



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**Estudio de soluciones para la mejora del dique del Este del puerto de
Barcelona (España).**

Presentado por

Carlos Martínez Martín

Para la obtención del

Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Curso: 2017/2018

Fecha: 07/09/2018

Tutora: M^a Esther Gómez Martín

ÍNDICE GENERAL

INDICE

DOCUMENTO N°1 MEMORIA.....	1
ANEXO 1: REPORTAJE FOTOGRÁFICO Y ESTADO PREVIO	14
ANEXO 2: CLIMA MARÍTIMO	32
ANEXO 3: DIAGNOSIS DE LOS DAÑOS Y TRAMIFICACIÓN	47
ANEXO 4: ESTUDIO DE LAS PIEZAS DEL MANTO PRINCIPAL.....	65
ANEXO 5: CÁLCULO DE LAS OBRAS DE ABRIGO	74
ANEXO 6: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO Y PROGRAMA DE OBRAS	90
ANEXO 7: PRESUPUESTO.....	97
DOCUMENTO N°2 PLANOS	119

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

Tabla de contenido

1.	OBJETO DEL ESTUDIO Y ORGANIZACIÓN DEL TFM.	1
2.	LOCALIZACIÓN.....	2
3.	ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL.....	3
4.	DATOS DE PARTIDA.....	4
I.	TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA	4
II.	INSPECCIÓN SUBMARINA.....	4
III.	ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....	4
5.	ESTUDIO DE LAS AVERÍAS.....	5
I.	TRAMO 1:	5
II.	TRAMO 2:	6
III.	TRAMO 3:	7
IV.	TRAMO 4:	7
V.	TRAMO 5:	8
6.	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS.....	9
I.	TRAMO 1:	9
II.	TRAMO 2:	9
III.	TRAMO 3, 4 Y 5:.....	9
7.	PLAZO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.....	10
8.	PRESUPUESTO	11
9.	Conclusiones.....	12
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	13

1. OBJETO DEL ESTUDIO Y ORGANIZACIÓN DEL TFM.

El objeto del estudio de soluciones es la definición, justificación, optimización y valoración económica de las obras de reparación en la zona de abrigo del puerto comercial de Barcelona junto a la regeneración de un tramo del paseo, junto al restablecimiento de los servicios afectados.

Uno de los objetivos del estudio es comparar la solución tradicional del manto principal con una solución innovadora, utilizando piezas especiales de hormigón que permite reducir el consumo de materiales, la huella energética y de carbono, aumentando a su vez la seguridad durante su vida útil.

El TFM se ha centrado en estudiar la solución de las obras de abrigo que permita mantener el servicio y se integre de una manera adecuada en el conjunto de las obras ya existentes.

Se ha decidido organizar en una memoria con anejos de cálculos para que la memoria resulte más liviana y unos planos para representar de manera gráfica los resultados del estudio.

2. LOCALIZACIÓN

El estudio se llevará a cabo sobre el dique Este del Puerto de Barcelona, puerto marítimo español, situado en el noreste de la península ibérica bañado por el mar Mediterráneo.

Está situado entre la nueva desembocadura del río Llobregat y el barrio de La Barceloneta en la ciudad de Barcelona. La gestión de este pertenece a la Autoridad Portuaria de Barcelona, perteneciente a Puertos del Estado.

Las coordenadas serían:

- Latitud: 41°20'49.68" Norte.
- Longitud: 2°10'23.06" Este.

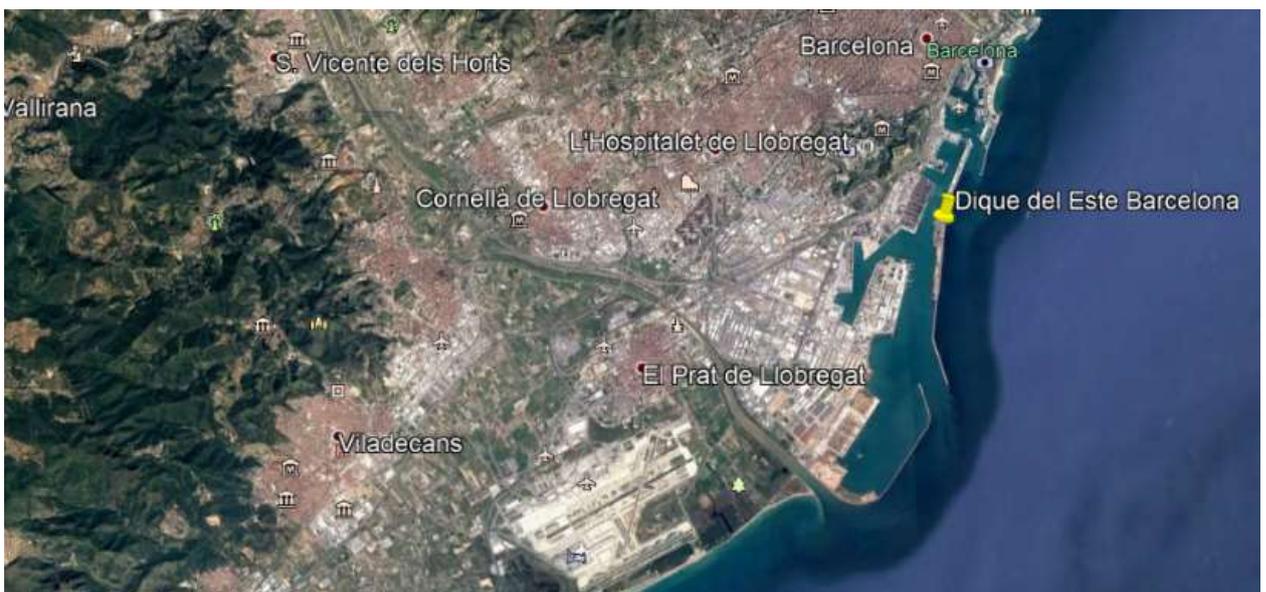


Imagen 1 : Localización de la actuación

3. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

El Dique objeto del estudio es un dique de abrigo paralelo a la costa con más de 5 kilómetros de longitud, teniendo como funciones principales configurar la forma del puerto y generar aguas abrigadas para el desarrollo del puerto.

En otoño de 2008 el Puerto de Barcelona terminó las obras de construcción de la prolongación del dique Este, aumentando la longitud en 2 km. Esta obra junto a la del Dique Sur ha permitido la creación de una nueva dársena y unos espacios que permitirán ampliar la operativa del puerto. El emplazamiento del Dique del Este antiguo (el existente antes del inicio de las obras de prolongación) se muestra en la siguiente figura:

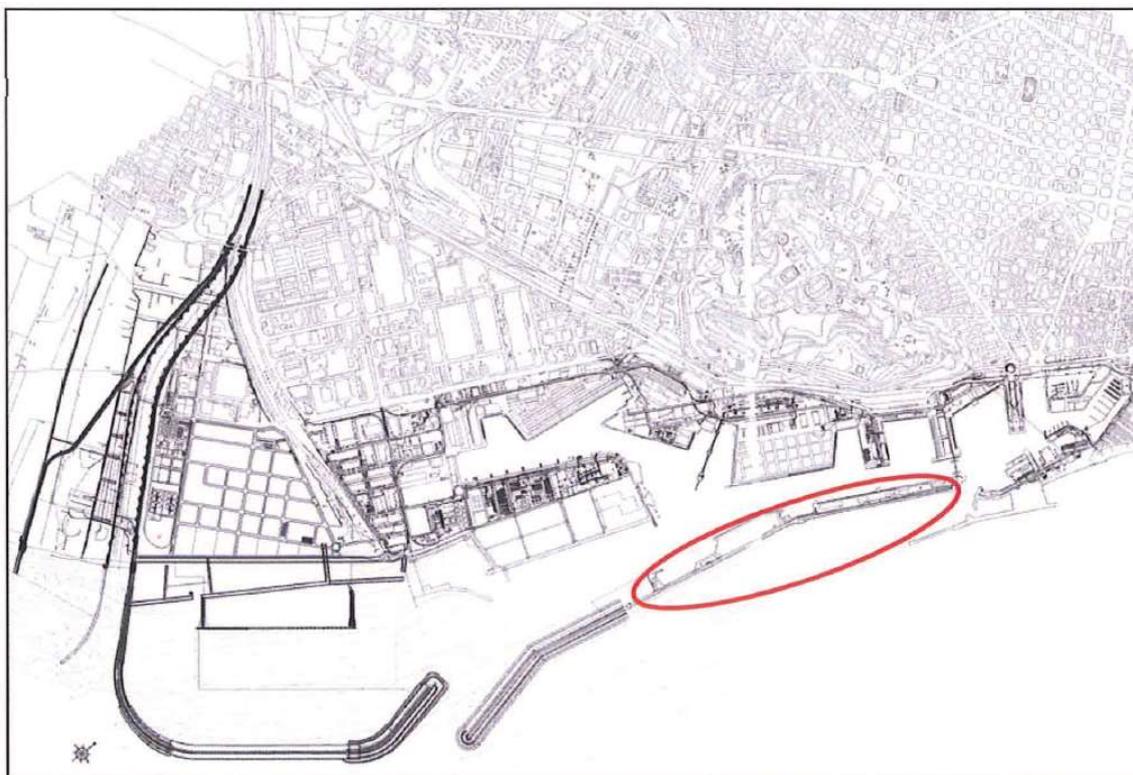


Imagen 2 : Emplazamiento del dique del Este antiguo

Los distintos temporales a los que ha hecho frente a lo largo de la historia han provocado una progresiva degradación en toda la estructura (se pueden encontrar daños tanto en el filtro, manto y espaldón de algunas secciones). El conjunto de estas averías ha ocasionado un deterioro en las condiciones de explotación de las distintas áreas del muelle adosado al dique (ahora con mayor frecuencia de rebases) así como un detrimento del Factor de Seguridad frente a averías.

Por todo ello, la Autoridad Portuaria de Barcelona (APB) consideró necesario la realización de un estudio de diagnóstico del estado actual del Dique Este Antiguo así como la redacción de un Proyecto Constructivo asociado que permita licitar las obras de mejora del Dique Este antiguo. En abril de 2009, Europrincipia fue adjudicataria del concurso para los “Trabajos de diagnóstico y redacción del proyecto de mejora del dique del Este antiguo”.

4. DATOS DE PARTIDA

I. TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

- Para la definición topográfica del puerto se han utilizado listados de puntos de la base de datos de la autoridad portuaria de Barcelona (Ministerio de Fomento). Con la herramienta de Autocad Civil3D estos datos se podían transformar en distintas capas obteniendo así una cartografía base de los elementos del puerto.
- Para la definición de la batimetría se utilizó el estudio de prospección mediante sonda multihaz y el estudio geofísico mediante tomografía eléctrica de la empresa Tecnoambiente. Estos datos junto a cartas nauticas de Navionics nos permiten obtener las curvas con suficiente precisión.

II. INSPECCIÓN SUBMARINA

Para conocer explicar mejor el estado real en el que se encuentra el manto y filtro del dique, además de lo que ocurre con las piezas de protección del manto se utilizará la información que se obtuvo de inspecciones submarinas por la empresa CIOMAR S.L.

De él podemos extraer que las zonas más afectadas son las cotas bajas (entre 4 y-8 metros), la aparición de una playa de arena al pie de los diques afectando al calado y que gran parte del manto ha salido rodando, quedando depositado al pie del dique he incluso desapareciendo, dejando cavernas en el mismo y el filtro descubierto.

III. ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Por último, los datos tanto geológicos como geotécnicos se extraerán de la información obtenida de las campañas geotécnicas que había realizado la empresa CGS Igeotest Marina a finales de 2007 y principios de 2008.

En el anexo N°1 se puede encontrar fotografías del estado previo a las obras de reparación junto con las notas recogidas de la inspección submarina.

Con la información previa se han generado planos de planta, batimetría, morfología del terreno y las secciones teóricas que deberían encontrarse según los proyectos y obras previas.

5. ESTUDIO DE LAS AVERÍAS

El dique se ha dividido en distintos tramos ya que debido a su longitud presenta distintas averías y necesidades bastante distintas entre los tramos, en el **anexo 3** se explica con mayor detalle las problemáticas a las que se pretende dar solución, aquí haremos un breve resumen por los tramos en los que se divide que podemos ver a continuación:

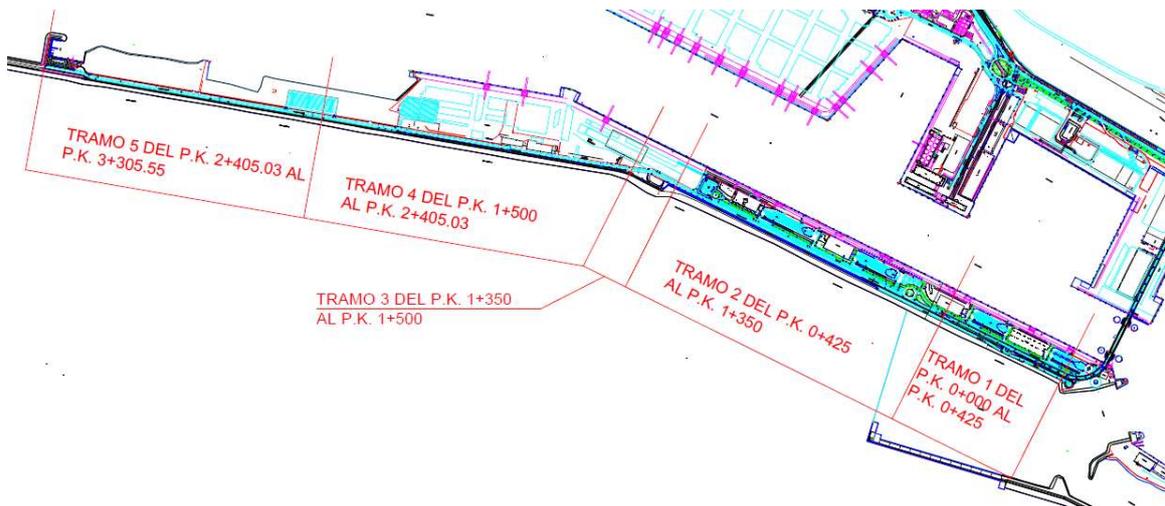


Imagen 3: división por tramos de la obra según las secciones y problemática.

I. TRAMO 1:

Con una longitud de 450 metros, está formado por un talud 3H:1V de escolleras de 6t. Dicha protección fue ejecutada en los años 50 por encima de la protección original, que estaba formada por una mezcla de hormigón y escolleras gruesas.

La coronación de este tramo se encuentra alrededor de la +8.50m.

La construcción de una obra de protección al norte de esta genera la acumulación de material frente a la sección haciendo que el fondo del dique eleve su cota hasta la -6.00 metros.

Esta sección no presenta averías ni rebases destacables (puntualmente alguna pérdida de escollera y la deposición en el fondo de nuevo material). En consecuencia, **en este proyecto no se considera ninguna actuación para este tramo.**

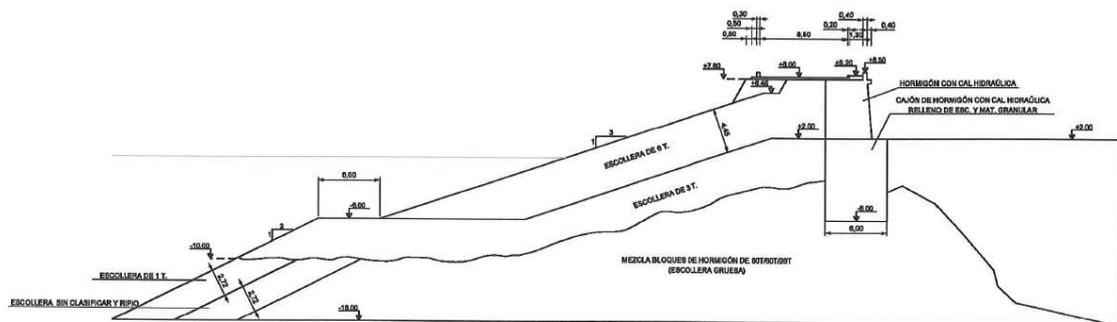


Imagen 4: sección teórica del tramo 1.

II. TRAMO 2:

Con una longitud de 900 metros y formado por un talud 4H:1V de escolleras de 9t y su coronación se encuentra alrededor de la cota +8.50SNMM.

Como el tramo 1 la escollera se ejecuto en los años 50 por encima de la sección original, formando una mezcla de bloques de hormigón y escolleras gruesas.

En este tramo se aprecia cómo se atenúa la influencia del dique situado al norte, el tramo comienza con una profundidad a pie de dique de -6.00 metros y progresivamente va aumentando llegando a su máxima profundidad (-15.00 metros) en el P.K. 1+350.

Del mismo modo ocurre con los daños, puesto que en la primera parte no se presentan averías ni rebases destacables, pero a partir del P.K. 0+700 empiezan a aparecer rebases importantes, roturas del pavimento (previsiblemente por la supresión del oleaje) y por ultimo daños en la terminal marítima D por efecto de los rebases.



Imagen 5: daños en el pavimento de la sección 2

No se detecta zonas con importante falta de material ni derrames de escollera del talud. No obstante, en la inspección submarina se detectan cavernas en el talud a partir del P.K. 1+200 y a partir de este una importante erosión del pie, haciendo incorrecto el apoyo del manto principal.

Por todo ello se propone reparar la zona del paseo marítimo, generando una nueva plataforma elevada y la reparación puntual de las zonas con falta de material o necesidad de recolocación del mismo.

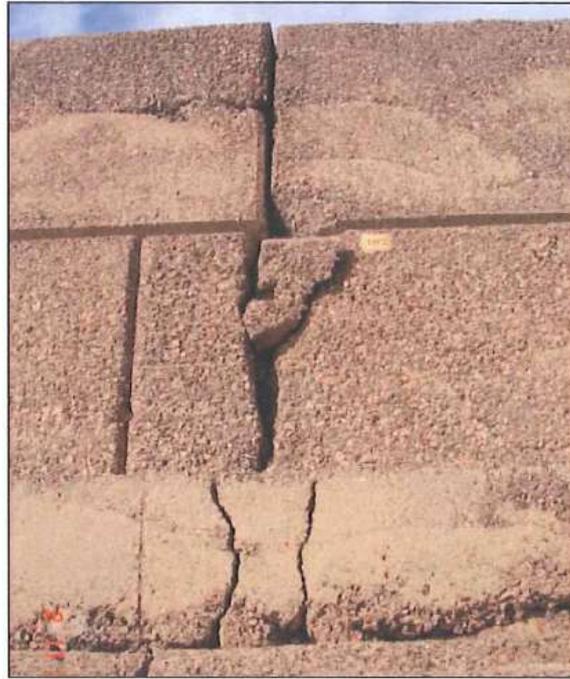


Imagen 7: Fisura vertical en el espaldón en el P.K. 2+310

Por todo ello **se propone generar una berma de pie con escollera de 8 toneladas que sirva de apoyo para generar al menos una capa por encima de la sección de Cubípodos de 25 toneladas** como indica el anexo 5. Además, se debería reparar las fisuras del espaldón.

V. TRAMO 5:

Su longitud es de 901 metros, fue construido en los años 70 y su sección característica está definida por una configuración de bloques de 80 toneladas (4m x 3m x 2.8m) en talud 3H:2V hasta la profundidad -8.00 metros. Debajo de está capa encontramos un pie de escollera de 3.5t hasta la cota -12.50 metros y después escolleras de 8t hasta el fondo que se encuentra a una profundidad de -20.00 metros.

La cota de coronación del espaldón es la +12.80 metros, pero ha sufrido un asiento en algunas zonas de hasta 1.9 metros.

Al igual que en el tramo 4, el manto de bloques de hormigón es monocapa pudiéndose apreciar el filtro. Se contabilizan en este tramo hasta 179 bloques caídos (7.2%) y una falta de material destacable en toda la sección con respecto a la teórica.

Dichas averías parecen indicar que el pie de escollera de 3.5 toneladas en la cota -8.00 metros no ha sido suficientemente estable, perdiendo parte de este y provocando la pérdida de apoyo de los bloques de hormigón. Además, la pérdida de material a su vez provoca que el espaldón reciba mayor presión de la que se pensó en su diseño.

Por todo ello **se propone generar una berma de pie con escollera de 8 toneladas que sirva de apoyo para generar al menos una capa por encima de la sección de Cubípodos de 25 toneladas** como indica el anexo 5. Además, se debería reparar las fisuras del espaldón.

6. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

I. TRAMO 1:

No es necesario realizar ninguna actuación de reparación en dicho tramo.

II. TRAMO 2:

Se contemplan dos actuaciones:

- **Ejecución de un nuevo paseo y remodelación de las zonas.** Dichas obras consisten en demoler el pavimento, acera y mueretes existentes y generar una nueva estructura y plataforma que corone en la cota +11.20 metros con un ancho libre a la cota +10.00 de 5.20 metros. **De esta forma se evitan rebases como está calculado en el anexo 5 de obras de abrigo.**
- **Generar una nueva berma de pie de 8 toneladas y la colocación puntual de Cubípodos de 25 toneladas en las zonas despobladas o con inestabilidad.**

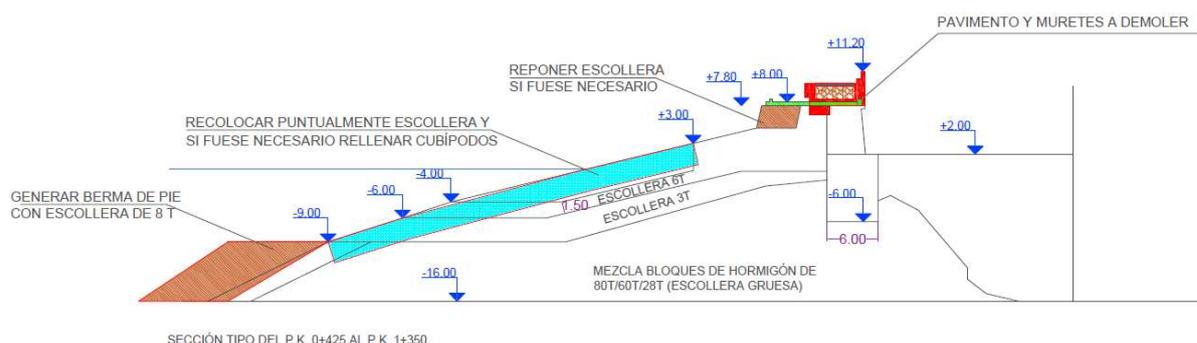


Imagen 8: sección de reparación en el tramo 2

III. TRAMO 3, 4 Y 5:

Se contemplan dos actuaciones:

- **Reparación del espaldón en las zonas que lo requieran por rotura.**
- **Generar una nueva berma de pie de 8 toneladas y la colocación de un manto monocapa de Cubípodos de 25 toneladas en todo el tramo con un talud 3H:2V**

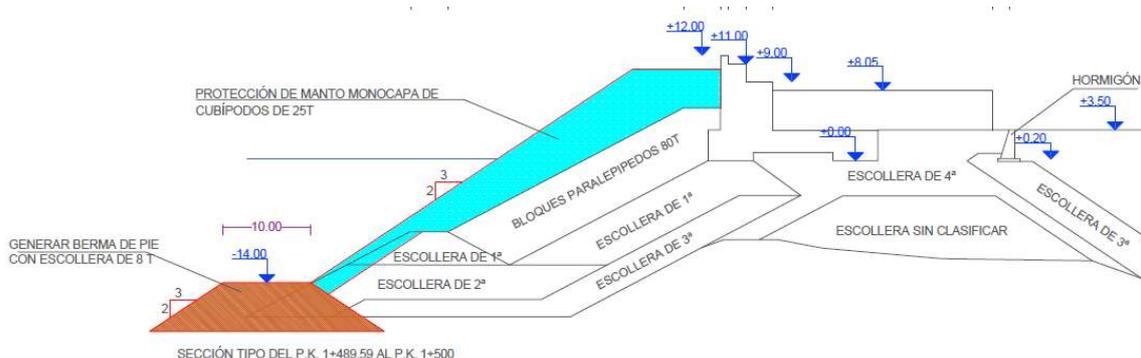


Imagen 9: sección de reparación con un manto de Cubípodos de 25 toneladas en la menos 1 capa

7. PLAZO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

El plazo de ejecución según detalla el anexo 6 sería de 51 semanas.

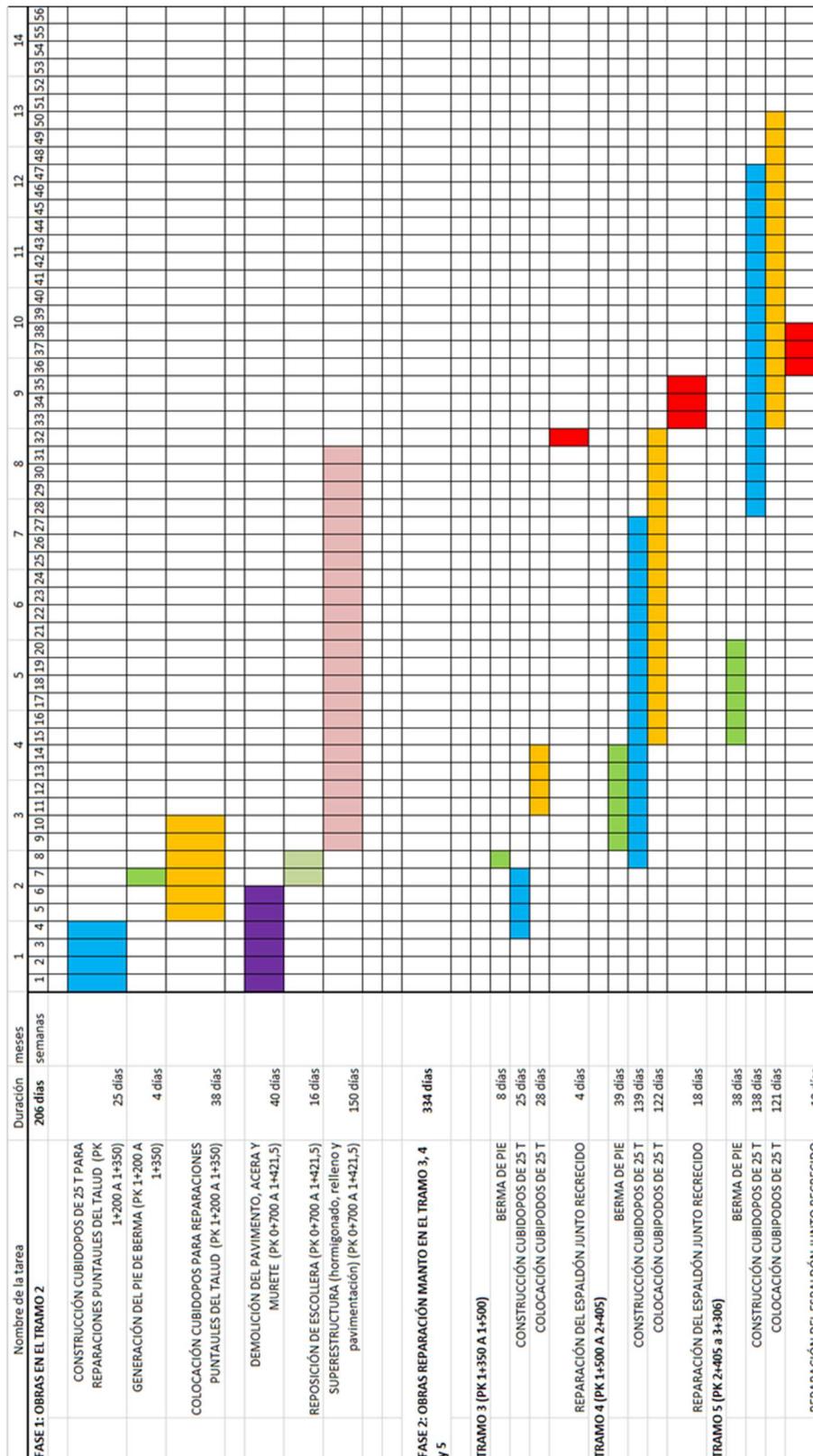


Imagen 10: Diagrama de Gantt teórico

8. PRESUPUESTO

El presupuesto de Ejecución Material de las obras incluidas en el presente estudio según el **anexo 7** asciende a treinta y ocho millones quinientos sesenta y seis mil quinientos sesenta y seis euros con once céntimos (38 566 566.11€)-

Aplicándole un 17% de gastos generales, un 6% de beneficio industrial y el 21% de IVA tenemos un presupuesto de licitación de cincuenta y siete millones trescientos noventa y ocho mil seiscientos veinte euros con treinta y cinco céntimos (57 398 620.35€).

El presupuesto de ejecución material será	38.566.566,11€
17% de gastos generales	6.556.315,24€
6% de beneficio industrial	2.313.993,97€
<hr/>	
Total	47.436.876,32€
21% IVA	9.961.744,03€
<hr/>	
El presupuesto de licitación será	57.398.620,35€

9. Conclusiones

De acuerdo con lo expuesto en la presente memoria, sus anejos y los planos que componen el estudio “Estudio de soluciones para la mejora del dique del Este del puerto de Barcelona (España).” Se ve que la solución planteada puede satisfacer las necesidades actuales y recuperar la operatividad del dique previa a los temporales que produjeron su fallo.

Carlos Martínez Martín

Valencia, a 7 de septiembre de 2018

10. BIBLIOGRAFÍA

- ACNCV (2010) El impacto económico de los clubes náuticos de la Comunidad Valenciana. Universidad de Alicante
- Airy, G.B. (1845) Tides and Waves, Encycloped. Metropolitana, 5, Art. 525-528, London.
- Brinch Hansen, J. (1970): "A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity". Danish Geotechnical Institute, Bulletin No 28.
- CIRIA, CUR, CETMEF (2007). The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition). C683, CIRIA, London.
- FEAPDT (2014) Informe anual de puertos deportivos en España 2013.
- Grau, J.I. (2008). "Avances en la construcción de Diques de Abrigo en España", in Libro del III Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas, Organismo Público Puertos del Estado, Madrid, 13-60 (in Spanish).
- Hudson, R.Y. (1958) Design of quarry stone cover layers for rubble-mound reawaters. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Research report. 2-2.
- Barcelona Port: <http://www.portdebarcelona.cat/>
- McCowan, J. (1891) On the solitary wave. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, Vol. 32, No. 5, pp. 45-48.
- Medina, J.R. y Gómez-Martín, M.E. (2015). Manual del Cubípedo® 2015. Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/53871>.
- Medina, J.R. y Gómez-Martín, M.E. (2016). Cubipod® Manual 2016. Editorial Universitat Politècnica de València.
- MINISTERIO DE FOMENTO. (2008) Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas. Organismo Público Puertos del Estado. Madrid: Puertos del Estado
- Molines, J. (2016). Wave overtopping and crown wall stability of cube and Cubipod-armored mound breakwaters. PhD Thesis. Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/62178.
- PROGRAMA DE LAS RECOMENDACIONES DE OBRAS MARÍTIMAS (ROM) 0.0-0.1 procedimiento General y Bases de Cálculo.
- PROGRAMA DE LAS RECOMENDACIONES DE OBRAS MARÍTIMAS (ROM) 0.2 Acciones para Proyecto. Puertos del Estado
- PROGRAMA DE LAS RECOMENDACIONES DE OBRAS MARÍTIMAS (ROM) 0.3 Acción Climática I. Puertos del Estado
- PROGRAMA DE LAS RECOMENDACIONES DE OBRAS MARÍTIMAS (ROM) 0.3 Acción Climática II. Puertos del Estado
- PROGRAMA DE LAS RECOMENDACIONES DE OBRAS MARÍTIMAS (ROM) 0.4-95 Recomendación de Obras Marítimas con Acciones climáticas II: Viento. Puertos del Estado
- PROGRAMA DE LAS RECOMENDACIONES DE OBRAS MARÍTIMAS (ROM) 0.5-05 Recomendaciones Geotécnicas I. Puertos del Estado.
- Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria: <http://www.ihcantabria.com/es/>