que se va a apoyar el dique se realizan banquetas de escollera.
- ⇒ Berma de pie: se sitúa en el pie del manto y sirve de apoyo de las distintas capas del dique. Impide el deslizamiento de las distintas capas y el lavado y socavación del pie del dique.
- ⇒ Espaldón: es una estructura, generalmente de hormigón que se sitúa en la coronación del dique y sirve tanto como protección frente al oleaje como para facilitar el acceso al dique.

- ⇒ Cuenco amortiguador: el cuenco se sitúa entre el espaldón y la coronación del manto principal y tiene la función de absorber energía del oleaje para así poder reducir la altura del dique.

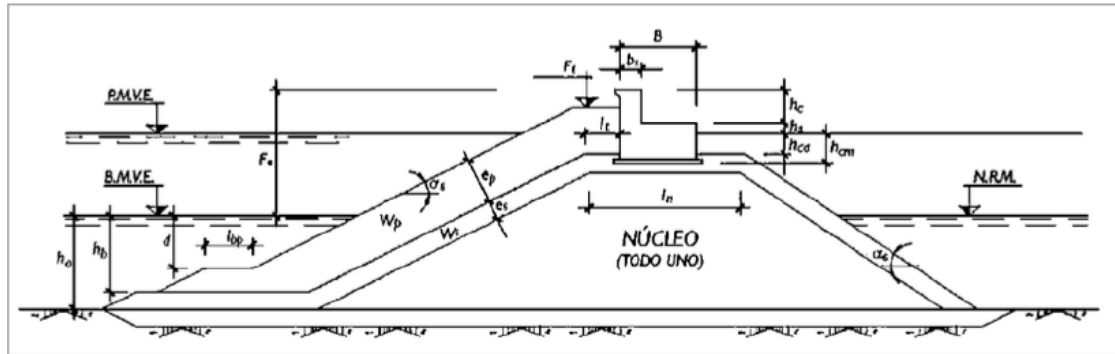


Figura 1. Sección característica de un dique en talud. (Fuente: Obras marítimas, Vicent Esteban Chaparria)

2.1.1. Tipología de diques en talud

Existen multitud secciones posibles en un dique en talud, la elección de una tipología concreta marca el comportamiento del dique a lo largo de su vida útil. Algunos ejemplos de distintas secciones de dique en talud se muestran a continuación:

- ⇒ Dique berma: el oleaje se rompe en la berma. Utilizado cuando existen oleajes pequeños.
- ⇒ Rompeolas de escollera y cubos: formados por escollera o bloques de hormigón con formas paralelepípedas.
- ⇒ Dique de piezas artificiales: formado por piezas con forma especial, de hormigón, que inducen la rotura del oleaje más favorablemente.
- ⇒ Dique monocapa (acrópodos): existe una sola capa formando el acabado.

Como se puede ver en la siguiente gráfica, el dique berma sufre más y se aproxima al estado límite en un menor tiempo, pero los daños son más visibles y, por lo tanto, más fácil de detectar el posible fallo del dique. En cambio, los diques artificiales y monocapa, que se comportan de forma similar, sufren menos daño durante los primeros años de su vida útil hasta que al aproximarse a su límite rompen. Esto es una desventaja ya que es difícil detectar cuando se está llegando al estado límite hasta que se está muy próximo a él, lo cual puede suponer grandes pérdidas. Los diques rompeolas, los más comunes, tienen un comportamiento equilibrado.

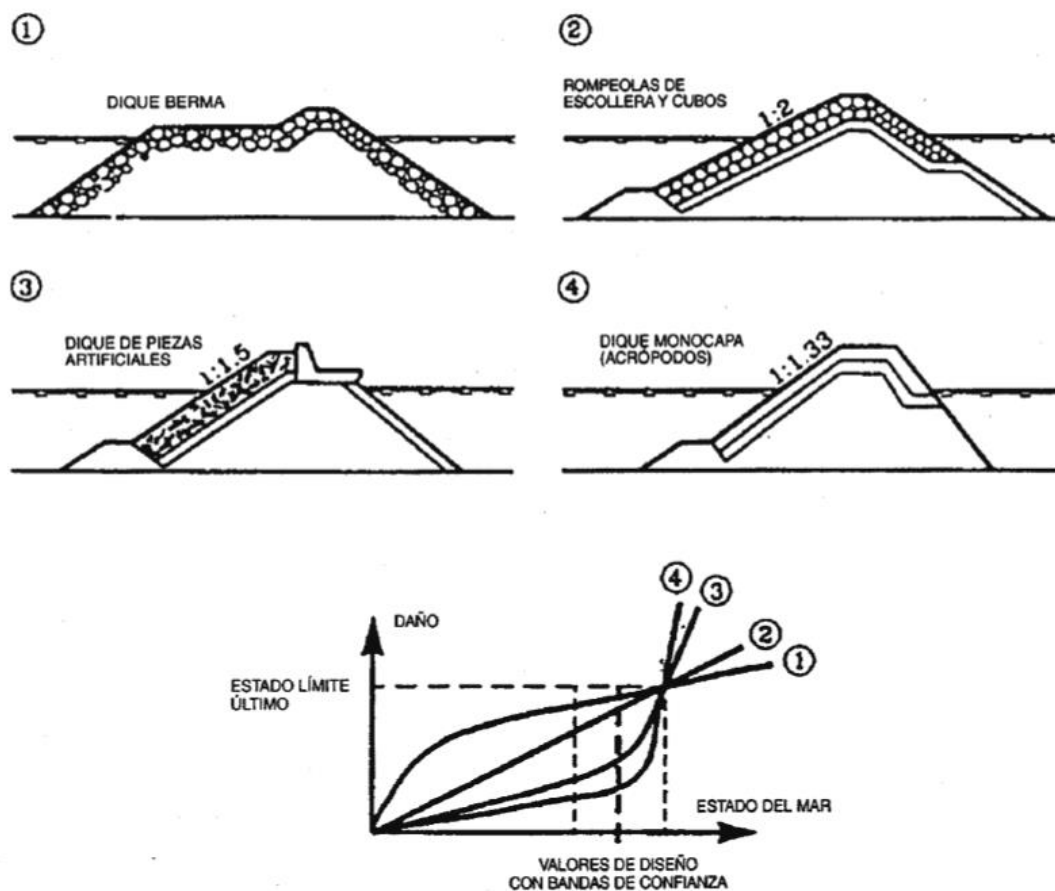


Figura 2. Ejemplo de las distintas tipologías de diques en talud. (Fuente: Obras marítimas, Vicent Esteban Chaparría)

2.1.2. Elementos del manto

El manto y los elementos que lo componen son una parte fundamental del dique, como ya se ha explicado anteriormente. El material que lo compone, su forma o su disposición son características que determinan el comportamiento del dique y condicionan las demás partes.

La función principal del manto es la de resistir el empuje del oleaje, y esto lo consigue mediante el peso propio de los elementos que lo componen y por el efecto de trabazón del conjunto del manto. Estos medios de resistencia varían con la tipología que componen esta capa.

Tipologías

Existe una amplia gama de elementos que pueden componer el manto principal y que tienen comportamientos diferentes. La escollera natural tiene un efecto de trabazón que depende directamente de la naturaleza de la roca, que es menor que en los elementos artificiales y, por lo tanto, se requieren elementos de mayor peso. Sin embargo, los elementos artificiales con geometría especial tienen una rugosidad y un efecto de trabazón mayor, lo cual permite utilizar menor peso unitario.

Algunos ejemplos de estos elementos son:

- a) Cubo
- b) Cubo antifer
- c) Seabee
- d) Tetrápodo
- e) Dolo
- f) Acrópodo
- g) Core-Loc
- h) Acrópodo II
- i) Xbloc
- j) Cubípedo

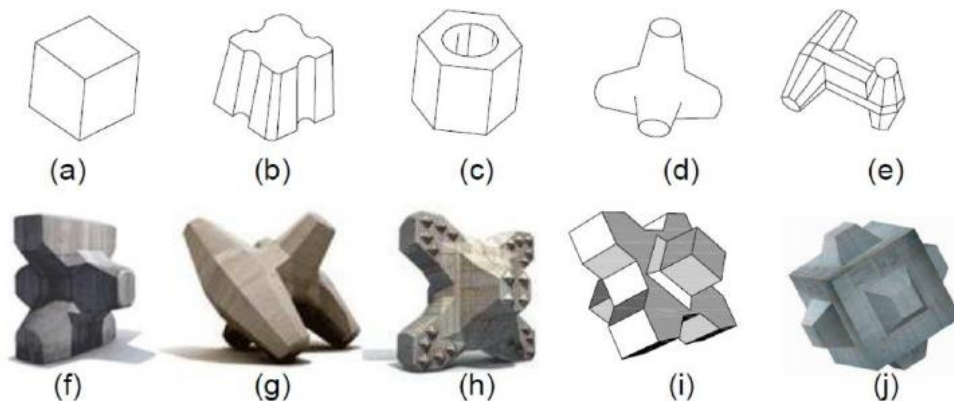


Figura 3. Ejemplos de elementos artificiales. (Fuente: <http://www.upv.es/contenidos/ENCDOC/info/U0657502.pdf>)

Disposición de los elementos

La disposición de los elementos del manto también puede variar y afectar de forma directa la respuesta del dique frente al oleaje. Los diques en talud deben romper el oleaje y absorber la máxima energía posible, gracias a la rugosidad del material. Una baja rugosidad con una pendiente inadecuada puede suponer el remonte del oleaje y, por consiguiente, la avería del dique.

Existen dos tipos de diques en función de cómo se lleva a cabo la disposición de los materiales.

A los diques con los elementos dispuestos en forma premeditada se les llama diques concertados. Se establecen unas determinadas condiciones de cómo tiene que ser el acabado del dique. Estos pueden ser de cuatro tipos.

- ⇒ Bloques arrimados: se establecen en horizontal los bloques contiguos, sin dejar ranuras entre ellos, estableciendo un escalonamiento que va dejando un talud. El oleaje se disipa por subida y bajada a lo largo del talud.
- ⇒ Bloques semiarrimados: disposición horizontal con cierta holgura entre bloques dejando juntas de 10 o 20 centímetros. Se garantiza de esta manera que la rugosidad puede disipar el oleaje y, además, parte se disipa también como en el caso anterior en remonte.
- ⇒ Bloques arrimados inclinados: se colocan siguiendo el talud su dimensión mayor.
- ⇒ Bloques escalonados en contrapendiente: el talud está formado por la dimensión no principal del bloque. Se consigue mayor resistencia y se requieren piezas menores. Requiere en el extremo inferior del talud bloques horizontales que lo sujeten.

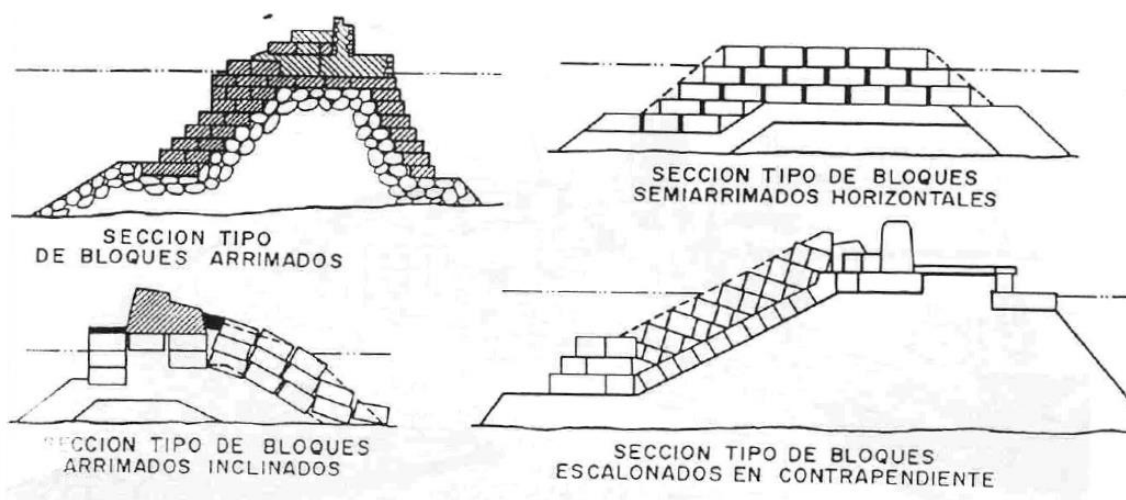


Figura 4. Disposición de los elementos del manto principal. (Fuente: Obras marítimas, Vicent Esteban Chaparría)

La opción de bloques arrimados inclinados es visualmente atractiva desde fuera del puerto, pero no absorbe la energía del oleaje correctamente ya que proporciona una rampa para que este remonte el dique, como ya se ha explicado. Por otro lado, los mantos con disposición de sus elementos en contrapendiente son muy eficientes a la hora de absorber la energía debido a su ángulo opuesto al remonte del oleaje.

La otra opción es la de dejar caer los elementos del manto de forma no ordenada. En este caso se llaman diques no concertados. Este es el caso del Puerto Deportivo de Altea, puesto que el manto está compuesto por escollera no concertada de distintos pesos unitarios. Este tipo de diques favorecen mucho más la rotura del oleaje, pero el cuerpo puede ser más inestable ya que no es todo un bloque como los concertados.

2.1.3. Otros elementos del dique

Existen otros elementos que pueden caracterizar el dique:

- ⇒ Berma: se pueden definir varias formas de bermas de pie y acabado bajo el agua. En aguas profundas se recomienda el uso de bermas de pie par reducir la profundidad del dique y así reducir el coste. En cambio, en aguas someras se recomienda que el manto se prolongue hasta el fondo acabando en berma o prolongación recta.
- ⇒ Coronación: existen varias formas de ejecutar la parte superior del dique: coronación sencilla, coronación con control del rebase y coronación con espaldón.

2.2 Tipologías a considerar

Al haber descrito ya el dique en talud que será el que se va a utilizar ya que, para puertos deportivos, la mejor opción y los más utilizados son estos, ahora se procederá a escoger la solución más adecuada para la ampliación del Puerto Deportivo de Altea.

Estas serán las posibles soluciones del dique en talud que valoraremos para escoger la mejor opción:

- ⇒ **Alternativa 1:** Dique en talud con escollera natural bicapa.
- ⇒ **Alternativa 2:** Dique en talud con cubos bicapa.
- ⇒ **Alternativa 3:** Dique en talud con cubípodos monocapa.
- ⇒ **Alternativa 4:** Dique en talud con cubípodos bicapa.
- ⇒ **Alternativa 5:** Dique en talud con acrópodos monocapa.

2.2.1. 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 su tamaño máximo no supera las 6 toneladas.

Esta es una opción cara debido al transporte y colocación (alrededor de 225€/t) junto a su bajo coeficiente de estabilidad hidráulica y que se necesitan bloques de gran tamaño que son difíciles de gestionar.

Cubos

Pieza masiva con forma cúbica que es utilizada en mantos bicapa fabricada con hormigón en masa sin limitación de tamaño a excepción de la capacidad de los equipos de manipulación. Tiene una gran resistencia estructural, sin embargo, posee un coeficiente de estabilidad hidráulica bajo que, además, con la acción de los temporales, los bloques tienden a adoquinarse, ordenándose cara con cara lo que provoca un aumento de daños y rebases.

Se puede almacenar en parque mientras se lleva a cabo la construcción del dique con un nivel de porosidad bajo. La colocación puede ser mediante pinzas de presión suponiendo una bajada en los costes logísticos y dejándolos de manera aleatoria, pero garantizando la porosidad definida en proyecto (Uds./m²) y evitando adoquinamientos.

Cubípodos

Pieza masiva de forma cúbica a la que se le añade una protuberancia para evitar el acoplamiento entre caras y aumentar la fricción con la cara inferior. La resistencia estructural es superior a la del cubo, demostrando menores daños en caída libre y volteos.

Estas piezas se caracterizan porque pueden utilizarse tanto en mantos monocapa como en bicapa con distintos coeficientes de estabilidad. El coeficiente de estabilidad hidráulica de este es $K_D = 12$ en mantos monocapa y $K_D = 28$ en mantos bicapa, siendo muy superior al del cubo ($K_D = 6$). Esto permite que, para el mismo temporal de cálculo, se utilizan piezas de menor peso y, por tanto, una reducción importante de uso de hormigón. Además, debido a las protuberancias elimina los problemas de adoquinamientos y rebase que se sufren con los cubos, proporcionando así una alta fiabilidad, lo que se traduce en una mayor seguridad del dique ante temporales.

El diseño de los cubípodos permite que se coloquen aleatoriamente y se autoposicionen sobre el talud manteniendo la porosidad uniforme a lo largo de la 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 al día. Su manipulación se realizará con pinzas de presión igual que en los cubos.

Acrópodos

Pieza masiva con forma especial. Es un elemento diseñado para elementos 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.

El coeficiente de reflexión de los acrópodos 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 de doble 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 unas pinzas, de horquillas o de eslingas, con un riesgo mínimo de falsa maniobra.

3. Estudio de soluciones del dique

El factor básico de diseño para diques en talud es el cálculo del peso de los elementos del manto principal. Este factor condiciona en gran medida el diseño y el coste final de la obra, puesto que repercute directamente en el tamaño y espesor de todas las capas del dique (manto, filtros y núcleo) y, por tanto, en el volumen total de materiales.

A continuación, se va a realizar un estudio de soluciones del manto, de manera que se escoja el material más adecuado, en base a una serie de criterios.

3.1 Cálculo del peso de los elementos del manto

El manto principal tiene que ser capaz de resistir las acciones del oleaje. Para la determinación del peso de cada pieza que forma el manto se utilizarán los Coeficientes de Estabilidad publicados en el “Cubipod Manual 2016” de Medina y Gómez-Martín. Se calcularán con la fórmula de Hudson.

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

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, tiene un valor de 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.

Altura de ola de cálculo para el tronco:

$$H = 0,78 \cdot h_{pie} = 0,78 \cdot 7,5 = 5,85 \text{ m}$$

Altura de ola de cálculo para el morro:

$$H = 0,78 \cdot h_{pie} = 0,78 \cdot 8 = 6,24 \text{ m}$$

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

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

Siendo:

- ⇒ D_n : diámetro nominal (m)
- ⇒ W: peso de la pieza (Tn)
- ⇒ γ : peso específico del material estudiado (Tn/m³)

Se comprobará tanto para el tronco como para el morro del dique. En ambos casos se escogerá la zona que se encuentre a mayor profundidad. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Pieza	Nº capas	K _D	γ	cot α	H	W	D _n
Escollera	2	4	2,65	1,5	5,85	22	2,0
Cubo	2	6	2,35	1,5	5,85	24	2,2
Cubípodo 1	1	12	2,35	1,5	5,85	12	1,7
Cubípodo 2	2	28	2,35	1,5	5,85	5	1,3
Acrópodo	1	15	2,35	1,3	5,85	11	1,7

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

Pieza	Nº capas	K _D	γ	cot α	H	W	D _n
Escollera	2	2	2,65	1,5	6,24	53	2,7
Cubípodo 1	1	5	2,35	1,5	6,24	35	2,5
Cubípodo 2	2	7	2,35	1,5	6,24	25	2,2

Tabla 2. Cálculo de los elementos del morro. (Fuente: Elaboración propia)

Según el “Cubipod Manual 2016”, el tamaño de cubípodos para diseñar mantos estables a rotura por fondo, con talud cot α = 1,5 y para cualquier clima marítimo es para mantos monocapa de cubípodos:

$$D_n > \frac{h}{6,2 \cdot \Delta} = \frac{h_s \cdot (1 + 3 \cdot \tan \beta)}{6,2 \cdot \Delta}$$

Y para mantos bicapa de cubípodos:

$$D_n > \frac{h}{7 \cdot \Delta} = \frac{h_s \cdot (1 + 3 \cdot \tan \beta)}{7 \cdot \Delta}$$

Siendo:

- ⇒ h_s: profundidad a pie de dique
- ⇒ β: ángulo que forma el fondo con la horizontal
- ⇒ Δ = $\left(\frac{p_s}{p_w} - 1\right)$

Aplicando estas fórmulas se obtienen los siguientes resultados:

	h _s	tan β	h	ρ _s (t/m³)	ρ _w (t/m³)	Δ	D _n	W (t)
Cubípodo 1	7,5	0,02	8	2,35	1,025	1,29	1,00	2,35
Cubípodo 2	7,5	0,02	8	2,35	1,025	1,29	0,89	1,66

Tabla 3. Diámetro nominal mínimo de cubípodos en el manto. (Fuente: Elaboración propia)

Se puede comprobar que el espesor de los cubípodos calculados anteriormente son mayores que los obtenidos en esta última tabla y, por tanto, cumplen con esta condición.

A partir de los datos obtenidos, se descarta la alternativa de colocar escollera natural ya que encontrar escollera de más de 6 toneladas solo se puede obtener en canteras especiales, encareciendo la obra de tal forma que podría llegar a hacerla inviable. El cubo necesita un gran volumen de hormigón para cumplir con las exigencias mínimas del peso del elemento, por lo tanto, también sería una solución muy costosa. Por otra parte, el resultado del cubípedo bicapa para el tronco sería un gran volumen de piezas pequeñas, por lo que se necesitaría una mayor extensión para acopiarlas y medios para poder cubrir la superficie del manto que se realizase en monocapa, por lo tanto, a priori, tampoco sería buena opción. La diferencia de peso entre cubípodos monocapa y acrópodos es de una tonelada, sin embargo, el encofrado de los acrópodos es mucho más complicado y laborioso que el de los cubípodos, además de que se realiza un encofrado cada 24 horas frente a las 6 horas necesarias para el cubípedo, pudiendo reducir plazos de construcción. Por estas razones, la solución de cubípodos monocapa la más factible económicamente.

3.2 Cálculo del peso de los elementos del filtro

Las capas de filtro tienen como función principal la de evitar que se produzcan filtraciones de agua y que lleguen hasta el núcleo y, por lo tanto, los materiales que las compongan 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 (Tn)	D _n (m)
Tronco	Cubo	2,4	1,0
	Cubípedo 1	1,2	0,8
	Cubípedo 2	0,5	0,6
	Acrópedo	1,1	0,8
Morro	Cubípedo 1	3,5	1,1
	Cubípedo 2	2,5	1,0

Tabla 4. Cálculo de las capas de filtro. (Fuente: Elaboración propia)

3.3 Criterios y coeficientes de ponderación

Para escoger la mejor opción de la tipología de las obras de abrigo se va a llevar a cabo otro análisis multicriterio. Los distintos criterios elegidos, además del coeficiente de ponderación de cada uno de ellos según la importancia. Los coeficientes tendrán valores comprendidos entre 1 y 5, siendo 1 poco importante y el 5 muy importante.

Criterios económicos:

Dentro de este condicionante están incluidos los costes de construcción y de mantenimiento. Este criterio es fundamental en los diques en talud, como ya se ha comentado. Por este motivo, la opción más favorable económicamente será la de mayor valoración. Se le asigna un coeficiente de ponderación de 5.

Criterios funcionales:

Este condicionante 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. El coeficiente de ponderación que se le asigna es un 5, ya que es un aspecto imprescindible para el correcto funcionamiento del manto. Se considera que la opción más favorable será la que mayor valoración tenga.

Criterios ambientales:

Se considerará tanto el impacto ambiental durante la construcción como durante la explotación del puerto. Se considerará la opción más favorable será la que mayor valoración tenga, es decir, con menos afección medioambiental. Se le asigna un coeficiente de ponderación de 4.

Criterios estéticos:

Se tendrá en cuenta el impacto visual que produzca algunos materiales permiten que la cota de coronación del dique sea más baja y, por tanto, estos materiales tendrán una valoración mejor. Se le asigna un coeficiente de ponderación de 2.

Condicionante	Coeficiente
Económico	5
Funcional	5
Ambiental	4
Estético	2

Tabla 5. Coeficientes de ponderación. (Fuente: Elaboración propia)

3.4 Valoración y elección de la alternativa

Cada criterio tendrá una puntuación entre 1 y 5, según la valoración subjetiva reflejada en la siguiente tabla, tal y como ya se ha utilizado en otros anexos.

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

Tabla 6. Puntuación para cada valoración. (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se muestra una matriz en la que se puede observar el valor asignado a cada material en función de los distintos criterios.

	Escollera	Cubos	Cubípodos	Acrópodos
Condicionantes económicos	2	3	4	3
Condicionantes funcionales	3	4	5	5
Condicionantes ambientales	2	3	4	3
Condicionantes estéticos	3	3	4	3

Tabla 7. Valoración de cada alternativa. (Fuente: Elaboración propia)

Con las valoraciones otorgadas a las alternativas según los distintos criterios se puede realizar una matriz en la que se ponderan estos valores con los coeficientes de ponderación descritos anteriormente.

La matriz multicriterio obtenida es la siguiente:

	Escollera	Cubos	Cubípodos	Acrópodos
Condicionantes económicos	10	15	20	15
Condicionantes funcionales	15	20	25	25
Condicionantes ambientales	8	12	16	12
Condicionantes estéticos	6	6	8	6
TOTAL	39	53	69	58

Tabla 8. Valoración final. (Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar en la matriz multicriterio que la alternativa más favorable es la realización del dique en talud mediante cubípodos. Por lo tanto, se va a optar por construir un dique en talud con cubípodos monocapa tanto para el tronco como para el morro, con un talud en ambos casos de 3:2.

4. Referencias

- ⇒ Josep R. Medina y M. Esther Gómez-Martín. “Cubipod Manual 2016”, 2016.
- ⇒ Vicent esteban Chapapría. “Obras Marítimas”, 2014.
- ⇒ Gobierno de España. Ministerio de Fomento. “ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo”, 2009.