

ANEXO 4: ESTUDIO DE LAS PIEZAS DEL MANTO PRINCIPAL.

ANEXO 4: ESTUDIO DE LAS PIEZAS DEL MANTO PRINCIPAL.

INDICE

1 INTRODUCCIÓN	66
2 DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS A ESTUDIO	68
ESCOLLERA	68
CUBOS	68
CUBÍPODOS	68
3 DETERMINACIÓN DEL PESO DE LOS ELEMENTOS DE REPARACIÓN DEL MANTO PRINCIPAL Y COMPROBACIÓN DE FILTROS	69
MANTO PRINCIPAL	69
FILTROS.....	70
4 ANALISIS DE ALTERNATIVAS	71
CRITERIOS ELEGIDOS	71
MATRIZ MULTICRITERIO.....	72

1. INTRODUCCIÓN.

Este anexo analizará diferentes alternativas posibles para llevar acabo la solución óptima para resolver la obra de abrigo del puerto, cumpliendo los objetivos fijados.

Se recuerda que la solución del dique debe ser en talud y deberá reducir los posibles riesgos de hundimiento puesto a que las anteriores obras de ampliación provocaron hundimientos localizados, además es recomendable la construcción de una banquetta de fondo contra la socavación puesto que tanto en el tramo 4 como 5 se ha comprobado que esta es insuficiente y de poco peso.

Estas obras de reparación se forman por capas de materiales granulares de diversos tamaños que rompen el oleaje que ataca a la estructura.

A parte del manto principal que se va a reparar, el dique cuenta con un filtro y con un núcleo voluminoso constituido por material de cantera de pequeño tamaño constituyendo el cuerpo principal del dique. La misión de este es atenuar la transmisión de la energía del oleaje a través del mismo. Por último, se recrecerá el espaldón aumentado la cota de coronación para ahorrar material, reducir los caudales de rebase y facilitar el acceso al dique. La mayor precaución que se deberá tener en cuenta a la hora de actuar sobre el espaldón es que se hayan producido la mayoría de los asentamientos en el dique para que no se produzcan fallos, puesto que es un elemento rígido y tolera peor las deformaciones.

Entre el manto principal y el núcleo se han de disponer una o varias capas de filtro con materiales granulares que vayan aumentando su tamaño desde las capas interiores hacia las exteriores, evitando que los elementos de menor tamaño salgan expulsados al exterior debido a las corrientes que se producen en los grandes temporales. La condición del filtro se fijará en que la capa inferior tenga un peso que este entre 1/10 y 1/20 del peso de la capa superior. Además los materiales que se usen en estas capas deben ser fiables y garantizar como mínimo una capa granular de filtro. Según la pieza del manto principal será recomendable o no la concertación de la escollera de los filtros para mejorar la adherencia y construir además una berma de pie para asegurar la estabilidad y correcta colocación de las piezas que lo forman.

En nuestra obra como se propone colocar una capa de piezas de manto por encima del dique existente habrá que comprobar que estas piezas se pueden colocar directamente sobre el dique existente o se necesitará aporte de piezas intermedias.

Se estudiarán cuatro posibles soluciones de reparación del dique en talud, que serán:

- Dique con escollera bicapa.
- Dique con cubos bicapa, pero se tendrá en cuenta las capas existentes.
- Dique con Cubípodos monocapa.
- Dique con Cubípodos bicapa

Se ha de tener en cuenta que el coste económico de un gran dique en talud depende de las condiciones físicas y del elemento que formará el manto principal, ya sea un elemento de hormigón (Cubo, Tetrápodo, Cubípodo, Dolo, Xbloc, etc.) o escollera natural, ya que según la forma geométrica se deben cumplir unos patrones de colocación o no y también tendrán un

tamaño distinto debido a su estabilidad hidráulica, modificando los costes económicos en los equipos de manipulación, capas de filtro y consumo de hormigón.

Para determinar las características del dique se deberá:

- 1- Seleccionar la pieza del manto principal.
- 2- Seleccionar el número de capas (si fuese posible).
- 3- Colocación de las piezas.
- 4- Cálculo del peso de los bloques con la fórmula de Hudson:

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

Dónde:

- W: Peso medio de las piezas del manto principal (t).
- H: Altura de ola de diseño (m).
- γ : Peso específico de los elementos del manto (t/m³).
- γ_w : Peso específico del agua de mar (1.025 t/m³).
- α : Ángulo del talud respecto a la horizontal.
- K_D : Coeficiente de estabilidad.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS A ESTUDIO.

2.1. 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 está limitado a 8 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.

2.2. CUBOS.

Pieza masiva con forma cúbica que se utiliza 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 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 aumenta 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.

2.3. 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 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/día. Su manipulación se realiza con pinzas de presión igual que los cubos, en lugar de eslingas como precisa el Acrópodo.

3. DETERMINACIÓN DEL PESO DE LOS ELEMENTOS DE REPARACIÓN DEL MANTO PRINCIPAL Y COMPROBACIÓN DE FILTROS.

3.1. REPARACIÓN MANTO PRINCIPAL.

Utilizando los Coeficientes de Estabilidad publicados en el “Manual del Cubípodo 2015” de Medina y Gómez-Martín se calcula el peso de los elementos del manto para cada tipo de pieza y nº de capas. Haremos el cálculo para un talud 4H:1V, para un 2.1H:1V y para un talud 3H:2V que corresponderían a los taludes de los tramos 2, 3, 4 y 5:

➤ Tramo 2

Material	Nº capas	KD	GAMMA	Cot α	H	W	Espesor
Escollera	2	4	2,65	4	7,44	17,1	3,7
Cubípodo monocapa	1	12	2,35	4	7,44	9,3	1,6
Cubípodo bicapa	2	28	2,35	4	7,44	4,0	2,4
Cubo bicapa	2	6	2,35	4	7,44	18,7	4,0

Tabla I: Cálculo de los elementos del tronco para el tramo 2.

➤ Tramo 4

Material	Nº capas	KD	GAMMA	Cot α	H	W	Espesor
Escollera	2	4	2,65	2,1	7,44	32,6	4,6
Cubípodo monocapa	1	12	2,35	2,1	7,44	17,8	2,0
Cubípodo bicapa	2	28	2,35	2,1	7,44	7,6	3,0
Cubo bicapa	2	6	2,35	2,1	7,44	35,6	4,9

Tabla II: Cálculo de los elementos del tronco para el tramo 4.

➤ Tramo 3 y 5

Material	Nº capas	KD	GAMMA	Cot α	H	W	Espesor
Escollera	2	4	2,65	1,5	7,44	45,6	5,2
Cubípodo monocapa	1	12	2,35	1,5	7,44	24,9	2,2
Cubípodo bicapa	2	28	2,35	1,5	7,44	10,7	3,3
Cubo bicapa	2	6	2,35	1,5	7,44	49,8	5,5

Tabla III: Cálculo de los elementos del tronco para el tramo 3 y 5.

A partir de estos datos ya podemos descartar la utilización de escollera natural debido a que encontrar escollera de más de 6 toneladas resulta bastante difícil si no se recurre a canteras especiales, encareciendo la obra de tal manera que podría llegar a hacerla inviable.

El Cubípodo bicapa vemos que para el **tramo 3 y 5 que es el más limitante** nos daría un gran volumen de piezas de pequeño tamaño, lo que terminaría siendo contraproducente a priori por el mayor gasto de hormigón y necesidad de mayor extensión para acumular piezas y medios para poder cubrir la misma superficie de manto que si se realizasen en una única capa.

Se propone por facilidad de construcción y ahorro económico utilizar en la reparación sólo el peso de la pieza del tramo 3 y 5 puesto que sería el de mayor peso.

3.2. FILTROS.

Para el filtro como ya se comentó en la introducción se deben utilizar materiales competentes y que garanticen al menos una capa granular de filtro, se considera que las capas actuales del manto podrían actuar perfectamente de filtro. En caso de no ser así se podría estudiar colocar una capa de filtro de una pieza de hormigón de un tamaño inferior al manto principal e incluso la utilización de geotextiles. Para nuestro caso tenemos los siguientes espesores y pesos de las piezas del filtro:

➤ Tramo 2

Material	W	Wmin filtro	Wmáx filtro
Escollera	17,1	0,9	1,7
Cubípodo monocapa	9,3	0,5	0,9
Cubípodo bicapa	4,0	0,2	0,4
Cubo bicapa	18,7	0,9	1,9

Tabla IV: Cálculo de los tamaños adecuados del filtro para el tramo 2.

➤ Tramo 4

Material	W	Wmin filtro	Wmáx filtro
Escollera	32,6	1,6	3,3
Cubípodo monocapa	17,8	0,9	1,8
Cubípodo bicapa	7,6	0,4	0,8
Cubo bicapa	35,6	1,8	3,6

Tabla V: Cálculo de los tamaños adecuados del filtro para el tramo 4.

➤ Tramo 3 y 5

Material	W	Wmin filtro	Wmáx filtro
Escollera	45,6	2,3	4,6
Cubípodo monocapa	24,9	1,2	2,5
Cubípodo bicapa	10,7	0,5	1,1
Cubo bicapa	49,8	2,5	5,0

Tabla VI: Cálculo de los tamaños adecuados del filtro para el tramo 3 y 5.

Como se puede apreciar en un principio todo el dique estaría o dentro del intervalo de seguridad o por encima del peso máximo recomendado de filtro. Al estar por encima implica que las piezas que estarán por debajo de la capa o capas que vamos a extender no actuarán solamente como filtro, sino que interactuarán con el manto resistiendo parte de las presiones. Como la escollera y cubos sobre los que se va a colocar la capa estaban pensados para ser manto principal no tendremos ningún problema con esto a priori siempre que se garantice una estabilidad hidráulica adecuada.

4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.

4.1. CRITERIOS ELEGIDOS.

4.1.1. CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES.

Se considerará que la opción más favorable (con menor afección o impacto al medioambiente) será la opción con mayor valoración. El peso que se le ha dado a los factores medioambientales es del 40% del total. Los criterios que se valorarán son:

- 1- Impacto sobre el medio durante la construcción.
- 2- Impacto sobre el medio durante la explotación.

4.1.2. CRITERIOS FUNCIONALES.

Se considerará que la opción más favorable (más conveniente desde el punto estructural) será la opción con mayor valoración. El peso que se le ha dado a los factores funcionales es del 30% del total. Los criterios que se valorarán son:

- 1- Fiabilidad a largo plazo.
- 2- Resistencia estructural.
- 3- Remonte y rebase.

4.1.3. CRITERIOS ECONÓMICOS.

Se considerará que la opción más favorable, económicamente, será la opción con mayor valoración. El peso que se le ha dado a los factores económicos es del 30% del total. Los criterios que se valorarán son:

- 1- Costes en la construcción.
- 2- Costes en el mantenimiento.

4.2. MATRIZ MULTICRITERIO.

		ESCOLLERA	CUBOS	CUBÍPODOS
CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES	1	0,5	0,5	1
	2	1	0,5	0,75
CRITERIOS FUNCIONALES	1	1	0,75	1
	2	1	0,8	1
	3	0,25	0,5	0,75
CRITERIOS ECONÓMICOS	1	0	0,8	1
	2	0,5	0,5	0,75

Tabla VII: Valoración de las alternativas.

	ESCOLLERA	CUBOS	CUBÍPODOS
C. MEDIOAMBIENTALES	1,5	1	1,75
PORCENTAJES	0,35	0,24	0,41
VALORES PONDERADOS	14,12	9,41	16,47
	ESCOLLERA	CUBOS	CUBÍPODOS
C. FUNCIONALES	2,25	2,05	2,75
PORCENTAJES	0,32	0,29	0,39
VALORES PONDERADOS	9,57	8,72	11,70
	ESCOLLERA	CUBOS	CUBÍPODOS
C. ECONÓMICOS	0,5	1,3	1,75
PORCENTAJES	0,14	0,37	0,49
VALORES PONDERADOS	4,23	10,99	14,79
	ESCOLLERA	CUBOS	CUBÍPODOS
TOTAL PONDERADO	27,92	29,12	42,96

Tabla VIII: Resultados obtenidos.

Se observa en los resultados anteriores que la opción más favorable en este caso será la utilización de Cubípodos para la reparación del manto y por tanto será la opción seleccionada. Y se optará por ***Cubípodos monocapa de 25 toneladas para toda la estructura.***