



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de soluciones para la adecuación del dique de abrigo de Port Fòrum (Barcelona)

Presentado por

Folch Ruiz, Alejandro

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2018/2019

Fecha: Septiembre de 2019

Tutora: María Esther Gómez Martín

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº 1. MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

ANEJO 2. ESTUDIOS PREVIOS

ANEJO 3. CRITERIOS GENERALES DEL PROYECTO

ANEJO 4. CLIMA MARÍTIMO Y DINÁMICA LITORAL

ANEJO 5. ENSAYOS CON MODELO FÍSICO DE DIQUE EN TALUD
CON CUENCO AMORTIGUADOR

ANEJO 6. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ANEJO 7. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

ANEJO 8. VALORACIÓN ECONÓMICA

DOCUMENTO Nº 2. PLANOS

PLANO Nº 1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

PLANO Nº 2. PLANTA DE LA SITUACIÓN ACTUAL

PLANO Nº 3. SECCIÓN TIPO DEL DIQUE DE ABRIGO ACTUAL

PLANO Nº 4. SECCIÓN TIPO DE LA ALTERNATIVA B

PLANO Nº 5. SECCIÓN TIPO DE LA ALTERNATIVA C

PLANO Nº 6. SECCIÓN TIPO DE LA ALTERNATIVA D

PLANO Nº 7. SECCIÓN TIPO DE LA ALTERNATIVA E

PLANO Nº 8. SECCIÓN TIPO DEL TRONCO DE LA ALTERNATIVA F

PLANO Nº 9. SECCIÓN TIPO DEL MORRO DE LA ALTERNATIVA F

PLANO Nº 10. PLANTA DE LA ALTERNATIVA F





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADECUACIÓN DEL DIQUE DE ABRIGO DE PORT FÒRUM (BARCELONA)

DOCUMENTO N° 1. MEMORIA Y ANEJOS

Autor: Alejandro Folch Ruiz
Tutora: María Esther Gómez Martín

Valencia, septiembre de 2019

ÍNDICE

1. OBJETO DE ESTUDIO Y ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	3
2. LOCALIZACIÓN	4
3. ANTECEDENTES	5
4. ESTADO ACTUAL	7
5. JUSTIFICACIÓN DE LA OBRA	9
6. ESTUDIOS PREVIOS	11
6.1. BATIMETRÍA	11
6.2. GEOLOGÍA	11
7. CLIMA MARÍTIMO	13
7.1. NIVEL DEL MAR	13
7.2. OLEAJE DE DISEÑO	13
8. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	¡Error! Marcador no definido.
9. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	15
9.1. ALTERNATIVA A: DESMANTELAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO DIQUE DE ABRIGO	15
9.1.1. Descripción	15
9.1.2. Prediseño	15
9.1.3. Estimación de costes	16
9.2. ALTERNATIVA B: RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN	16
9.2.1. Descripción	16
9.2.2. Prediseño	16
9.2.3. Estimación de costes	16
9.3. ALTERNATIVA C: TALUD DE ESCOLLERA	17
9.3.1. Descripción	17
9.3.2. Prediseño	17
9.4. ALTERNATIVA D: TALUD DE CUBOS	18
9.4.1. Descripción	18
9.4.2. Prediseño	18
9.4.3. Estimación de costes	18
9.5. ALTERNATIVA E: TALUD CON CUBÍPODOS	19
9.5.1. Descripción	19
9.5.2. Prediseño	19
9.5.3. Estimación de costes	19
9.6. ALTERNATIVA F: NUEVO CUENCO AMORTIGUADOR CON TALUD DE CUBÍPODOS	20
9.6.1. Descripción	20

9.6.2. Prediseño	20
9.6.3. Estimación de costes	20
9.7. VALORACIÓN FINAL	21
10. SOLUCION ADOPTADA.....	22
11. VALORACIÓN ECONÓMICA.....	25
12. CONTENIDO AUDIOVISUAL.....	26
13. CONCLUSIÓN.....	27

1. OBJETO DE ESTUDIO Y ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El puerto deportivo Port Fòrum está situado al norte de Barcelona, en el término municipal de Sant Adrià de Besòs. Este puerto se construyó para el Fórum Universal de las Culturas, en el año 2004, y desde entonces sufre problemas de agitación interior y rebase.

Por un lado, la finalidad del presente estudio de soluciones es la optimización, definición, justificación y valoración económica de las obras de adecuación del puerto deportivo Port Fòrum.

Por otro lado, el objetivo principal del estudio es plantear la solución adecuada para poner fin a los problemas de rebase que afectan al puerto deportivo. Esta solución, determinada por la reconversión del dique vertical existente, aspira a mejorar el puerto para hacerlo más seguro frente al oleaje y atraer a un mayor número de clientes a sus instalaciones.

El presente trabajo está organizado en dos documentos. En primer lugar, se presenta la memoria, donde se explicarán brevemente los aspectos más importantes. La memoria estará acompañada por los anejos, en los que se desarrollarán más a fondo los aspectos definidos en la memoria. En segundo lugar, aparecen los planos, que representarán gráficamente y en detalle tanto el puerto actual como las diferentes alternativas que se planteen.

2. LOCALIZACIÓN

El puerto deportivo Port Fòrum se situa en la costa mediterránea, en el término municipal de Sant Adrià de Besòs. Al norte del puerto se encuentra la desembocadura el rio Besòs.

Sant Adrià de Besòs es una localidad de Cataluña localizado en la comarca del Barcelonés, entre Barcelona (al sur) y Badalona (al norte). Cuenta con 36.669 habitantes según los datos del Instituto Nacional de Estadística del año 2018.

La imagen siguiente sirve para ubicar el puerto respecto a las diferentes localidades que lo rodean.



Figura 1. Ubicación de Port Fòrum.

Además, las coordenadas del puerto son las siguientes:

Localización del puerto	
Latitud	41° 24.9' N
Longitud	2° 13.7' E
Carta náutica	489

Tabla 1. Localización del puerto.

3. ANTECEDENTES

Port Fòrum es un puerto de carácter deportivo, que fue construido para el *Fòrum Universal de las Culturas* de 2004. La obra del puerto fue promovida por la empresa *Barcelona de Infraestructures Municipals, Bimsa*, que en ese mismo año delegó la construcción del dique a *Europrincipia*.



Figura 2. Vista aérea de Port Fòrum. Al fondo la ciudad de Barcelona.

Como se ha dicho anteriormente, desde su puesta en servicio, el puerto sufre dos problemas: agitación interior y rebases.

En cuanto a la agitación interior, la orientación sur de la bocana junto con la forma triangular del puerto provoca que las corrientes provenientes del sur entren directamente y generen fuertes oleajes entre los muelles que causan daños a las embarcaciones.

Para solucionar este problema, se han llevado a cabo varias actuaciones:

- En enero de 2009, el puerto reforzó el lado interior del dique mediante la colocación de escollera.
- En mayo de 2010 se reforzó el contradique de cubos de hormigón situado en la bocana.

En cuanto a los rebases, cuando se producen temporales el oleaje procedente del este presenta unas tasas de rebase importantes debido a la baja coronación del dique de abrigo. Como consecuencia, en enero de 2017, el fuerte oleaje que se produjo por el temporal dañó el dique vertical, produciendo la caída de 5 tramos del espaldón interior de 10 m cada uno.



Figura 3. Rotura de sendos tramos del espaldón interior del dique de abrigo. Fuente: elPeriódico.

Por lo tanto, desde la construcción de Port Fòrum hasta la actualidad, se han presentado inconvenientes que no se han solucionado completamente. Esto afecta principalmente a los usuarios del puerto, que se quejan de que sus amarres se rompen constantemente cuando hay viento de poniente y de que los barcos chocan entre sí por los movimientos descontrolados del oleaje. Coinciden en elogiar su diseño y la modernidad de sus instalaciones, pero consideran que se han obviado cálculos básicos de ingeniería.

Finalmente, respecto a la actividad comercial, en los últimos años diversos comercios han cerrado y actualmente las instalaciones comerciales del puerto están infrautilizadas, quedando un 35% de los metros cuadrados destinados a actividad comercial disponibles.

Para obtener más información, se debe consultar el *Anejo 1. Antecedentes y estado actual*.

4. ESTADO ACTUAL

Port Fòrum está dotado en la actualidad de una buena oferta de instalaciones y servicios. A continuación, se exponen los aspectos más importantes de esta oferta.

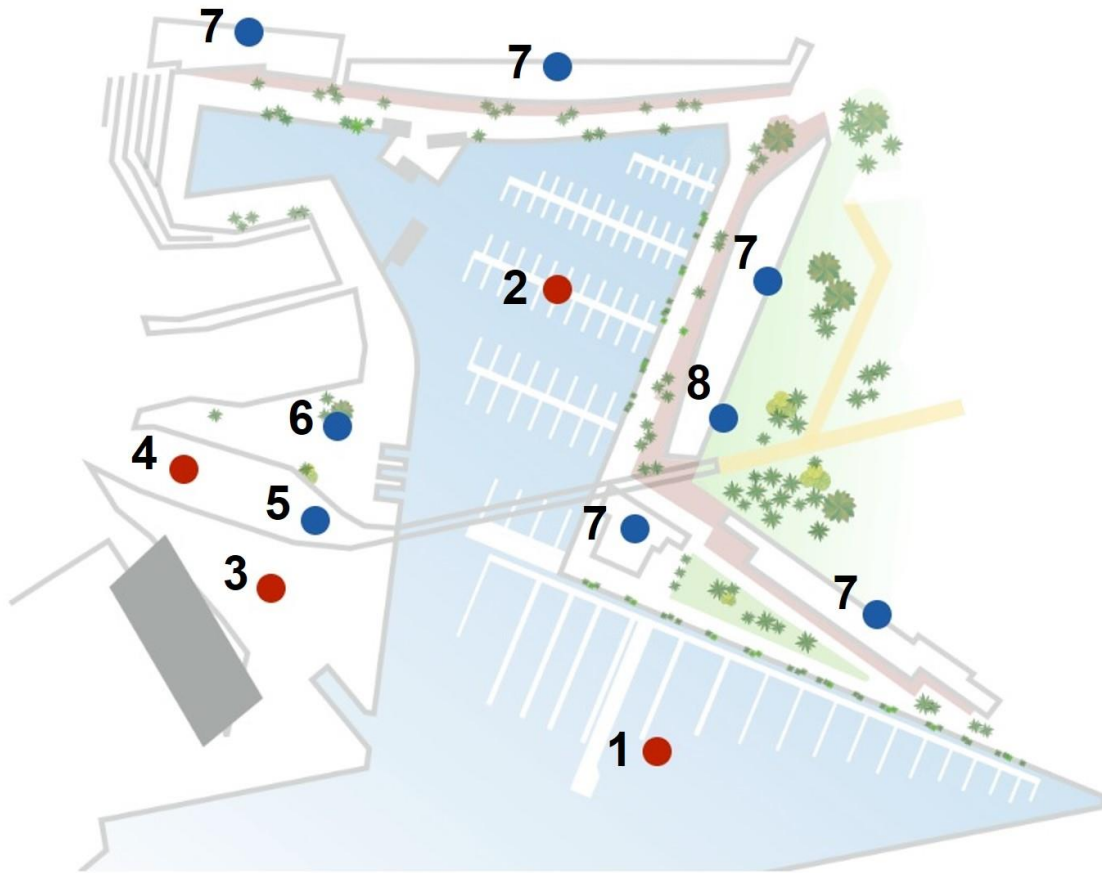
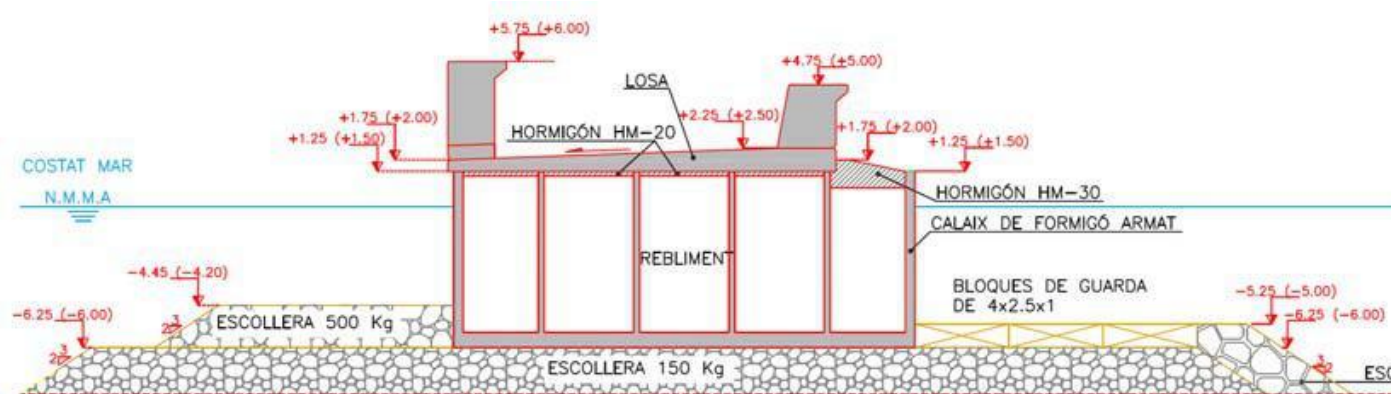


Figura 4. Instalaciones del puerto deportivo. Fuente: Port Fòrum (www.portforum.com).

- **Dársena exterior (1):** cuenta con un pantalán de uso exclusivo con 31 amarres para embarcaciones de hasta 80 m
- **Dársena interior (2):** dispone de 210 amarres para embarcaciones de 10 a 25 m de eslora distribuidos en 5 pantalanes de acceso restringido.
- **Marina seca (4 y 6):** tiene capacidad para 245 embarcaciones de hasta 10 m de eslora y motos de agua, siendo la marina seca más grande de Cataluña. Permite un varado en seco y a cubierto, que minimiza el mantenimiento de su embarcación al protegerla de las principales causas de desgaste y deterioro como son el sol, el salitre y las incrustaciones.
- **Área Técnica (3):** con una superficie de 6.290 m² destinados al mantenimiento y reparación de embarcaciones. El varadero posee un Travelift de 150 TM y foso para embarcaciones de hasta 35 m de eslora y 7,5 m de manga. Además, cuenta con un muelle de espera de 105 m de longitud, donde amarrar las embarcaciones y donde se realizan, a flote, trabajos puntuales de mantenimiento. Finalmente, el área técnica cumple con todas las medidas medioambientales requeridas: recogida selectiva de basuras, recogida de residuos especiales, aspirador de aguas de sentinas, etc.

- **Capitanía (5)**
- **Zona comercial (7):** con una superficie de 18.300 m².
- **Parking (8):** el puerto dispone de más de 1.200 plazas de parking, varias de ellas reservadas para personas con movilidad reducida.

En cuanto a las obras de abrigo, como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad el puerto tiene un dique de abrigo vertical de 770 m con doble espaldón, que funciona a modo de cuenco amortiguador. Posee desagües a lo largo del espaldón interior para evacuar el agua que rebasa el espaldón exterior. Está construido aproximadamente sobre la batimétrica - 7 m y la cota de coronación del espaldón exterior e interior es +5 m y + 6 m respectivamente.



- Figura 5. Sección tipo del dique de abrigo de Port Fòrum.

Para obtener más información, se debe consultar el *Anejo 1. Antecedentes y estado actual*.

5. JUSTIFICACIÓN DE LA OBRA

A pesar de contar con una amplia variedad de instalaciones y servicios, durante los últimos 10 años la actividad comercial de Port Fòrum ha sido prácticamente nula. Además, han ocurrido varios eventos que no han ayudado al desarrollo del puerto, como la rotura del espaldón interior del dique de abrigo como consecuencia de los fuertes temporales o un incendio que acabó con varias embarcaciones. En cambio, en el año 2017 el 90 % de los 249 amarres estaban contratados, según la información de *elPeriódico*.

Como se ha mencionado anteriormente, hay dos problemas principales que sufre el puerto desde su puesta en servicio. Por un lado, los rebases que sufre el dique de abrigo en épocas de temporales que afectan a la dársena exterior y, por otro lado, la agitación interior. Por lo tanto, los clientes del puerto están descontentos y lamentan que los barcos sufren las consecuencias del mal diseño de las obras de abrigo del puerto.

A continuación, se muestran varias imágenes que ejemplifican la situación expuesta anteriormente. Dichas imágenes corresponden al temporal que azotó las costas de Barcelona a finales de enero de 2017.



Figura 6. Rebase en Port Fòrum.



Figura 7. Rebase en Port Fòrum.



Figura 8. Rebase en Port Fòrum.

Así pues, esta situación pone de manifiesto la necesidad de intervenir para solventar los problemas con el objetivo de hacer un puerto la altura de sus instalaciones y servicios, más seguro y atractivo que motive la llegada de un mayor número de clientes.

6. ESTUDIOS PREVIOS

Para comenzar a realizar el diseño de las diferentes alternativas del dique de abrigo de Port Fòrum, hay que analizar diferentes aspectos relativos a las condiciones del entorno del puerto: principalmente la topografía, batimetría, geología y geotecnia.

Es importante señalar que, al tratarse de un trabajo académico, no se disponen de medios para realizar detalladamente estos estudios.

Toda la información se encuentra en el *Anejo 2. Estudios previos*.

6.1. BATIMETRÍA

La batimetría ofrece la profundidad del fondo marino en la zona objeto de estudio. Es una información indispensable para poder determinar a qué profundidad se encuentra el dique de abrigo existente o para comprobar si es necesario realizar alguna operación de dragado.

La figura siguiente muestra en azul la zona que se encuentra aproximadamente a 7 m de profundidad o menos. Se considera que los valores de profundidad que ofrecen están referidos al cero de la Red de Mareógrafos de Puertos del Estado (REDMAR).

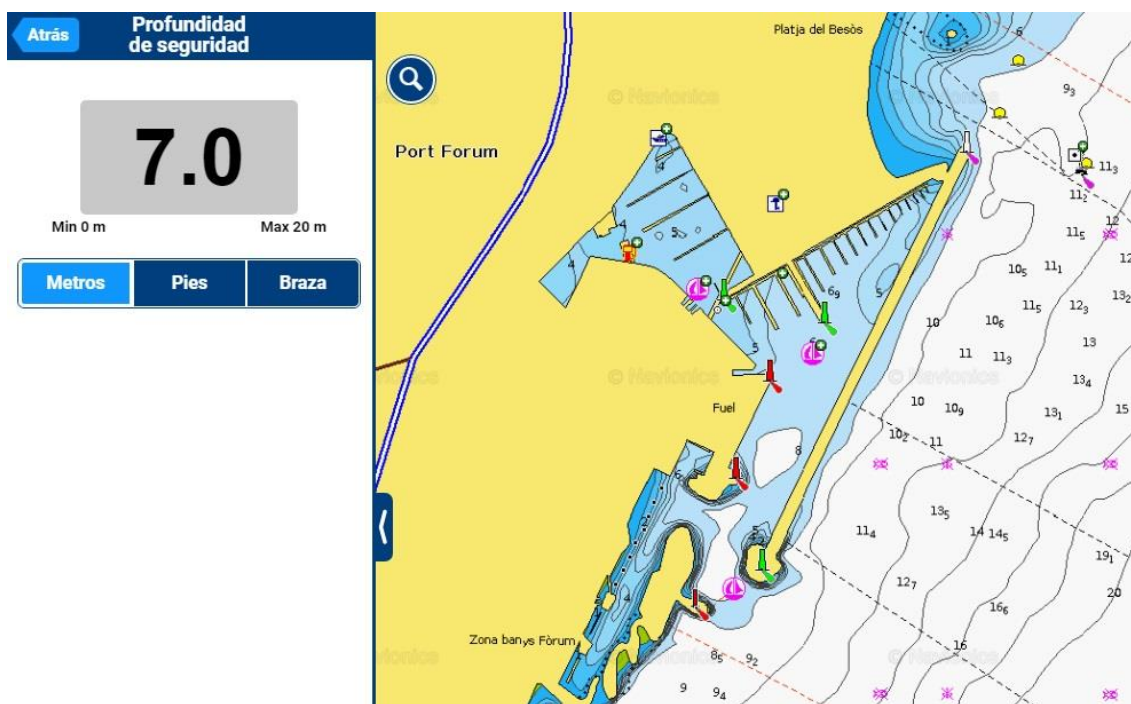


Figura 9. Batimetría de Port Fòrum. Fuente: Navionics.

6.2. GEOLOGÍA

La descripción geológica está detallada en la hoja 35 del Mapa Geológico de la Margen Continental y Zonas Adyacentes a escala 1:200.000, publicado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en 1989. A continuación, se muestra una imagen ampliada de dicho mapa geológico sobre el municipio de Sant Adrià de Besòs y sus alrededores.

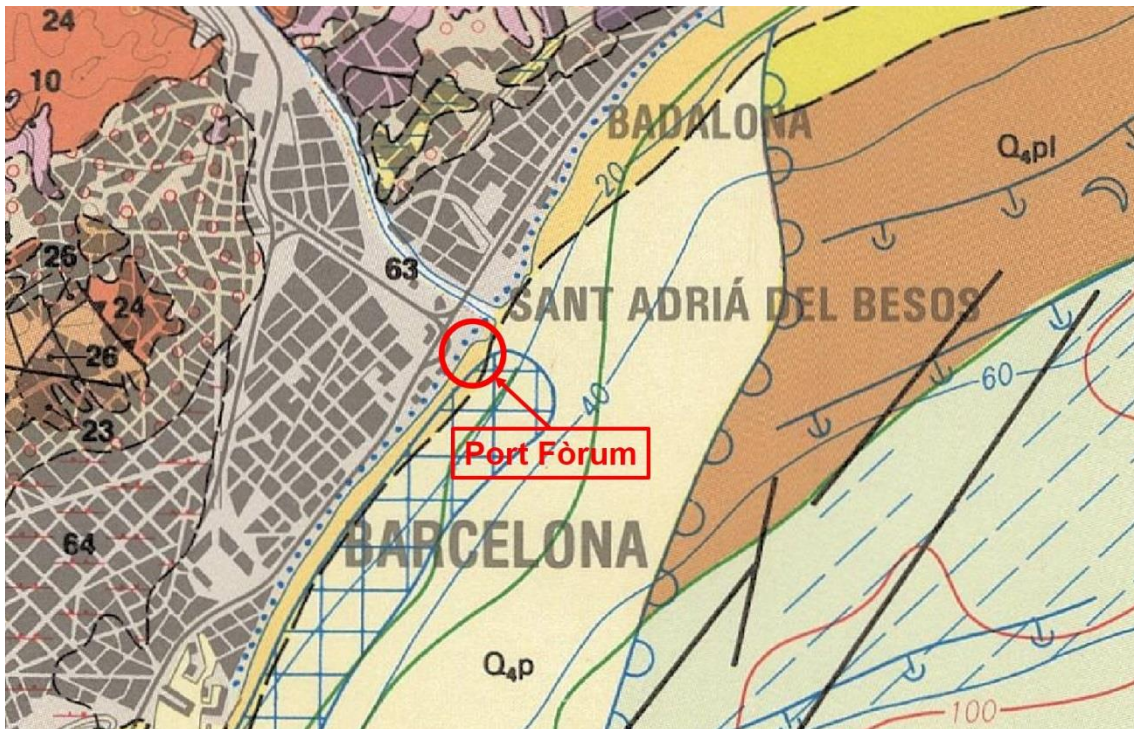


Figura 10. Geología del municipio de Sant Adrià de Besòs y alrededores. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España.

El dique no está a mucha distancia de la línea de costa y el fondo marino es de material sedimentario fino (arena).

7. CLIMA MARÍTIMO

El desarrollo de la caracterización del oleaje que afectará a Port Fòrum es determinante en el diseño de la adecuación de la obra de abrigo. Además, se tendrá en cuenta el aumento futuro del nivel del mar debido al cambio climático. Todos los datos necesarios y actualizados se encuentran en la página web de *Puertos del Estado*.

En este caso, se usará la información de la Boya de Barcelona II, la Boya de Tarragona y el Mareógrafo de Barcelona 2, que corresponden a las estaciones activas más cercanas al puerto objeto de estudio.

En el *Anejo 4. Clima marítimo y dinámica litoral*, se encuentra el desarrollo completo.

7.1. NIVEL DEL MAR

Es relevante determinar una profundidad a pie de dique para poder realizar una propagación de oleaje desde aguas profundas hasta la profundidad determinada. Por lo tanto, es importante establecer un cero de referencia, considerar la máxima pleamar y añadir un aumento del nivel del mar que afecte a la vida útil del puerto.

Esta tabla resume las consideraciones que se han realizado para obtener una profundidad máxima a pie de dique y un nivel del mar de cálculo.

Profundidad a pie de dique (REDMAR)	7 m
Máximo nivel observado (REDMAR)	0,99 m
Aumento del nivel del mar (cambio climático)	0,5 m
PROFUNDIDAD MÁXIMA A PIE DE DIQUE	8,49 m

Tabla 2. Estimación de la profundidad máxima a pie de dique.

7.2. OLEAJE DE DISEÑO

Para determinar una altura de ola significativa en aguas profundas que posteriormente se pudiera propagar hasta la profundidad determinada anteriormente se utilizó el *Informe de Extremos Máximos de Oleaje por Direcciones de la Boya de Barcelona II* porque se trata de la dirección más frecuente y la que produce una mayor altura de ola.

La tabla siguiente muestra los resultados más importantes tras realizar la propagación de oleaje.

OLEAJE DE DISEÑO		
Dirección de procedencia	Este	
Altura de ola significativa (<i>Boya de Barcelona II</i>)	H_s (m)	9,70
Periodo medio	T_m (s)	11,61
Calado máximo (<i>pie de dique</i>)	d_{max} (m)	8,50
Altura de ola significativa (<i>pie de dique</i>)	H_s^* (m)	6,60
Rotura del oleaje	Por fondo	

Tabla 3. Oleaje de diseño.

8. ENSAYOS CON MODELO FÍSICO DE DIQUE EN TALUD CON CUENCO AMORTIGUADOR

En el Laboratorio de Puertos y Costas de la *Universitat Politècnica de València* se llevaron a cabo los ensayos enmarcados dentro del proyecto nacional ESBECO (*EStabilidad hidráulica del manto, BErmas y COronación de diques en talud con rebase y rotura por fondo*).

Este proyecto es de gran interés para este estudio de soluciones porque en la fase 2 se llevaron a cabo ensayos de dique en talud con cuenco amortiguador. Se ensayaron dos modelos con configuraciones diferentes, los cuales han servido para el diseño de la *Alternativa F* de este estudio.

A continuación, se muestran ambas secciones de cuenco amortiguador ensayadas.

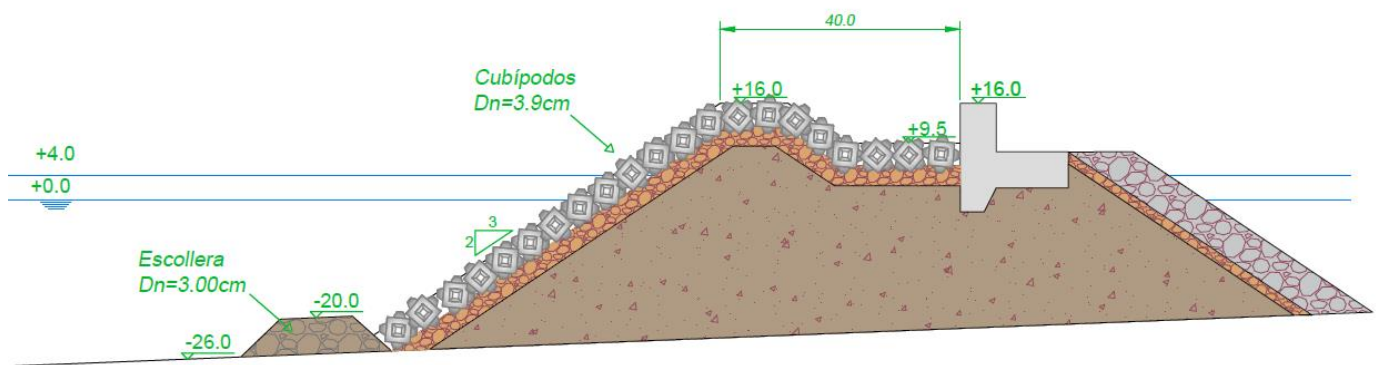


Figura 11. Sección tipo del dique en talud con tipología de cuenco amortiguador de la Configuración manto monocapa de Cubípodos ($3 \cdot D_n$ en berma coronación). Cotas en cm.

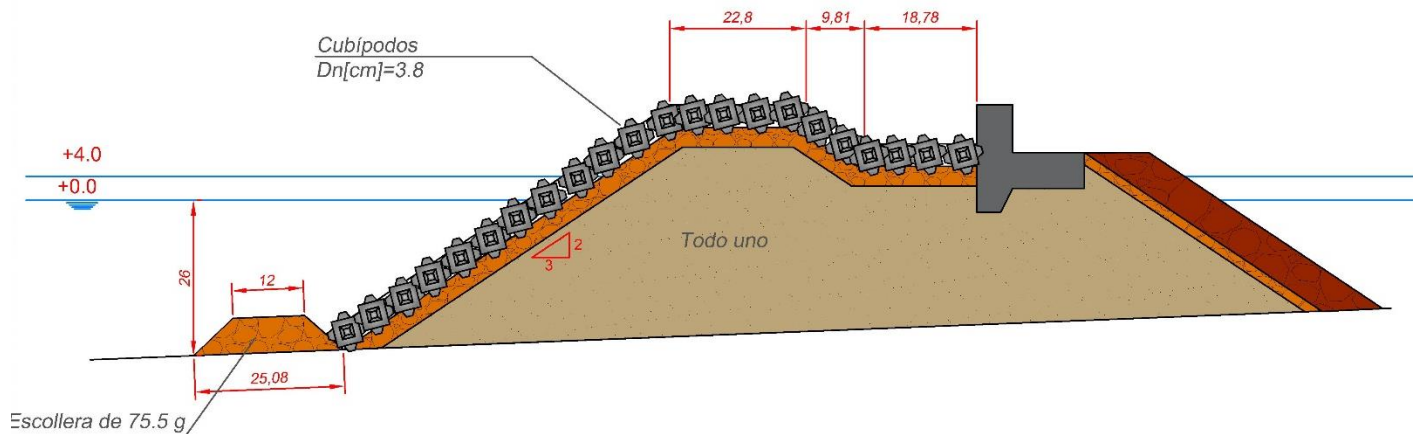


Figura 12. Sección tipo del dique en talud con tipología de cuenco amortiguador de la Configuración manto monocapa de Cubípodos ($6 \cdot D_n$ en berma de coronación). Cotas en cm.

En el Anejo 5. *Ensayos con modelo físico de dique en talud con cuenco amortiguador* está detallado todo el proceso para llevar a cabo los ensayos, así como los resultados.

9. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Es imprescindible valorar diferentes alternativas para poder tomar una decisión adecuada. En el *Anejo 6. Estudio de alternativas* se realiza en primer lugar una descripción del dique existente y la tipología de cuenco amortiguador.

Posteriormente se lleva a cabo un análisis completo de cada alternativa, consistente en:

- Descripción breve de la tipología y características
- Prediseño básico
- Estimación de costes, incluyendo el presupuesto de ejecución material y el presupuesto de licitación
- Valoración en la que intervienen criterios económicos, ambientales, funcionales y estéticos

9.1. ALTERNATIVA A: DESMANTELAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO DIQUE DE ABRIGO

9.1.1. Descripción

Esta alternativa consiste en la construcción de un nuevo dique de abrigo en Port Fòrum, que conlleva el desmantelamiento del dique vertical existente. Para evitar el cierre temporal del puerto durante la construcción, se establecería una nueva alineación del dique que serviría de ampliación del puerto. Posteriormente ya se podría retirar el dique vertical.

9.1.2. Prediseño

Tras realizar un prediseño gráfico muy básico, se ha determinado que sería necesaria la construcción de aproximadamente 1.300 m de un nuevo dique de abrigo para Port Fòrum.



Figura 13. Figura 12. Imagen del aspecto de la Alternativa A.

9.1.3. Estimación de costes

Para esta alternativa no se va a realizar una estimación de costes porque no se pretende dismantelar el dique y construir uno nuevo al tratarse de un puerto relativamente nuevo (2004). En cambio, sí que se realizará una valoración.

9.2. ALTERNATIVA B: RECRECIMIENTO DEL ESPALDÓN

9.2.1. Descripción

Esta segunda alternativa se basa en el aumento de la cota de coronación del espaldón exterior del dique de abrigo de Port Fòrum, al menos a la misma cota que el espaldón interior, para no reducir la visibilidad. Para llevar a cabo esta solución, habría que demoler el espaldón exterior y construir uno nuevo, de mayores dimensiones.

9.2.2. Prediseño

Se plantea el recrecimiento del espaldón exterior a la misma cota que el espaldón interior. Esto supone el aumento de 1 m de altura y 2,60 m² de sección del espaldón exterior, manteniendo unas dimensiones proporcionales.

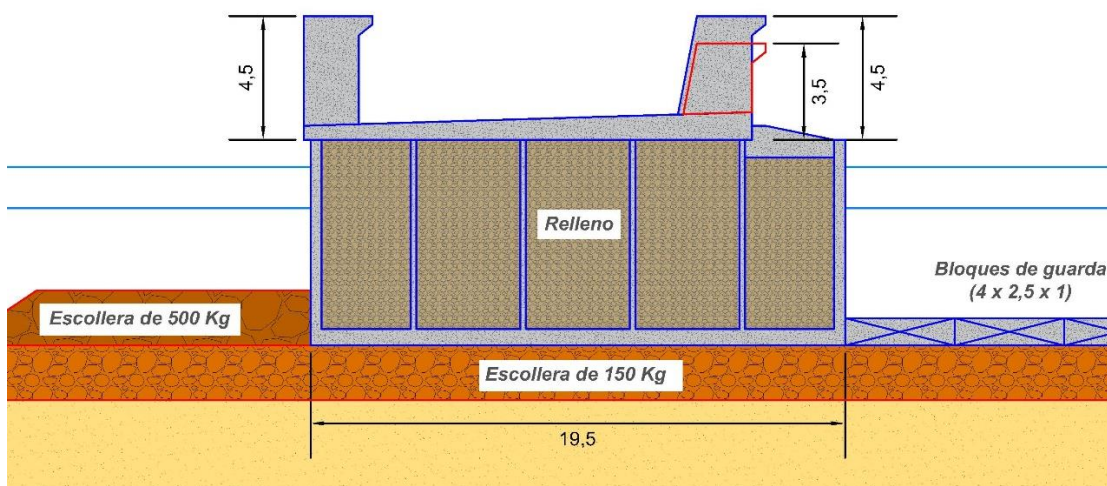


Figura 14. Sección tipo de la Alternativa B. Cotas en metros.

9.2.3. Estimación de costes

Las principales unidades de obra son la demolición de espaldón exterior antiguo y la construcción de uno nuevo de mayores dimensiones. El coste estimado de la alternativa B es 2.500.000 €.

9.3. ALTERNATIVA C: TALUD DE ESCOLLERA

9.3.1. Descripción

La alternativa C consiste en el refuerzo del dique vertical mediante la colocación de un talud de dos capas de escollera con el correspondiente relleno. La idea es mantener el dique existente con el cuenco amortiguador, pero provocando que las olas rompan directamente en el talud de escollera, reduciendo así el rebase.

9.3.2. Prediseño

En el prediseño se determinó que el peso de la escollera debería ser de 32 toneladas, y esta alternativa quedó descartada porque las canteras normales proporcionan escollera de hasta 6 toneladas, haciendo inviable la posibilidad de encontrar escollera de 32 toneladas. Por lo tanto, no se realizará ni estimación de costes ni valoración de esta alternativa.

De todas formas, seguidamente se muestra una imagen de la sección tipo del tronco del dique reforzado con un talud de dos capas de escollera.

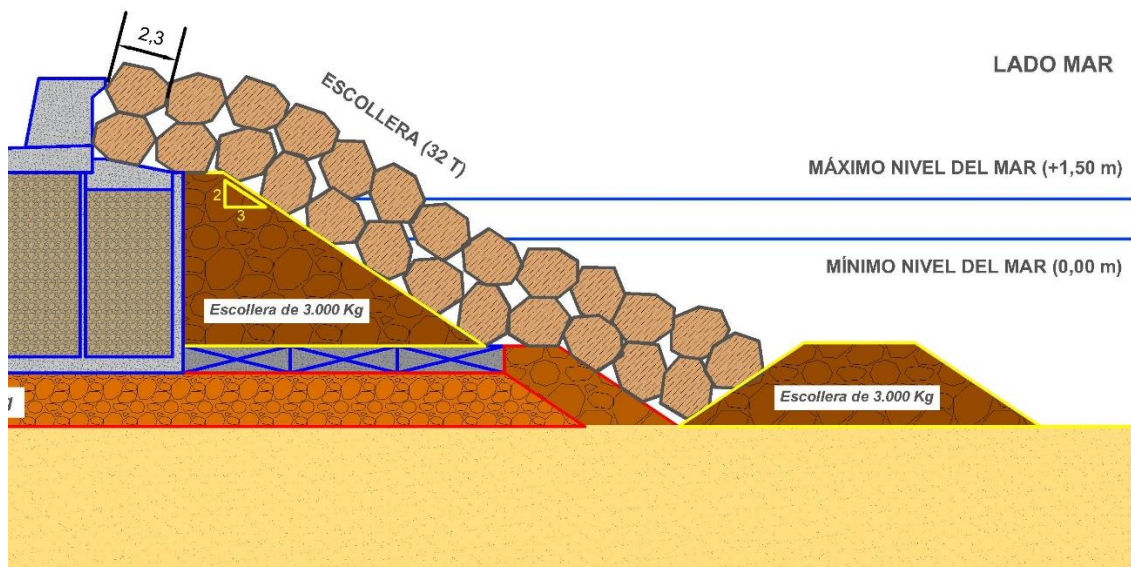


Figura 15. Sección tipo de la Alternativa C. Cotas en metros.

9.4. ALTERNATIVA D: TALUD DE CUBOS

9.4.1. Descripción

Esta alternativa consiste en el refuerzo del dique vertical mediante la colocación de un talud de elementos prefabricados de hormigón, en este caso con el manto exterior formado por dos capas de cubos con el correspondiente relleno. La idea es mantener el dique existente con el cuenco amortiguador, pero provocando que las olas rompan directamente en el talud de cubos, reduciendo así el rebase.

9.4.2. Prediseño

Esta alternativa se basaría en el refuerzo del dique de abrigo con un talud bicapa de cubos de 42 toneladas sobre escollera de 3 toneladas que actúa de como capa de filtro y núcleo. Además, los cubos se apoyan en una berma de escollera de 4 toneladas.

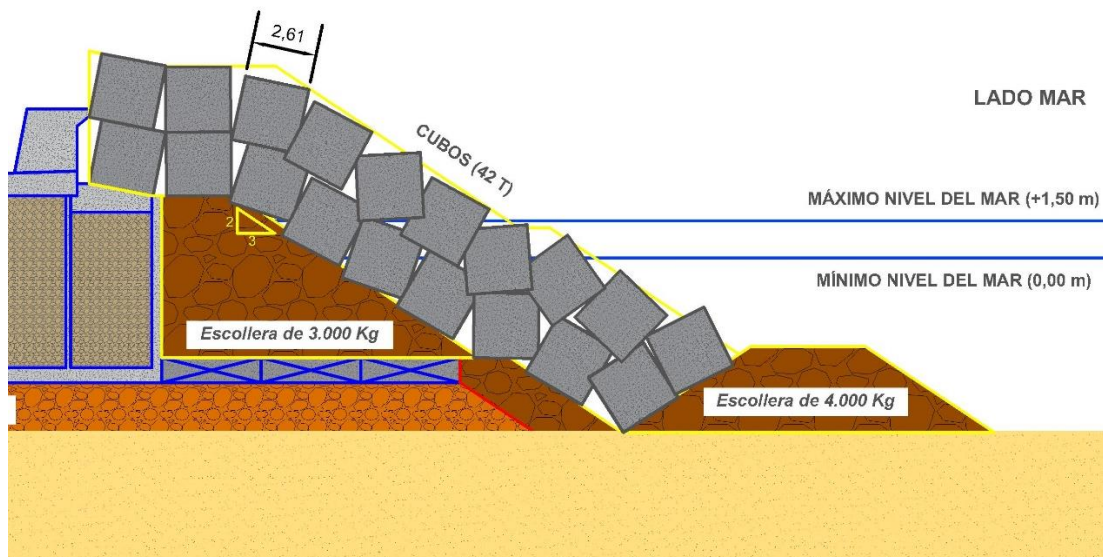


Figura 16. Sección tipo de la alternativa D. Cotas en m.

9.4.3. Estimación de costes

Se obtiene un coste aproximado de 33.000.000 €.

9.5. ALTERNATIVA E: TALUD CON CUBÍPODOS

9.5.1. Descripción

La alternativa E consiste en el refuerzo del dique vertical mediante la colocación de un talud de elementos prefabricados de hormigón, en este caso el manto exterior formado por una capa de cubípodos en el tronco del dique y dos en el morro. La idea es mantener el dique existente con el cuenco amortiguador, pero provocando que las olas rompan directamente en el talud de cubípodos, reduciendo así el rebase.

9.5.2. Prediseño

Esta alternativa se basa en el refuerzo del dique de abrigo con un manto monocapa de cubípodos de 18 toneladas sobre escollera de 2 toneladas que actúa como capa de filtro y núcleo. Además, los cubípodos se apoyan en una berma de pie de escollera de 3 toneladas.

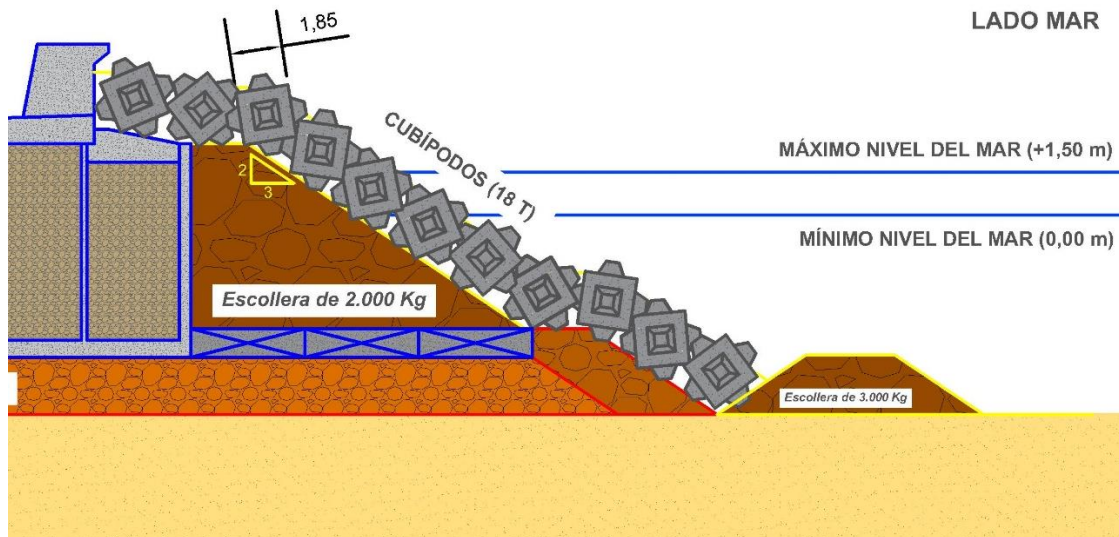


Figura 17. Sección tipo de la alternativa E. Cotas en metros.

9.5.3. Estimación de costes

Se obtiene un coste aproximado de 17.000.000 €.

9.6. ALTERNATIVA F: NUEVO CUENCO AMORTIGUADOR CON TALUD DE CUBÍPODOS

9.6.1. Descripción

La alternativa F consiste en el refuerzo del dique vertical mediante la colocación de un talud de elementos prefabricados de hormigón: un manto exterior formado por una capa de cubípodos en el tronco del dique y dos en el morro. Además, se pretende crear un nuevo cuenco amortiguador que se situaría delante del dique existente. De esta manera se podría demoler el espaldón interior y formar un dique transitable para los visitantes del puerto que haría más atractivas sus instalaciones. Este es el aspecto positivo que diferencia esta alternativa del resto.

9.6.2. Prediseño

Esta alternativa consistirá principalmente en el refuerzo del dique de abrigo con un manto monocapa de cubípodos de 18 toneladas sobre escollera de 2 toneladas como capa de filtro y un núcleo de material todo uno de peso comprendido entre 5 kg y 100 kg. Además, los cubípodos se apoyan en una berma de escollera de 3 toneladas.

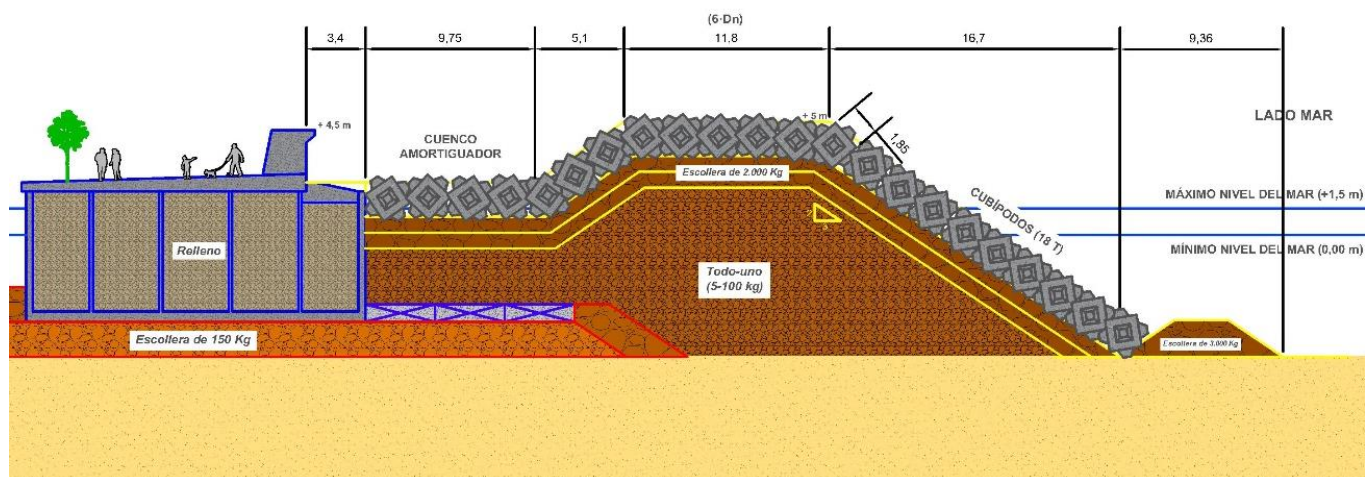


Figura 18. Sección tipo de la Alternativa F. Cotas en m.

9.6.3. Estimación de costes

Se obtiene un coste aproximado de 33.500.000 €.

9.7. VALORACIÓN FINAL

La siguiente tabla muestra los valores asignados a cada uno de los diferentes elementos del manto en función de los criterios.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS						
CRITERIOS	A	B	C	D	E	F
Económicos	2	4	0	3	4	2
Ambientales	4	4	0	2	4	3
Funcionales	2	2	0	3	4	5
Estéticos	5	3	0	2	3	5

Tabla 4. Valoración de cada alternativa.

Finalmente, se multiplica cada uno de los valores de la tabla anterior por el coeficiente de ponderación correspondiente, obteniéndose así la matriz multicriterio definitiva que permitirá elegir la mejor alternativa.

VALORACIÓN FINAL						
CRITERIOS	A	B	C	D	E	F
Económicos	6	12	0	9	12	6
Ambientales	12	12	0	6	12	9
Funcionales	10	10	0	15	20	25
Estéticos	20	12	0	8	12	20
TOTAL	48	46	0	38	56	60

Tabla 5. Valoración final del conjunto de alternativas.

Finalmente, se determina que la mejor solución para la reforma del dique de abrigo es la *Alternativa F*, consistente en la creación de un nuevo cuenco amortiguador delante del dique existente con un manto de cubípodos.

Para ver el desarrollo de la solución definitiva se debe consultar en *Anejo 7. Desarrollo de la solución adoptada*, donde se realiza un diseño más detallado de la *Alternativa F*, tanto en los morros como en el tronco del dique, y se validan las dimensiones del cuenco amortiguador diseñado.

10. SOLUCION ADOPTADA

En el Anejo 7. *Desarrollo de la solución adoptada* se lleva a cabo un proceso de diseño detallado de la *Alternativa F: Refuerzo del dique actual mediante la creación de un nuevo cuenco amortiguador con talud de cubípodos y la demolición del espaldón interior*, elegida anteriormente.

Seguidamente se ofrecerán los aspectos más importantes del diseño. En cuanto a la tipología, se trata de un dique peculiar que tendrá tres partes: dos morros y un tronco. Debido a la peculiaridad del caso, el cuenco amortiguador y la transición son las partes más complejas del diseño. La tipología de cada una de las partes se presenta en la siguiente tabla.

PK		TIPOLOGÍA
0+000 m	0+010 m	Refuerzo del dique con un manto bicapa de cubípodos (30 t)
0+010 m	0+760 m	Refuerzo del dique con un cuenco amortiguador formado por un manto monocapa de cubípodos (18 t)
0+760 m	0+770 m	Refuerzo del dique con un manto bicapa de cubípodos (30 t)

Tabla 6. Resumen de la distribución de tipologías.

A continuación, la figura representa la distribución de las secciones representativas, así como el origen y el final de los puntos kilométricos.

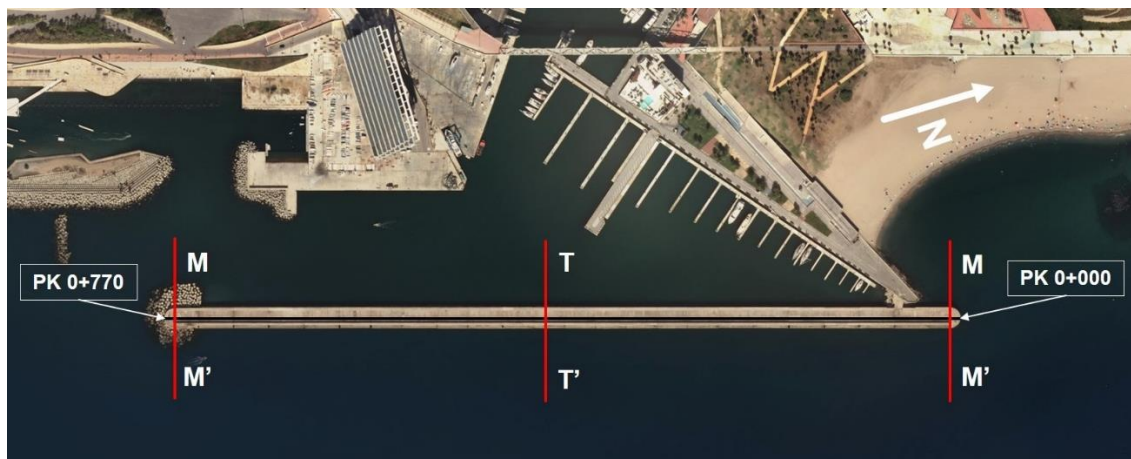


Figura 19. Secciones representativas y puntos kilométricos.

En cuanto al tamaño y los elementos de cada una de las capas del refuerzo del dique, las siguientes tablas presentan un resumen en relación al tronco y los morros del dique de abrigo.

TRONCO				
Parte	Capas	Elemento	Peso (kg)	D _n (m)
Manto principal	1	Cubípedo	18.000	1,97
Filtro	2	Escollera	2.000	0,91
Núcleo	-	Todo-uno	5 - 100	-
Berma de pie	-	Escollera	3.000	1,04

Tabla 7. Resumen del tamaño de los elementos en el tronco.

MORRO				
Parte	Capas	Elemento	Peso (kg)	D _n (m)
Manto principal	2	Cubípodo	30.000	2,34
Filtro	2	Escollera	2.000	0,91
Núcleo	-	Todo-uno	5 - 100	-
Berma de pie	-	Escollera	3.000	1,04

Tabla 8. Resumen del tamaño de los elementos en el morro del dique.

Respecto a las diferentes secciones, se pretende mostrar cada una de ellas con sus dimensiones. La figura posterior presenta la sección representativa del tronco con las dimensiones validadas del cuenco amortiguador, basadas en el modelo de cuenco amortiguador con una berma de coronación de ancho igual a 6·D_n del proyecto ESBECO, descrito en el Anejo 5. Ensayos con modelo físico de dique en talud con cuenco amortiguador.

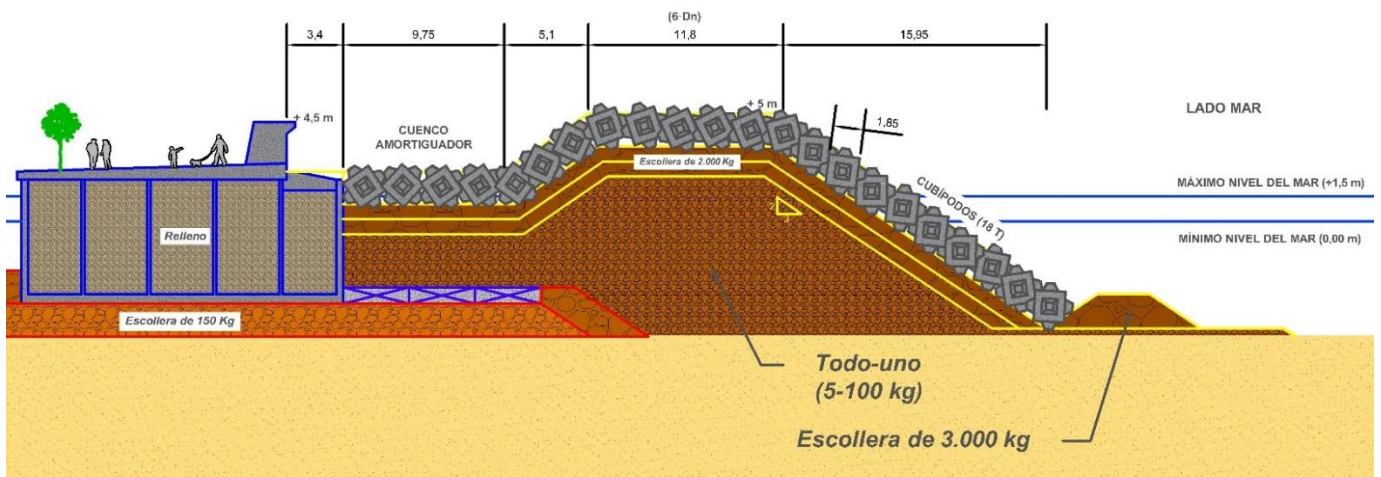


Figura 20. Sección representativa del tronco.

La figura siguiente muestra la sección representativa del morro del dique. En el lado mar, los cubípodos se colocan para que no haya ningún salto en el manto principal al cambiar de tipología entre el tronco y el morro. En el lado puerto del morro sur, los cubos se mantienen, pero en el morro norte habrá que trasladarlos.

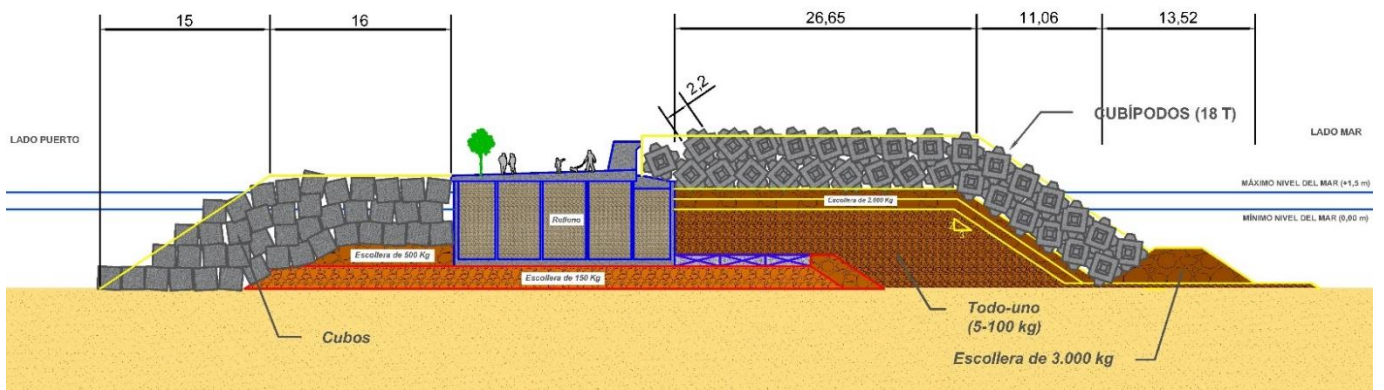


Figura 21. Sección representativa del morro.

Finalmente, se muestra una planta de la solución adoptada, donde se indican las tres partes del dique con su tipología. Además, se propone desplazar el contradique para mantener las dimensiones iniciales de la bocana, que se reducirían 10 m tras llevar a cabo la ejecución de la obra.

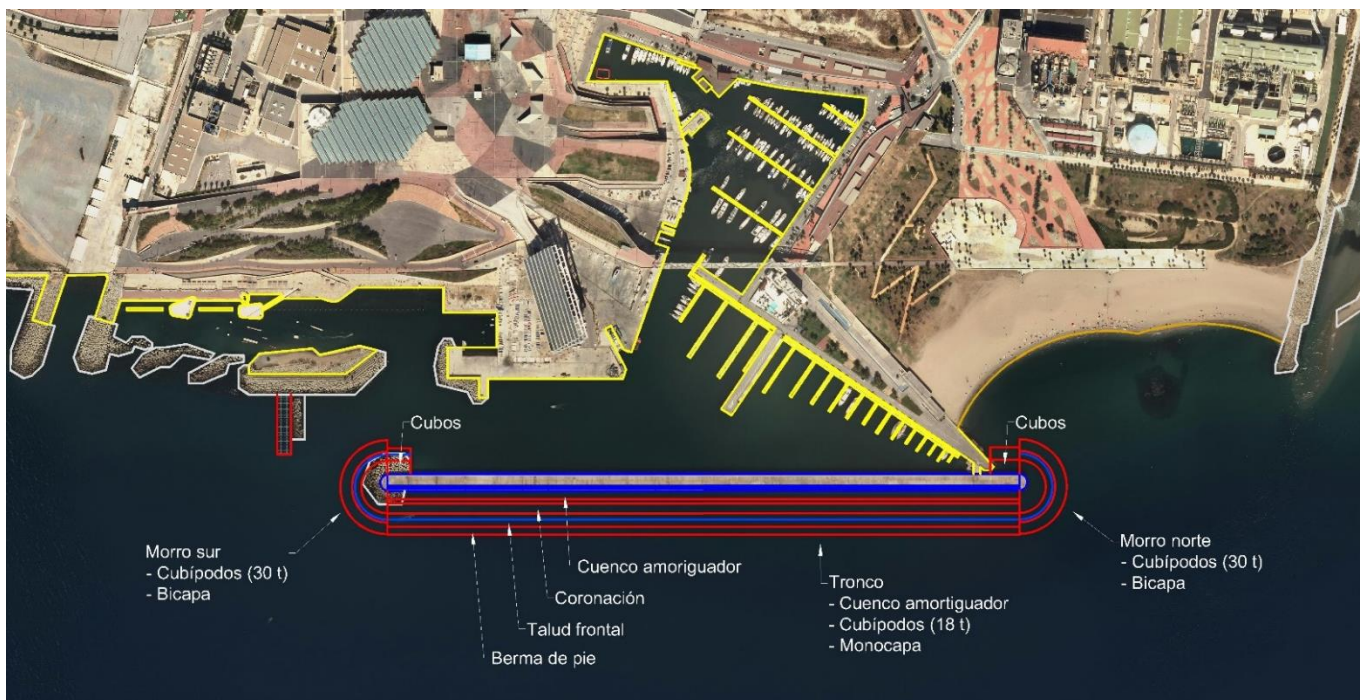


Figura 22. Planta de la solución definitiva.

Para consultar más información de la solución definitiva, consultar el Anejo 7. Desarrollo de la solución adoptada.

11. VALORACIÓN ECONÓMICA

En primer lugar, se presenta una tabla con el coste de cada uno de los capítulos de la solución elegida anteriormente y el consiguiente presupuesto de ejecución material.

CAPÍTULO		IMPORTE (€)
1	ACTUACIONES PREVIAS	7.000,00
2	DEMOLICIONES	7.893.174,24
3	OBRAS DE ABRIGO	24.180.922,72
4	JARDINERÍA Y MOBILIARIO	6.850,00
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (€)		32.087.946,96

En segundo lugar, la tabla siguiente ofrece los gastos añadidos al presupuesto de ejecución material y el presupuesto de licitación.

GASTOS			IMPORTE (€)
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)			32.087.946,96
Gastos Generales (GG)	16	% (s/PEM)	5.134.071,51
Beneficio Industrial (BI)	6	% (s/PEM)	1.925.276,82
PEM + GG + BI			39.147.295,29
I.V.A.	21	% (s/PEM + GG + BI)	8.220.932,01
PRESUPUESTO DE LICITACIÓN (€)			47.368.227,30

La solución adoptada tendrá un coste aproximado de 50.000.000 €. La diferencia principal que ha encarecido el coste respecto al valor obtenido en el apartado 9.6.3. es la unidad de obra relativa al movimiento de los cubos para recolocarlos en otras posiciones, que tiene un coste de unos 7.500.000 €.

Para ver en detalle todas las unidades de obra consideradas, su medición y su coste, se debe acudir al *Anejo 8. Valoración económica*.

12. CONTENIDO AUDIOVISUAL

Hay dos vídeos que se adjuntan con este documento que ofrecen la magnitud de los rebases durante los temporales que afectaron a Port Fòrum en enero de 2017.

13. CONCLUSIÓN

Tras realizar el estudio y haber analizado todas las alternativas consideradas, la solución adoptada definitivamente solucionará el problema de rebase que afecta a Port Fòrum desde su construcción. Además, con el refuerzo del contradique con una parte de los cubos sobrantes del morro se espera que se reduzca el problema de la agitación interior.

Por otra parte, el dique será transitable y dispondrá de mobiliario urbano para que las personas puedan ir a dar un paseo y sentarse en uno de los bancos que se colocarán a lo largo del dique. Por lo tanto, el puerto deportivo añadirá un nuevo atractivo a sus instalaciones y se espera fomentar la llegada de nuevos clientes, comercios y eventos a Port Fòrum, que en los últimos años había sufrido el cierre de varios locales y el descontento por parte de los clientes.

En definitiva, con el estudio desarrollado se dará una nueva dimensión a Port Fòrum que servirá de empujón para su consolidación como un punto de interés cultural para Sant Adrià de Besòs y Barcelona.

Autor: Alejandro Folch Ruiz



Valencia, septiembre de 2019