



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio
climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de
Moraira (Teulada, Alicante)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Ballester Montesinos, Pablo

Tutor/a: Molines Llodrá, Jorge

Cotutor/a: Gómez Martín, María Esther

Cotutor/a externo: DIAZ CARRASCO, PILAR

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO
CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE
MORAIRA (*TEULADA, ALICANTE*)

Presentado por:

Ballester Montesinos, Pablo

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Tutor/a: Molines Llodrá, Jorge
Cotutor/a: Gómez Martín, María Esther
Cotutor/a externo: Díaz Carrasco, Pilar

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS

1. MEMORIA
2. ANEJOS DE LA MEMORIA
 - 2.1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO
 - 2.2. ANTECEDENTES
 - 2.3. CAMBIO CLIMÁTICO
 - 2.4. ESTADO ACTUAL Y PROBLEMÁTICA
 - 2.5. ESTUDIOS PREVIOS
 - 2.6. MODOS DE FALLO
 - 2.7. ALTERNATIVAS
 - 2.8. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA Y PROCESO CONSTRUCTIVO
 - 2.9. VALORACIÓN ECONÓMICA
 - 2.10. INFOGRAMAS
 - 2.11. ANEJO FOTOGRÁFICO
 - 2.12. ODS (Objetivos del Desarrollo Sostenible)

DOCUMENTO Nº2. PLANOS

1. LOCALIZACIÓN
2. BATIMETRÍA REGIONAL
3. BATIMETRÍA A PIE DE DIQUE
4. GEOLOGÍA DE LA ZONA
5. DIQUE ACTUAL
6. DIQUE ACTUAL TRAMO 2.A
7. DIQUE ACTUAL TRAMO 2.B
8. DIQUE ACTUAL TRAMO 2.C
9. DIQUE ACTUAL MORRO
10. PROPUESTA DIQUE
11. PROPUESTA TRAMO 2.A
12. PROPUESTA TRAMO 2.B
13. PROPUESTA TRAMO 2.C
14. PROPUESTA TRAMO 3
15. PROPUESTA MORRO

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1	Introducción.....	4
1.1	Motivación del proyecto	4
1.2	Objetivo y alcance	4
2	Situación y emplazamiento.....	5
3	Cambio climático	6
4	Estado actual.....	6
5	Problemática actual	7
6	Estudios previos	8
6.1	Clima.....	8
6.2	Presión atmosférica.....	8
6.3	Precipitaciones	9
6.4	Ecosistema marino	9
6.5	Geología	9
6.6	Acción sísmica	10
6.7	Batimetría.....	10
6.8	Clima marítimo	10
6.8.1	Nivel del mar	11
6.8.2	Régimen de vientos.....	11
6.9	Caracterización del oleaje y propagación.....	12
6.9.1	Propagación del oleaje.....	13
7	Modos de fallo	14
7.1	Rebase de la estructura.....	15
7.2	Inestabilidad del espaldón	16
7.3	Comprobación de la estabilidad del manto	17
7.4	Asientos producidos por el espaldón	18
7.5	Pérdida de estabilidad global	19
7.6	Resumen de los modos de fallo.....	20
8	Alternativas.....	20
8.1	Alternativa 1. Aumento de la coronación del espaldón actual y prolongación sobre todo el dique	20

8.2	Alternativa 2. Nueva sección del espaldón para el Tramo 3	21
8.3	Alternativa 3. Configuración del manto de escollera	22
8.4	Alternativa 4a. Manto bicapa de cubos.....	23
8.5	Alternativa 4b. Manto monocapa de cubípodos.....	23
8.6	Alternativa 4c. Manto monocapa de Xbloc	23
9	Diseño de la solución adoptada	25
9.1	Solución adoptada para el Tramo 1.....	25
9.2	Solución adoptada para el Tramo 2.....	25
9.3	Solución adoptada para el Tramo 3 y Morro.....	26
10	Proceso constructivo.....	28
11	Valoración económica.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del municipio de Teulada. fuente: Google Maps.....	5
Figura 2.	Escenarios posibles de cara al año 2100. Fuente: IPCC.....	6
Figura 3.	Secciones que componen el dique principal. Fuente: DWG proporcionado por el Club Náutico.....	7
Figura 4.	Temporal año 2013 (rebase de la coronación del dique). Fuente: YouTube	8
Figura 5.	Batimetría a pie de dique. Fuente: Google Earth.....	10
Figura 8.	Rosa de vientos. Fuente: Puertos del Estado	11
Figura 9.	Cálculo de la altura de ola significativa. Fuente: Puertos del Estado	12
Figura 10.	Rosa de oleaje. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 11	Direcciones de incidencia posibles del oleaje. Fuente: Elaboración propia....	13
Figura 12.	Zonas del dique. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 13.	Croquis de los resultados del cálculo del caudal. Fuente: Elaboración propia	16
Figura 14.	Factor de seguridad mínimo del círculo de rotura del manto para la combinación fundamental. Fuente: Slide2	19
Figura 15.	Croquis de la Alternativa 1. Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 16.	Croquis de la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia	22
Figura 17.	Solución adoptada para el tramo 2. Fuente: Elaboración propia	25
Figura 18.	Solución adoptada para el tramo 3. Fuente: Elaboración propia	26
Figura 19.	Propuesta del manto de cubípodos (vista de sección transversal y planta). Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 20.	Croquis del nuevo tramo de conexión. Fuente: Elaboración propia	27
Figura 21.	Configuración del nuevo muelle del Tramo 3. Fuente: Elaboración propia..	28
Figura 23.	Croquis de la colocación del manto de cubípodos con medios terrestres y marítimos. Fuente: Elaboración propia	29
Figura 24.	Croquis del Tramo 3 finalizado. Fuente: Elaboración propia	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de incrementos de temperatura y nivel del mar según escenario. Fuente: Elaboración propia.....	6
Tabla 2. Resultado del cálculo de acción sísmica. Fuente: Elaboración propia	10
Tabla 3. Resumen de los resultados del oleaje propagado según la dirección. Fuente: Elaboración propia.....	14
Tabla 4. Resumen de los límites de caudal escogidos. Fuente: Elaboración propia	16
Tabla 5. Resumen de las fuerzas sobre el espaldón. Fuente: Elaboración propia	17
Tabla 6. Resultados de la comprobación de la estabilidad del espaldón. Fuente: Elaboración propia.....	17
Tabla 7. Resultados de la estabilidad de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia.....	18
Tabla 9. Factor de seguridad para el asiento producido por el espaldón. Fuente: Elaboración propia.....	19
Tabla 10. Resultados del cálculo de los factores de seguridad. Fuente: Elaboración propia.....	19
Tabla 11. Resumen de los modos de fallo. Fuente: Elaboración propia	20
Tabla 12. Resultados del cálculo del caudal con el aumento de la coronación del espaldón. Fuente: Elaboración propia	21
Tabla 13. Resultados de la estabilidad para la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia	22
Tabla 14. Cálculo del ángulo necesario para adoptar un talud de escollera. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 15. Cálculo del rebase para un talud de 11º. Fuente: Elaboración propia	23
Tabla 16. Cálculo del peso unitario de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia	24
Tabla 18. Comparación del cálculo de costes de las diferentes piezas. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 20. Resumen de las características de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia.....	28

1 Introducción

El presente proyecto “**Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)**”, se presenta como trabajo de fin de grado respecto a la titulación de Ingeniería Civil. Se muestra la problemática relacionada con la infraestructura asociada al cambio climático y el consecuente aumento del nivel del mar. Teniendo en cuenta estos aspectos se proponen y desarrollan soluciones que mejoren el comportamiento estructural y funcional del puerto, todo ello respetando el medio biótico marino.

La costa de Teulada proporciona servicios portuarios desde 1985, a pesar de la alta ocupación no se han producido mejoras o reparaciones sobre la obra de abrigo principal que aseguren su buen funcionamiento. Como objetivo principal, este estudio busca hacer frente a las actuaciones climáticas incidentes sobre el dique principal, obteniendo la solución que aporte mayor seguridad y utilidad ante la alta demanda de embarcaciones.

1.1 Motivación del proyecto

El presente estudio busca solucionar las problemáticas que origina la obra de defensa del Puerto Deportivo de Moraira, analizar el estado actual, proponer soluciones y describir detalladamente el proceso. El cambio climático no es un término nuevo, este nació en el siglo XIX donde se sospechaba que las emisiones humanas implican cambios en el medio. Sin embargo, la falta de convicción en los cálculos hizo que la sociedad no lo considerara como un problema real hasta finales del siglo XX. El aumento anual de temperatura producido por la contaminación provoca no solamente el deshielo de los casquetes polares, si no también, el calentamiento del propio agua lo que conlleva a un incremento de densidad y ocupación del espacio mayor. Este suceso desenlaza en el consecuente aumento del nivel del mar lo que provoca inundaciones, erosiones del medio costero y retroceso de la línea de costa entre otros motivos. Si este escenario continúa aumentando el estado y función de las infraestructuras marítimas ya existentes se verá perjudicado y con ello el daño social.

1.2 Objetivo y alcance

El objetivo de este estudio es analizar la situación actual del Puerto Deportivo. Se analizarán los diversos elementos de la estructura de abrigo y su interacción con el mismo y con el medio. En este estudio se busca identificar los principales modos de fallo de la manera más aproximada posible, por lo que la formulación escogida para su análisis ha sido elegida conforme las características del dique.

Posteriormente, tras identificar los fallos que llevan a un mal funcionamiento de la estructura se propondrán una serie de alternativas que serán evaluadas según los propios resultados obtenidos frente a los modos de fallo y su coste. Una vez escogida la mejor solución se planteará un plan de obra y valoración económica.

El trabajo lo componen los siguientes documentos;

- DOCUMENTO Nº1 . MEMORIA Y ANEJOS
- DOCUMENTO Nº2 . PLANOS

2 Situación y emplazamiento

Este estudio se centra en la modificación del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira que se ubica en el municipio de Teulada, provincia de Alicante, en la costa Este de España y bañada por el Mar Mediterráneo. El municipio de Teulada, ubicado a 76 kilómetros al noreste de la capital alicantina, en la comarca de La Marina Alta, cuenta con una población de 11.112 habitantes divididos en dos núcleos urbanos: Moraira y el propio pueblo de Teulada, a 5.200 metros de la costa. Esta población se ve triplicada en verano por la gran cantidad de turistas que acoge.

El acceso a la ubicación, como se ve en la Figura 1, se realiza principalmente desde la Autopista del Mediterráneo (AP-7) en el sentido Valencia-Alicante y tomando la salida 63 hacia N-332/Benissa. En la dirección Alicante-Valencia, se ha de tomar la misma autopista en sentido contrario y realizar la misma salida. Las líneas de ferrocarril y tren no alcanzan la localización siendo las últimas estaciones la de Gandía al norte y la de Benidorm al sur.

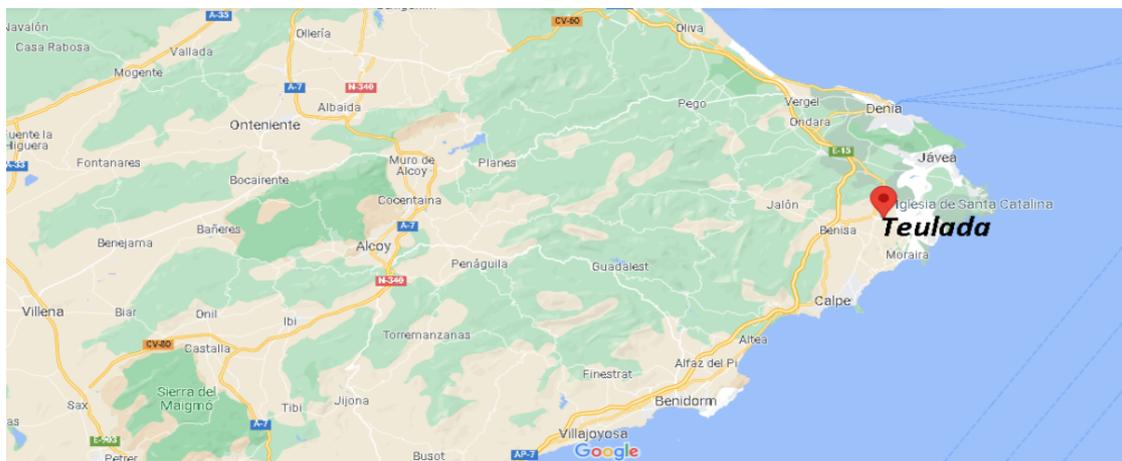


Figura 1. Ubicación del municipio de Teulada. fuente: Google Maps

3 Cambio climático

El IPCC es una organización científica creada en 1988 con el objetivo de evaluar la situación climática del planeta y proporcionar información acerca del futuro del cambio climático. En su informe publicado en 2021, “*Climate Change 2021 The Physical Science Basis*”, actualiza los datos y a su vez muestra el futuro desarrollo del planeta. **Para dicho análisis se proponen 5 posibles escenarios.** Estos se basan en modelos informáticos que buscan reproducir el comportamiento del marco climático a largo plazo.

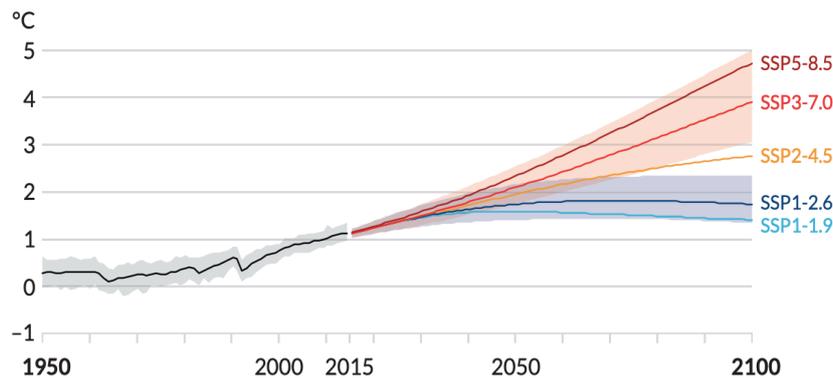


Figura 2. Escenarios posibles de cara al año 2100. Fuente: IPCC

Las líneas sólidas de la figura anterior hacen referencia a la media de temperaturas posibles según el escenario que se desarrolle, el sombreado señala el rango de valores entre los que puede variar el aumento de temperatura. A modo de aproximación, y para posterior análisis en el apartado de modos de fallo, se han recogido los datos correspondientes al aumento del nivel de mar y temperatura a través de las gráficas anteriores. Se recogen en la *Tabla 1*:

Año	2050				2100			
	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Nivel del mar [m]	0,2	0,25	0,3	0,33	0,45	0,55	0,67	0,75
Temperatura [°]	2,1	2,3	2,8	3,2	2,2	3,2	4	6

Tabla 1. Resumen de incrementos de temperatura y nivel del mar según escenario. Fuente: Elaboración propia

4 Estado actual

La obra de abrigo abarca una **longitud de 574 metros**, que se diferencian en un primer tramo de que arranca desde tierra (146 metros) y un segundo tramo que va desde donde efectúa el giro hasta el final (428 metros). Al contrario que los diques verticales, este disipa la energía producida por el oleaje. **Se diferencian 4 secciones del dique** que se describen brevemente a continuación y se desarrollan en el **Anejo N°4**.

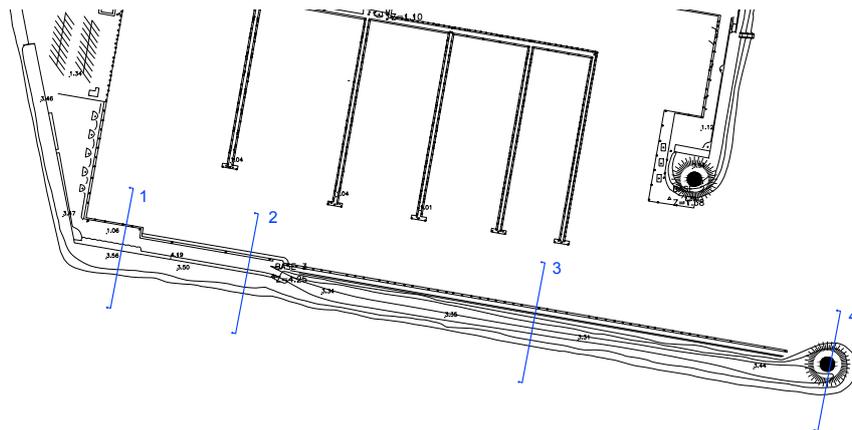


Figura 3. Secciones que componen el dique principal. Fuente: DWG proporcionado por el Club Náutico

- **Primera sección:** La primera sección del dique cuenta con una longitud de 30 metros, siendo la más reducida de las cuatro. Esta sección cuenta con un espaldón de 1,75 metros de anchura en su coronación, que eleva la altura total de la estructura medio metro adicional respecto a las secciones 3 y 4.
- **Segunda sección:** Este segundo tramo tiene una longitud de 74 metros. El interior sigue formado por una vía para personas y amarres, sin embargo, su anchura es de 8,5 metros hasta el espaldón y no dispone de zona de estacionamiento de vehículos.
- **Tercera sección:** La sección número 3 es la de mayor longitud, tiene una extensión de 285 metros.
- **Cuarta sección:** Por último, la cuarta sección es la bocana del puerto emplea un diseño completamente simétrico a ambos lados, que forman en planta un círculo de radio 30 metros aproximadamente.

5 Problemática actual

La función principal de un dique de protección es evitar el paso del agua a las dársenas interiores del puerto y proporcionar aguas calmadas, evitando así las pérdidas económicas, materiales y humanas. El temporal de 2013 provocó grandes corrientes de viento que golpearon la costa de Teulada. El mar y el oleaje de más de 3 metros de altura dejaron sin costa de arena la playa del Portet, playa colindante al puerto. En las instalaciones del club náutico, el oleaje incidía con tal fuerza que, como se puede observar en la Figura 4, el agua se elevaba por encima del dique, pasando con facilidad al otro lado de la estructura.

En el año 2020, la temporal gloria, catalogado como el temporal más grande desde 1982, dejó destrozos en las instalaciones el puerto. A pesar de que el viento provenía de direcciones norte y nor-noreste, direcciones ante las que el puerto se encuentra muy resguardado por su entorno, el impacto del oleaje de mar de fondo provocado por la borrasca dejó daños materiales en el muelle de espera.



Figura 4. Temporal año 2013 (rebase de la coronación del dique). Fuente: YouTube

Durante el temporal varias olas superaron coronación y golpeando embarcaciones de vela. La figura anterior muestra como el rebase es uno de los principales problemas que sufre el dique, por ello las soluciones desarrolladas en los anejos de este estudio buscan encontrar una solución viable.

6 Estudios previos

La recopilación de información previa al análisis de los datos es un aspecto clave y fundamental para poder desarrollar un correcto estudio de soluciones. Estos datos que se muestran a continuación representan un resumen del **Anejo N°5**.

6.1 Clima

Dentro de la zona climática del planeta, esta se centra en la zona templada norte, concretamente se corresponde Alicante a las coordenadas geográficas: Longitud E0°8'5.42", Latitud N38°41'19.18". Según los datos ofrecidos por la Agencia Meteorológica, la **temperatura anual media ronda los 18º**, registrándose el pico más alto de temperatura el 13 de agosto de 2022, con 42ºC y la temperatura mínima absoluta -4,6ºC, (media de las máximas más altas: 33,9ºC), (media de las mínimas más bajas : 2,4ºC).

6.2 Presión atmosférica

La Estación Meteorológica de Jávea proporciona los siguientes datos acerca de la presión diaria entre los años 2008-2021. Los valores máximos y mínimos corresponden a 1029,1 hPa y 999,1 hPa, situando la media anual en 1014,1 hPa.

6.3 Precipitaciones

Las precipitaciones son irregulares, varían entre 400 mm y los 700 mm anuales, teniendo una duración aproximada de 9 meses, con un intervalo móvil de 31 días.

6.4 Ecosistema marino

Gracias al documento *“Estudio del actual estado de ocupación de la pradera de Posidonia oceánica en la zona adyacente al dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Alicante)”* aportado por el Club Náutico de Moraira se muestra un diagnóstico de la situación de las praderas con un desfase temporal de 14 años. Dicho estudio delimita la extensión de las praderas de Posidonia Oceánica. Como resultado se elabora una cartografía realizada mediante prospecciones acústicas y videográficas (*véase en el **Anejo Nº5***). Como resultado del estudio se llevan a cabo las siguientes **conclusiones**:

- Se prevé afección directa a los islotes próximos, sin embargo, se considera poco significativa debido a la escasa extensión.
- Se prevé un aumento de turbidez produciendo una disminución de irradiancia en el fondo durante la ejecución de obras.
- No hay existencia de impacto directo sobre las praderas que transcurren paralelamente al dique.

6.5 Geología

Benissa se localiza al sureste de la península, su marco es conocido como Prebético Alicantino o Prebético Oriental. El terreno presenta condiciones orográficas muy variadas en la región donde los contrastes son habituales, teniendo costas llanas y altos acantilados a escasos kilómetros. La mitad Oeste cuenta con sierras montañosas propias de la sierra de Bernia y la parte Este se caracteriza por la Sierra del Montgó, un relieve montañoso aislado ubicado en la costa con una elevación máxima de 753 metros.

Los principales materiales que se pueden encontrar hoy en día son los siguientes: calizas bioclásticas; alternancia de margas y areniscas finas; costras calcáreas de arcillas y limos; arenas con conchas.

La hidrografía de la zona recoge una gran cantidad de barrancos, acumulados la mayoría en la parte occidental. La parte oriental la componen arroyos de caudales no muy frecuentes.

6.5.1.1 Acción sísmica

El desarrollo y aplicación de la Norma es obligatorio en los trabajos relacionados con el dique del puerto, al tratarse de una construcción clasificada de importancia especial. La zona que se está estudiando se encuentra en el norte de la provincia de Alicante, donde la aceleración básica de proyecto " a_b " (aceleración horizontal) es se encuentra entre los valores $0,04g$ y $0,08g$. Del lado de la seguridad se escoge la más desfavorable:

$$a_b = 0,08g$$

Los resultados del apartado son los siguientes:

Aceleración sísmica básica {Ab} [m/s ²]	Coef distribución {K}	Coef de riesgo {p}	Coeficiente de ampliación {S}	Coef del suelo {C}	Aceleración sísmica de cálculo {Ac}
0,08·g	1	1,3	1,19736	1,5	0,1245·g

Tabla 2. Resultado del cálculo de acción sísmica. Fuente: Elaboración propia

6.6 Batimetría

Este lecho marino, en concreto, está compuesto principalmente por arena y finos. Se trata de un material poco cohesivo y potencialmente transportable por la acción del oleaje y las corrientes de marea. En el **Anejo N°5 se diferencia el análisis en tres frentes diferenciados: la batimetría local, a pie de dique y regional.**

Respecto a la profundidad a pie de dique, esta se encuentra en torno a los 8 metros. Esta profundidad, sin embargo, no es la misma constantemente y varía dependiendo del nivel del mar (pleamar y bajamar) y con los años, de la evolución del cambio climático. **Por lo tanto, para el apartado "Modos de Fallo" desarrollado más adelante en el Anejo N°6, se tomará esta profundidad a pie de dique sumada al aumento de la máxima pleamar observada que se establece en el apartado "Nivel del Mar".**

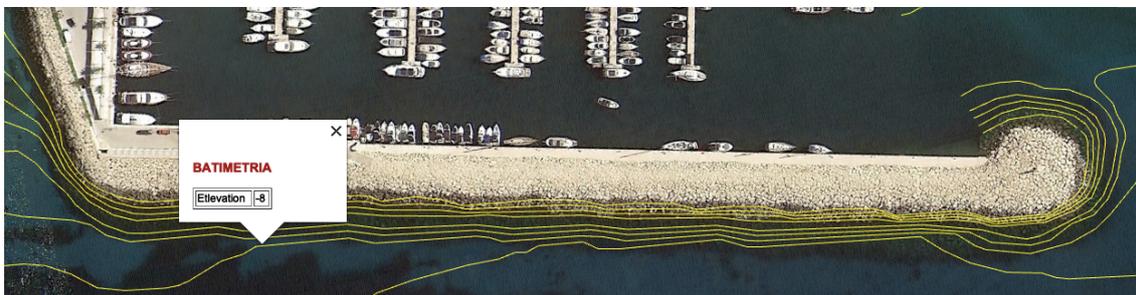


Figura 5. Batimetría a pie de dique. Fuente: Google Earth

6.7 Clima marítimo

Para la realización y recopilación de datos se ha usado la página web de Puertos del Estado, apartado de Oceanografía. Respecto a la boya empleada para extracción de los

datos, por la geografía de la costa donde se emplaza Moraira, que protege de las direcciones norte y noreste, sumada a la mayor presencia de temporales provenientes de la costa sur de la península y norte de África, ha sido escogida la boya de Cabo de Palos.

6.7.1 Nivel del mar

Para la obtención de datos relacionados con el nivel del mar se ha empleado el mareógrafo de Gandía, a 40 kilómetros de distancia. A modo de resumen, el conjunto de información que se adjunta en el **Anejo N°5**, muestra que la carrera de marea está entorno a los 40 centímetros como valor extremo.

Hay que destacar que el mínimo y máximo histórico captado por la estación se encuentran en -40 y +63 centímetros, respectivamente. Del mismo modo, con la información del nivel estadístico de máximo y mínimos, obtenemos una media de 0,02 metros, por lo que el nivel medio del mar en Gandía se encuentra a 2 centímetros de la cota 0.

6.7.2 Régimen de vientos

Para la obtención de las direcciones principales del viento y sus intensidades se ha empleado de nuevo la base de archivos de datos de Puertos del Estado. Al no contar con ninguna estación cercana que recoja dichos datos, se ha escogido el punto SIMAR más cercano (nodo SIMAR 2086104).

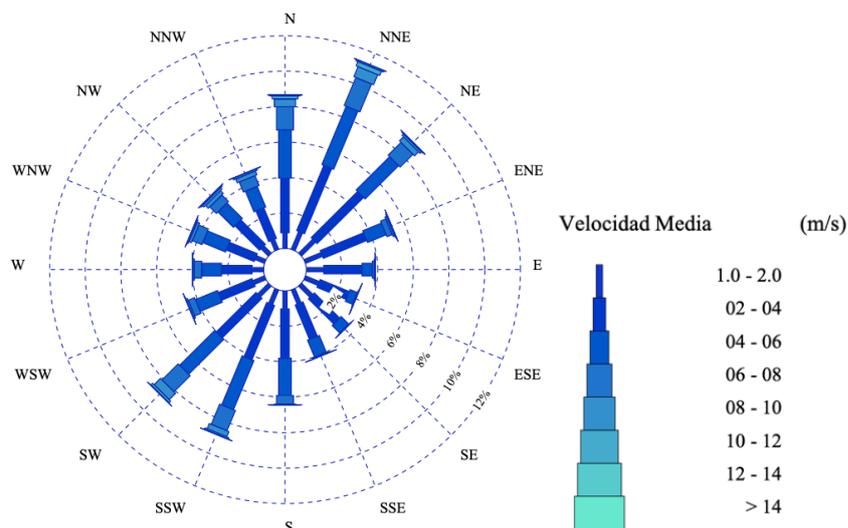


Figura 6. Rosa de vientos. Fuente: Puertos del Estado

La figura anterior muestra las direcciones de los vientos anuales incidentes en la costa de Moraira y sus intensidades clasificadas según la probabilidad de ocurrencia. **Destacar los vientos procedentes de direcciones comprendidas entre el Sur, y Sur-Oste,**

ubicando como dirección principal la de SSW (Sur-suroeste). Esta dirección se caracteriza por vientos suaves, las velocidades de 4 y 6 m/s, son las que cuentan con mayor frecuencia, llegando a alcanzar los 14 m/s en extrañas ocasiones.

6.8 Caracterización del oleaje y propagación

Para limitar el riesgo de fallo, es necesario el conocimiento de la frecuencia con la que se pueden llevar a cabo tales escenarios extremos, que excedan una cierta altura de ola significativa. En la caracterización del oleaje se diferencian dos regímenes: medio y extremal. El primero muestra las condiciones de operatividad del puerto ya que recoge una media de todos los sucesos históricos. Por el otro lado, el régimen extremal describe una función de distribución tomando como variable aleatoria el oleaje máximo durante la vida útil de la infraestructura. A pesar de que el dique a analizar ya se encuentra construido y continúa dentro de la vida útil de proyecto, realizar un adecuado estudio del régimen extremo, acorde con el escenario del cambio climático resulta razonable.

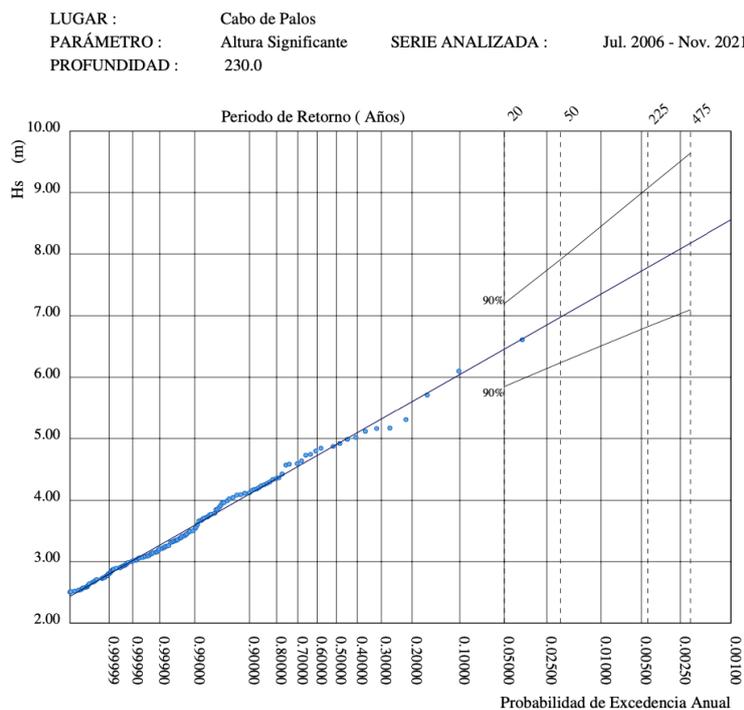


Figura 7. Cálculo de la altura de ola significativa. Fuente: Puertos del Estado

El gráfico anterior recoge la información de: probabilidad de Weibull ajustada, altura anual de temporales y la probabilidad de superación. Introduciendo el valor de T_r igual a 250 años, **obtenemos una altura de ola significativa (H_s) de 7,8 metros.** Dando como resultado un periodo de pico de 10,56 segundos. La relación entre altura de ola significativa y periodo del pico viene descrita por:

$$T_p = 4,84 \times H_s^{0,38}$$

De la rosa de oleaje siguiente, se puede concluir que **las direcciones predominantes coinciden con el régimen medio. La dirección Este (E) cuenta con mayor probabilidad (33%)**, a la que le siguen la dirección Sureste (SW) con un 27% y por último el Noroeste (NW) con un 20%.

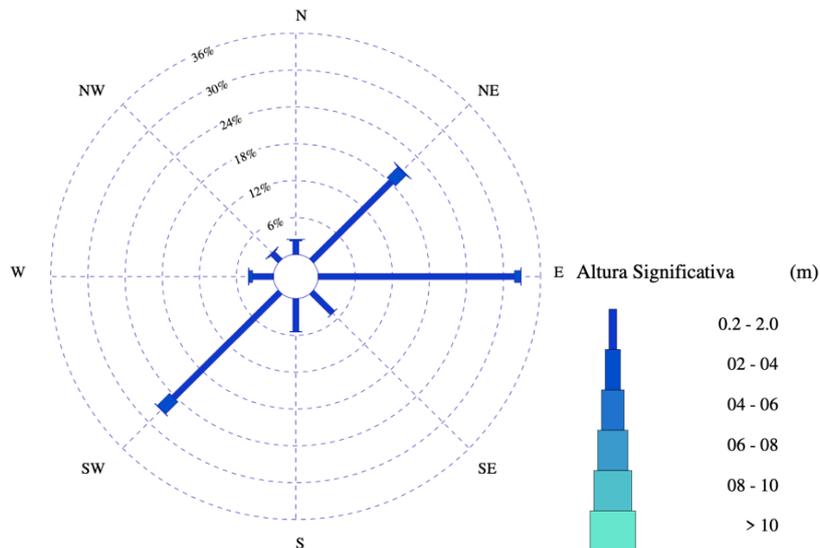


Figura 8. Rosa de oleaje. Fuente: Elaboración propia

6.8.1 Propagación del oleaje

Los datos obtenidos de Puertos del Estado muestran las características en aguas profundas, es por ello, que es necesario ver las características del oleaje a pie de dique. En este estudio se ha empleado la formulación de Airy, método que aplica métodos de Laplace y Euler en 2 dimensiones.

El oleaje incidente es necesario referenciarlo respecto a la perpendicular de la línea batimétrica a pie de dique, para poder calcular la refracción. La figura siguiente representa: en color azul la traza batimétrica que se desarrolla de forma casi paralela a la línea de playa, en color rojo los límites propios de la costa por su morfología, en color verde las direcciones principales de oleaje y en color amarillo la línea de máxima pendiente.

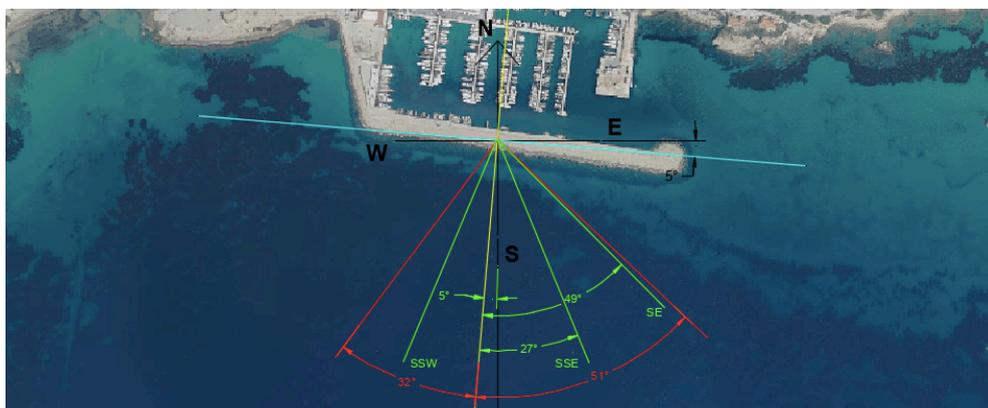


Figura 9. Direcciones de incidencia posibles del oleaje. Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, es necesario la obtención de oleaje en aguas definidas y tener en cuenta procesos de transformación del oleaje: refracción y asomeramiento.

El análisis se lleva a cabo mediante las expresiones de Airy, que muestra una solución lineal a la teoría de ondas. Estos cálculos se han llevado a cabo mediante la herramienta Excel, una hoja de cálculo programada personalmente donde se introducen las ecuaciones, fórmulas detalladas en el **Anejo N°5** y las características del oleaje proveniente de cada dirección. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

OLEAJE	Margen izq	Sur Suroeste	Sur	Sur sureste	Sureste
Dirección [°]	212	198	180	162,5	135
Ángulo de incidencia [°]	32	18	5	27	49
Ks	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Kr	0,94	0,98	1	0,96	0,84
H corregida [m]	7,6	7,94	8,08	7,75	6,93

Tabla 3. Resumen de los resultados del oleaje propagado según la dirección. Fuente: Elaboración propia

Destacar que la dirección Suroeste y Sur-Suroeste cuenta con la mayor probabilidad de ocurrencia, sin embargo, los oleajes provenientes del Sur cuentan con una altura de ola mayor debido a que sufren menos alteraciones por sucesos de refracción. **En resumen, se empleará como altura de ola significativa la más desfavorable, por lo que Hs es igual a 8,08 metros.**

7 Modos de fallo

Se ha estudiado en el **Anejo N°6** la situación actual y a largo plazo, todas ellas respecto a los diferentes escenarios posibles bajo la influencia del cambio climático enumerados anteriormente en el apartado “*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*”, (véase en la Tabla 1).

Concretamente estos 4 escenarios propuestos por el IPCC (**SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP3-7.0**) sugieren que de cara al año 2100, con un nivel continuo y creciente de emisiones, podría llevar a aumentos del nivel del mar que oscilarían entre los 60 y 110 centímetros.

Para el cálculo de los modos de fallo que producirían la rotura de la estructura se han tenido en cuenta tres posibles escenarios:

- **Escenario 0.** Hace referencia al clima marítimo durante el actual año (2023).
- **Escenario 1.** En segundo lugar, se analiza las cargas correspondientes al **año 2050**, del que faltan 27 años para su cumplimiento y entraría dentro de un periodo corto de tiempo.

- **Escenario 2.** Por último, se estudia la situación en el **año 2100**, año que se ha detallado anteriormente y sería clasificado como catástrofe de cumplirse algunos de los escenarios extremos del IPCC.

Se ha diferenciado el dique en tres tramos para poder analizar mejor el comportamiento de cada parte. Esto se debe a que las direcciones con respecto al oleaje incidente de cálculo no son las mismas en todas las zonas.

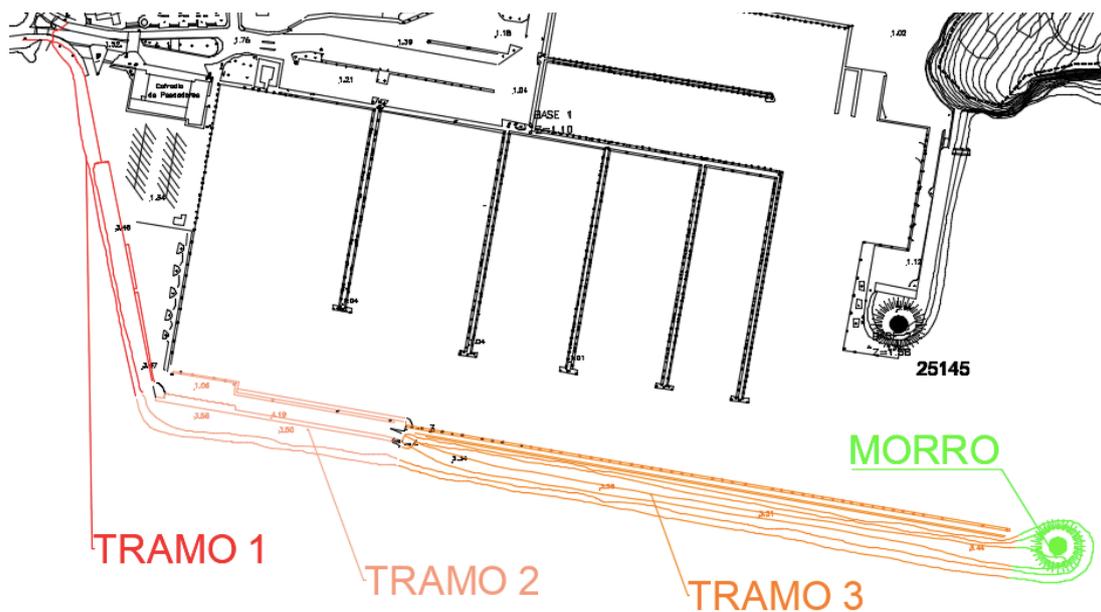


Figura 10. Zonas del dique. Fuente: Elaboración propia

Tras evaluar las características del dique y las acciones ante las que está expuesto, se ha reducido el número de modos de fallo a 5 y se ha realizado el análisis de cada uno de ellos (véase con más detalle en el [Anejo N°6](#)).

- Rebase del espaldón
- Inestabilidad del espaldón
- Rotura del manto principal
- Asientos producidos por el espaldón y el dique
- Estabilidad de las piezas del manto

7.1 Rebase de la estructura

Consultando la información del Eurotop 2007 y 2018, se proporcionan los límites de rebase de la estructura atendiendo a tres clasificaciones: límites de rebase para vehículos y personas, los límites de rebase para embarcaciones tras la defensa y límites para no sufrir daños en el pavimento. **Es por ello por lo que se usará dos valores límite. Para el tramo pavimentado y que tiene espaldón se limite el rebase a 200 l/s/m atendiendo a la limitación para evitar daños en el pavimento. Para el resto del dique**

donde solo hay amarres se limita a 5 l/s·m. Quedan resumido los valores en la siguiente tabla:

Caudal límite [l/s/m]	Clasificación	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Morro
	Límites para propiedades		200	200	
Límites para evitar daños en el pavimento		5	5	5	5

Tabla 4. Resumen de los límites de caudal escogidos. Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo una clasificación del dique se ha usado la siguiente fórmula del estudio “Explicit Wave-Overtopping Formula for Mound Breakwaters with Crown Walls Using CLASH Neural Network–Derived Data” realizado por Molines et al.(2016). Se ha estudiado para todas la profundidades y escenarios posibles, obteniéndose como resultado la figura resumen siguiente, que muestra que el caudal de rebase de todo el dique, destacando que a mayores profundidades el rebase crecerá más con el incremento del nivel del mar.



Figura 11. Croquis de los resultados del cálculo del caudal. Fuente: Elaboración propia

7.2 Inestabilidad del espaldón

Para estudiar cómo se comporta el espaldón frente a estas fuerzas, se va a emplear la formulación propia del artículo “Estimations of wave forces on crown walls based on wave overtopping rates” desarrollado por Jorge Molines, Maria P.Herrera y Josep R.Medina (2018). El cálculo, igual que en el apartado anterior, puede verse en el [Anejo Nº6](#). Las fuerzas que influyen en la estabilidad y su evolución con el aumento del nivel del mar se resumen en la Tabla 5.

Como se puede observar, al aumentar el nivel del mar, aumentar la altura de ola a pie de dique y reducirse las distancias a las cotas del espaldón, todos los valores crecen de cara al año 2100.

Combinación	Año	2023	2050				2100			
	Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
No ponderada	Fh [N]	142143,1	153329,0	156044,1	158727,9	160323,4	166596,9	171696,2	177666,8	181560,1
	Empuje activo terreno [N/m]	46333,6								
	Empuje pasivo terreno 2 [N/m]	144720,0								
	Presión hidrostática [Pa] [N/m]	16954,0	18914,0	19404,0	19894,0	20188,0	21364,0	22344,0	23520,0	24304,0
	Pbf [Pa] [N/m]	930,6	978,7	990,2	1001,6	1008,3	1034,6	1055,9	1080,6	1096,7
	Fv [N]	1861,2	1957,3	1980,4	2003,1	2016,6	2069,2	2111,8	2161,3	2193,4
	Mh [N*m/m]	14258,1	20273,9	21731,5	23171,2	24026,6	27386,5	30113,3	33301,1	35376,7
	Mv [N*m/m]	4963,3	5219,5	5281,0	5341,6	5377,5	5517,9	5631,4	5763,4	5849,2

Tabla 5. Resumen de las fuerzas sobre el espaldón. Fuente: Elaboración propia

Para finalizar este apartado y comprobar si está bien dimensionado, se calcula la estabilidad del espaldón a deslizamiento y vuelco plástico:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad deslizamiento	3,34	2,71	2,59	2,48	2,41	2,18	2,01	1,84	1,73
Estabilidad vuelco	7,56	6,06	5,82	5,58	5,40	4,86	4,48	4,24	3,98

Tabla 6. Resultados de la comprobación de la estabilidad del espaldón. Fuente: Elaboración propia

Se confirma después de sumar todas las cargas, que la estabilidad del espaldón a deslizamiento y vuelco es correcta conforme a los coeficientes de seguridad impuestos por la ROM debido a las excesivas subpresiones, si se calcula conforme la hipótesis de vuelco plástico.

7.3 Comprobación de la estabilidad del manto

En este apartado se ha llevado a cabo la comprobación de si las piezas que componen el manto del dique están correctamente dimensionadas en cuanto a su tamaño. Para determinar el peso idóneo de las piezas se va a emplear la formulación desarrollada por Hudson (1959) que ha sido usada desde su aparición y actualmente se sigue empleando en el prediseño de diques de protección. La fórmula usa un coeficiente para reflejar la estabilidad hidráulica (K_d) de los bloques del manto, en este caso, escollera.

$$W = \frac{1}{K_D} \times \frac{H_d^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} \times \frac{\gamma_r}{\cot \alpha}$$

- Estabilidad del tronco

Teniendo en cuenta las características del manto de escollera se obtienen los resultados de la tabla siguiente:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Profundidad + Pleamar [m]	8,63	8,83	8,88	8,93	8,96	9,08	9,18	9,30	9,38
Hd [m]	4,7465	4,8565	4,884	4,9115	4,928	4,994	5,049	5,115	5,159
Kd	3,69								
alfa [°]	23,49								
cota alfa	2,30								
γ_w [kg/m ³]	1029								
γ_r [kg/m ³]	2600								
W [kg]	9201,9	9856,6	10025,0	10195,3	10298,4	10717,8	11075,8	11515,9	11815,6

Tabla 7. Resultados de la estabilidad de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que el peso de la escollera del manto principal es de 5,5 toneladas, el manto no está correctamente diseñado para los próximos años.

- Comprobación del morro

El oleaje incide sobre el morro de forma diferente que en el resto del cuerpo del dique. Esto se debe a que la acción del oleaje incide sobre sus diferentes partes con ángulos distintos produciendo efectos adicionales de refracción, reflexión, ascenso y rotura del oleaje... aumentando la inestabilidad y la rapidez con la que se avería.

Realizando los mismos cálculos que en el tronco se han obtenido valores entre 11 y 15 toneladas, para el año actual y el año 2100, respectivamente. Al estar formado el morro por escollera de 8,5 toneladas, se puede concluir que **el dique no está bien diseñado para resistir el oleaje y deberá ser reemplazado y dimensionado para aguantar el próximo siglo**. El motivo por el que todavía no se haya llevado a cabo la destrucción del manto se debe a que no ha llegado a producirse el temporal de cálculo.

7.4 Asientos producidos por el espaldón

Se ha lleva a cabo la comprobación de si se han producido o se producirán asientos en la base del espaldón producido por su propio peso. Para ello **se emplea la formulación propuesta por "Brinch-Hansen (1973)"** usada para determinar la capacidad de carga admisible en función de los parámetros del suelo y geometría de la estructura.

PP1 [KN/m]	126,00
PP2 [KN/m]	192,00
MPP1 [KN·m]	141,75
ME1 [KN·m]	55,42
ME2 [KN·m]	18,00
ME3 [KN·m]	6,00
ME4 [KN·m]	96,48
MT [KN·m]	158,81
N [KN]	318,00
e [m]	0,50
$\sigma_{m\acute{a}xima}$ [KN/m ²]	139,05
$\sigma_{m\acute{i}nima}$ [KN/m ²]	19,95
Factor de seguridad	13,15

Tabla 8. Factor de seguridad para el asiento producido por el espaldón. Fuente: Elaboración propia

7.5 Pérdida de estabilidad global

Se ha llevado a cabo una aproximación del estudio de los posibles modos de rotura del dique en conjunto, produciéndose una rotura del núcleo y del mato al mismo tiempo. El programa que se ha usado es SLIDE2D, un software de estabilidad de taludes mediante la aplicación del método de elementos finitos. El programa calcula automáticamente todos los posibles círculos de rotura mediante el **método Bishop-Simplificado y Janbu-simplificado.** (Véase en el **Anejo N^o6** el cálculo del resto de las combinaciones)

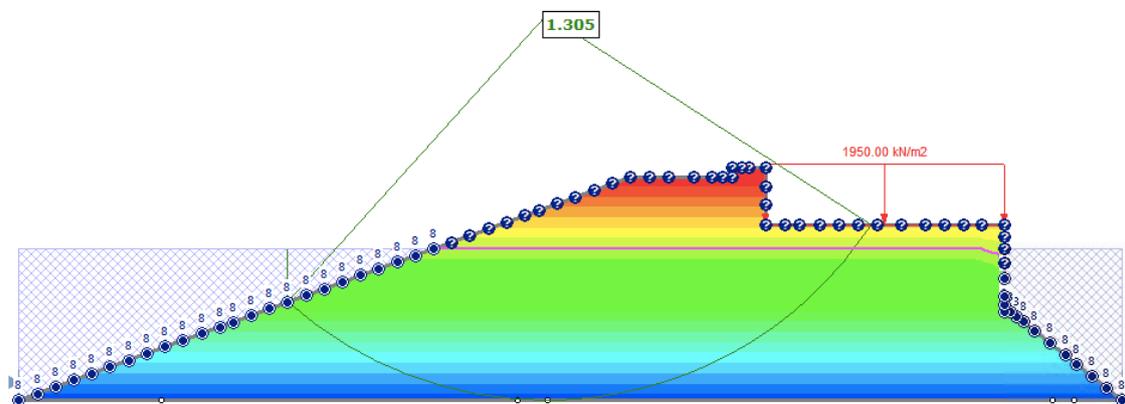


Figura 12. Factor de seguridad mínimo del círculo de rotura del manto para la combinación fundamental. Fuente: Slide2

Se resumen los resultados en la siguiente tabla de los cálculos para las combinaciones calculadas: fundamental, cuasi permanente y sísmica.

Combinación	Combinación fundamental	Combinación cuasipermanente	Combinación sísmica
Bishop-Simplified	1,304	2,2	0,894
Janbu-Simplified	1,16	2,14	0,892

Tabla 9. Resultados del cálculo de los factores de seguridad. Fuente: Elaboración propia

Se concluye este apartado afirmando que la **combinación fundamental y cuasi permanente si cumplen.** Por otro lado, la **combinación sísmica resulta tener un coeficiente de 0,894 que es inferior a 1, por lo que no cumple.**

7.6 Resumen de los modos de fallo

Se resumen en este apartado todos los modos de fallo vistos anteriormente y se clasifican según si cumplen o no con la normativa aplicada para cada tipo.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Rebase con espaldón	SI CUMPLE	NO CUMPLE							
Rebase sin espaldón	NO CUMPLE								
Estabilidad a deslizamiento	SI CUMPLE								
Estabilidad a vuelco	SI CUMPLE								
Estabilidad del manto del tronco	NO CUMPLE								
Estabilidad del manto del morro	NO CUMPLE								
Asiento del espaldón	SI CUMPLE								
Estabilidad global (C. Fundamental)	SI CUMPLE								
Estabilidad global (C. CuasiPermanente)	SI CUMPLE								
Estabilidad global (C. Sísmica)	NO CUMPLE								

Tabla 10. Resumen de los modos de fallo. Fuente: Elaboración propia

8 Alternativas

Para el dimensionamiento de la nueva obra de abrigo se deben tener en cuenta cuatro especificaciones:

- Cumplimiento de los modos de fallo vistos en el apartado anterior.
- Minimizar los impactos contra el ecosistema marino que se encuentra próximo al dique.
- Aumento del número de amarres para esloras de 15 metros situados en la parte interna del dique.
- Escoger una alternativa que aparte de solucionar los problemas vistos en la , resulte viable económicamente.

8.1 Alternativa 1. Aumento de la coronación del espaldón actual y prolongación sobre todo el dique

Para esta alternativa **se ha optado por elevar la cota del espaldón aquellas zonas donde ya existía (tramo 2 véase en el [Anejo N°6](#)) y además se propone colocar espaldón en los tramos donde el rebase no cumple (tramo 3)**. El incremento de altura se ha calculado para el peor escenario posible (SSP5-8.5) que cuenta con la mayor altura de ola de cálculo (5,16 metros), con esto se consigue que se cumplan el resto de los

escenarios y no sobredimensionar en exceso el dique, minimizando los gastos en material.

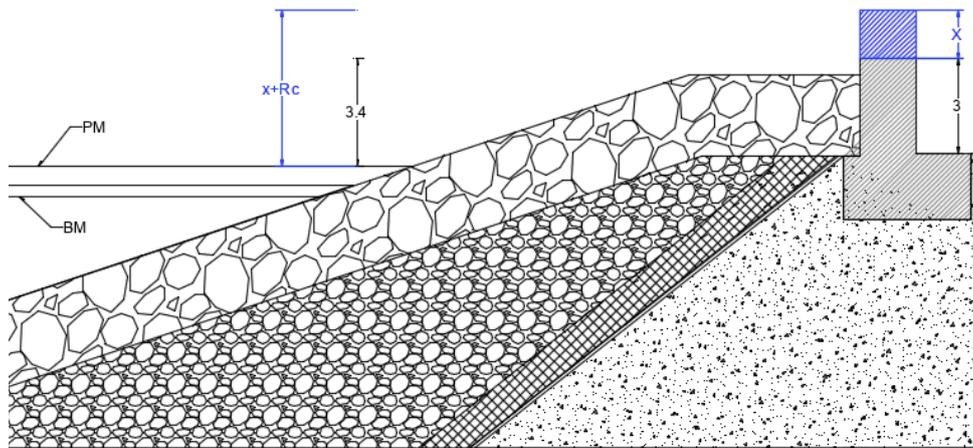


Figura 13. Croquis de la Alternativa 1. Fuente: Elaboración propia

Se ha obtenido para los distintos escenarios las siguientes cotas de coronación (Rc') finales de cada año considerando que se ha incrementado la cota del espaldón (x) para la peor situación:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Rc' [m]	4,11	3,91	3,86	3,81	3,78	3,66	3,56	3,44	3,36
$Rc+x$ [m]	3,37+0,74	3,17+0,74	3,12+0,74	3,07+0,74	3,04+0,74	2,92+0,74	2,82+0,74	2,7+0,74	2,62+0,74
q [m ³ /s/m.l.]	1,42E-03	2,02E-03	2,21E-03	2,40E-03	2,53E-03	3,09E-03	3,64E-03	4,41E-03	5,00E-03

Tabla 11. Resultados del cálculo del caudal con el aumento de la coronación del espaldón. Fuente: Elaboración propia

El coste de ejecución material se encuentra en torno a los 496.828,07€, a falta de los gastos adicionales, impuestos, beneficios, etc... Se considera por tanto un gasto excesivo para una obra que solamente beneficiaría en un único modo de fallo, por lo tanto, esta alternativa queda descartada.

8.2 Alternativa 2. Nueva sección del espaldón para el Tramo 3

Se propone una nueva sección del espaldón para el tramo 3 que sumada a las mejoras en los caudales de rebase, también produzca mejoras respecto a la estabilidad. Con este nuevo diseño se pretende eliminar las presiones hidrostáticas que se originan en la base, y que disminuyen la resistencia a vuelco.

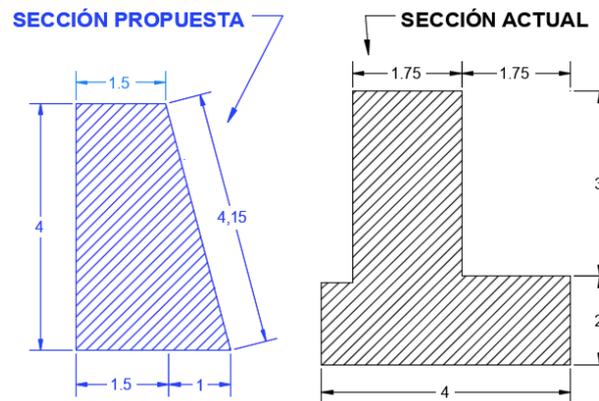


Figura 14. Croquis de la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente se ven los efectos de modificar la sección. La menor área de hormigón se traduce en un menor peso propio lo que afecta negativamente reduciendo la estabilidad a vuelco y deslizamiento. Sin embargo, con el ahorro de material se reducen los costes.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad deslizamiento	1,42	1,35	1,33	1,32	1,31	1,28	1,25	1,22	1,21
Estabilidad vuelco	1,87	1,78	1,76	1,74	1,73	1,69	1,65	1,61	1,59

Tabla 12. Resultados de la estabilidad para la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia

El precio de llevar a cabo esta alternativa supone un coste de ejecución material aproximado de 344.268,61 € (véase el **Anejo Nº7**). Con esta nueva sección se consigue un gran ahorro de material y por lo tanto un gran ahorro económico en comparación con la alternativa 1.

8.3 Alternativa 3. Configuración del manto de escollera

Para el año 2100 y escenario SSP5-8.5, se ha buscado mediante la función “solver” de Excel, encontrar el valor del ángulo del talud para que en el año 2100 el peso unitario sea como máximo 5500 Kg, correspondiéndose con el peso unitario de la escollera que se encuentra actualmente.

Escenario	SSP5-8.5
Profundidad + Pleamar [m]	9,38
Hd [m]	5,16
Kd	3,69
alfa [°]	11,42
cota alfa	4,95
γ_w [kg/m ³]	1029,00
γ_r [kg/m ³]	2600,00
W [kg]	5500,00

Tabla 13. Cálculo del ángulo necesario para adoptar un talud de escollera. Fuente: Elaboración propia

Para conocer más información acerca de esta alternativa, se ha calculado el rebase que se produciría en caso de adoptar este talud y se ha comparado con el actual.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
q [m ³ /s/m.l]	0,0022	0,0032	0,0034	0,0038	0,0040	0,0049	0,0058	0,0070	0,0079

Tabla 14. Cálculo del rebase para un talud de 11°. Fuente: Elaboración propia

A modo de conclusión se afirma que la opción de rebajar 11,42° el talud no es una solución. La gran cantidad de material a aportar no consigue reducir lo suficiente el caudal de rebase. Además, como se ha comentado en las bases de partida, alargar la base del dique en dirección a aguas profundas, supondría un impacto directo en algunas zonas sobre la pradera de Posidonia Oceánica.

Respecto al manto se proponen 3 alternativas para la mejora del manto:

8.4 Alternativa 4a. Manto bicapa de cubos.

Se trata de piezas de hormigón masivas de forma cúbica producidas mediante encontrados. Principalmente esta tipología ha sido usada en mantos bicapa. El tamaño geométrico de la pieza, al estar formado de un material artificial, no tiene limitación en cuanto a su tamaño, pero si respecto a la maquinaria auxiliar.

8.5 Alternativa 4b. Manto monocapa de cubípodos

Su geometría es similar a la del cubo, salvando la diferencia de los relieves que se encuentran en sus caras. Estas protuberancias colocadas en sus seis caras impiden el adoquinamiento y aumenta las resistencias con las caras inferiores. Entre sus aplicaciones, ha sido empleado en mantos monocapa con un coeficiente hidráulico igual a 12 ($K_d=12$) y en mantos bicapa, duplicándose el coeficiente ($K_d=24$).

8.6 Alternativa 4c. Manto monocapa de Xbloc

Se ha escogido este material como nueva alternativa por sus grandes características. Es un tipo de pieza que disipa la energía del oleaje gracias a su forma, por lo que su volumen de hormigón es más reducido que en otras piezas como cubos o cubípodos. Este suceso sumado a su gran coeficiente de estabilidad hidráulica $K_d=14$, hacen disminuir su peso lo que reduce en gran medida el volumen de hormigón necesario para ser fabricado.

- Selección del material del manto. Comparación de alternativas 4a , 4b , 4c.

Se ha calculado el peso unitario de los materiales para el escenario más desfavorable, para ello se adoptan unos coeficientes adimensionales (K_d) asociados a sus

características. En el apartado “Clima marítimo”, (véase en el **Anejo Nº5**), se ha comprobado que el oleaje llega en modo de rotura al dique, sin embargo, la fórmula de Hudson se emplea para oleaje no rompiente por lo que se aplicará un coeficiente a los factores de estabilidad hidráulica (*Kd*) para simular condiciones más duras. **Para el año 2100 (escenario SSP5-8.5) con una ola de cálculo de 5,16 metros**, se han obtenido los siguientes resultados:

Datos			Bloques monocapa	Bloques bicapa	Cubípodo monocapa	Cubípodo Bicapa	Xbloc
Densidad Agua [kg/m3]	Hm0 [m]	Cot(alfa)	W [t]	W [t]	W [t]	W [t]	W [t]
1025,00	5,16	3,00	25,3	21,1	10,5	5,3	7,9
		2,3	33,0	27,5	13,7	6,9	10,3
		2	37,9	31,6	15,8	7,9	11,8
		1,5	50,6	42,1	21,1	10,5	15,8

Tabla 15. Cálculo del peso unitario de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia

- Comparativa de costes

Para finalizar con este apartado, se calcula el posible coste de los materiales mediante la formulación extraída de “El Manual del Cubípodo” “Medina Folgado & Gómez-Martín, (2005)”. La tabla siguiente muestra el coste global de usar cada pieza:

Pieza	Cot(alfa)	e [m]	Area [m2]	Volumen teórico	Porosidad	Volumen real [m3]	Coste [€/m3]
Bloques monocapa	3	2,2	81,6	22025,9	0,45	12114,2	345,52 €
	2,3	2,4	72,1	19471,8	0,45	10709,5	357,51 €
	2	2,5	54,2	14635,5	0,45	8049,6	387,81 €
	1,5	2,8	46,0	12407,3	0,45	6824,0	406,87 €
Bloques bicapa	3	4,2	153,5	41454,3	0,45	22799,9	292,36 €
	2,3	4,6	135,7	36647,4	0,45	20156,1	301,67 €
	2	4,8	102,0	27545,2	0,45	15149,8	325,11 €
	1,5	5,3	86,5	23351,5	0,45	12843,3	339,90 €
Cubípodo monocapa	3	1,7	60,9	16451,1	0,43	9377,2	431,45 €
	2,3	1,8	53,9	14543,5	0,43	8289,8	444,84 €
	2	1,9	40,5	10931,3	0,43	6230,8	478,74 €
	1,5	2,1	34,3	9267,1	0,43	5282,2	500,20 €
Cubípodo Bicapa	3	2,6	96,7	26114,6	0,43	14885,3	386,81 €
	2,3	2,9	85,5	23086,4	0,43	13159,3	397,90 €
	2	3,0	64,3	17352,4	0,43	9890,8	425,87 €
	1,5	3,3	54,5	14710,5	0,43	8385,0	443,61 €
Xbloc	3	1,5	55,4	14946,9	0,52	7174,5	476,60 €
	2,3	1,6	48,9	13213,7	0,52	6342,6	491,61 €
	2	1,7	36,8	9931,7	0,52	4767,2	529,67 €
	1,5	1,9	31,2	8419,7	0,52	4041,4	553,81 €

Tabla 16. Comparación del cálculo de costes de las diferentes piezas. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar de la tabla anterior, la porosidad reduce en algunos casos hasta el 50% lo que beneficia en cuanto a costes económicos. Se ha de destacar los valores más negativos pertenecientes al manto de bloques bicapa, pero, por el contrario, el coste por metro cúbico es de los más reducidos. Esto se debe a que el encofrado de los bloques es bastante más simple. Los valores óptimos de volumen pertenecen a la pieza Xbloc para los taludes más elevados, entorno a los 4000 Kg, sin embargo, cuentan con los precios más altos por metro cúbico.

9 Diseño de la solución adoptada

El objetivo de este apartado es definir la nueva obra de abrigo que aprovechando en la mayor medida la estructura actual y mejore su comportamiento actual y de cara a los peores escenarios climáticos en el año 2100 (**para ver las comprobaciones acudir al Anejo N°8**). Este diseño se ha llevado a cabo para los tramos 2, 3 y la zona del morro definidas en la Figura 10.

9.1 Solución adoptada para el Tramo 1

Tras estudiar los modos de fallo y ver que cumplen, no son necesarias intervenciones urgentes de adaptación al cambio climático.

9.2 Solución adoptada para el Tramo 2

Al actual espaldón se le va a **aumentar la altura 0,8 metros** alcanzando una altura total de coronación de 4,8 metros sobre el nivel del mar. Con este nuevo incremento los volúmenes de rebase para el escenario más desfavorable son menores a los 5 l/s-m, como marca la normativa *EuroTop*.

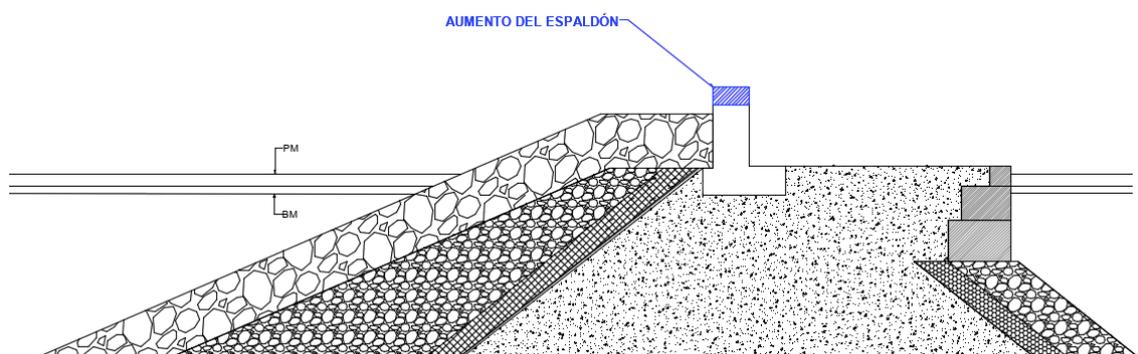


Figura 15. Solución adoptada para el tramo 2. Fuente: Elaboración propia

Con este incremento de altura se solucionan por completo los problemas relacionados con el rebase y se mejora en parte la estabilidad a vuelco como se ve en el **Anejo N°7**.

9.3 Solución adoptada para el Tramo 3 y Morro

En primer lugar, en el **tramo 3** se busca resolver los modos de fallo asociados al rebase y a la estabilidad del manto. Para ello se ha optado por Cubípodos colocados en un talud más inclinado 1:2. Acompañados de un espaldón en su parte superior sumado con la demolición de parte del manto interior para lograr aumentar el número de amarres en esa parte del dique. Esta elección de las piezas se describe con más detalles en el **Anejo N°8**.

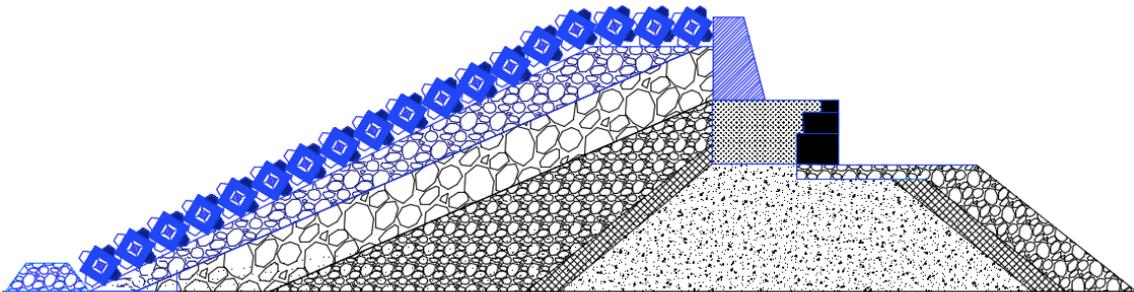
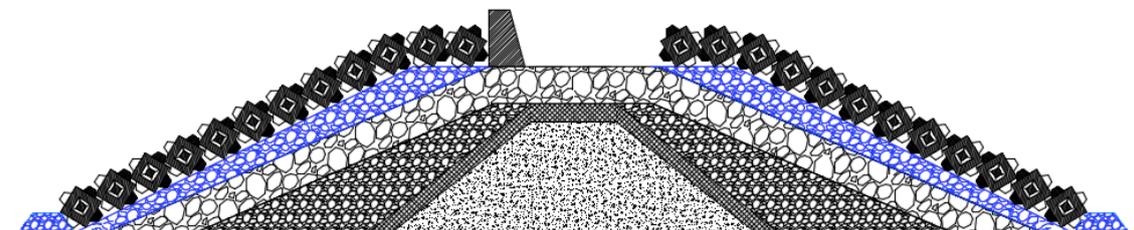


Figura 16. Solución adoptada para el tramo 3. Fuente: Elaboración propia

El espaldón se trata de una estructura de hormigón en masa HM-30/B/20/IIIa+Qb. Este se colocará a lo largo de todo el tramo 3, con una longitud total de 275 metros. Se ha decidido desplazar su ubicación con respecto a la del tramo 2 para conseguir aumentar la lámina de agua interior del puerto con el fin de permitir el amarre de barcos de esloras mayores ante la gran demanda.

En segundo lugar, para el **morro** de la estructura se propone una configuración similar a la anterior. Se resuelven los problemas de la estabilidad colocando un manto de cubípos. El espaldón se prolonga siguiendo la misma geometría que la propuesta para el tramo anterior, y “rodea” hasta cierto punto la coronación del morro. Más adelante se justifica esta toma de decisiones. Se acompaña esta explicación con dos croquis del morro propuesto en alzado y planta:



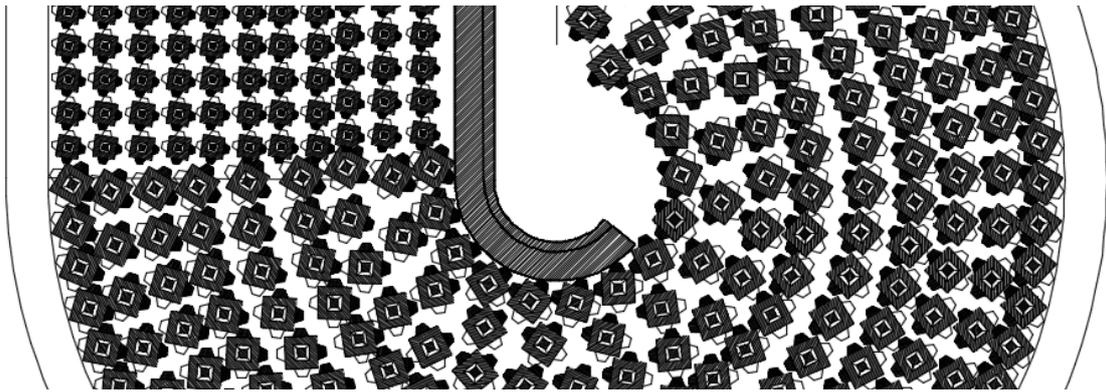


Figura 17. Propuesta del manto de cubípodos (vista de sección transversal y planta). Fuente: Elaboración propia

Por último, se propone una **nueva sección situada entre los tramos 2 y 3, que sirve de conexión entre ambos**. Al no situarse ambos espaldones en la misma posición, esta sección se basa en alargar longitudinalmente el espaldón para conectar ambos y evitar posibles espacios por donde el agua pueda incidir dentro del puerto.

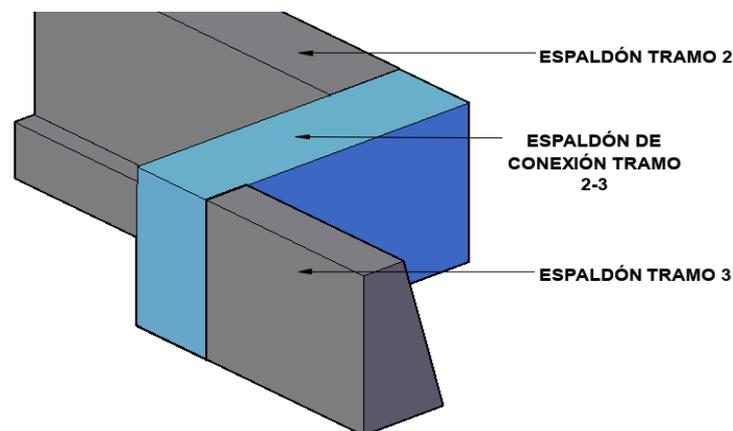
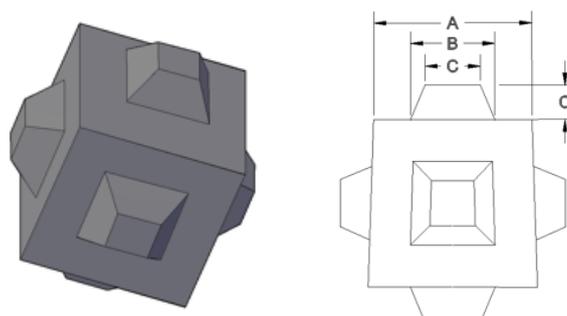


Figura 18. Croquis del nuevo tramo de conexión. Fuente: Elaboración propia

- Piezas del manto de cubípodos

Para acelerar las operaciones complementarias de desencofrado y aumentar el rendimiento se le ha dotado a la pieza de una cierta inclinación en sus caras verticales. Esta inclinación es del 3% y es una operación tradicional en la fabricación de cubos convencionales. Por lo tanto, se tienen las siguientes dimensiones para las piezas que conforman todo el manto:



Geometría	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Morro
Pieza	Escollera	Escollera	Cubípodo	Cubípodo
Peso [t]	5,5	5,5	16	27
Número capas	1	1	1	1
Dn [m]	1,3	1,3	2,3	3,9
L [m]			2	3,6
A [m]			2	3,6
B [m]			1	1,8
C [m]			0,5	0,9
Volumen [m3]			6373	3969
Volumen pieza [m3]			7	12
Número de piezas			911	330

Tabla 17. Resumen de las características de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia

- Diseño del amarre en el trasdós del dique

El muelle propuesto para el trasdós del dique sigue la tipología de muelle por gravedad mediante bloques de hormigón. Será la continuación del muelle existente del Tramo 2 y reemplazará al actual muelle del Tramo 3. Se ha proyectado para que, con una mejor configuración del espacio junto a las modificaciones propuestas en la estructura del dique, se aumente el número de amarres existentes. **Pasando de 11 amarres actuales a 42 amarres** para embarcaciones de 15 metros de eslora máxima, fondeados en punta, tal y como se puede ver en la siguiente imagen:

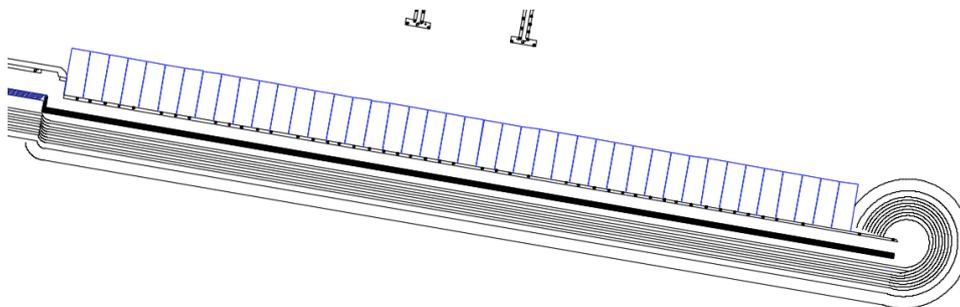


Figura 19. Configuración del nuevo muelle del Tramo 3. Fuente: Elaboración propia

10 Proceso constructivo

1. Colocación de una barrera de contención

La colocación de esta barrera de contención tiene como objetivo disminuir los efectos negativos sobre el ecosistema marino próximo a la obra. Es necesario emplearla durante las labores de modificación del talud.

2. Demolición del manto interior del tramo 3 y creación del manto.

Mediante maquinaria se desmantelará la parte interna del manto de escollera que será transportada a un acopio cercano y será nuevamente recolocada más adelante para conseguir el talud 1:2 deseado sobre el que se dispondrán los cubípodos.

3. Disposición de la escollera para lograr el talud 1:2 y berma de pie

Como se ha comentado anteriormente, la escollera retirada es recolocada con el objetivo de aumentar el talud. Con este procedimiento se evita el uso de nuevas piezas optimizando tiempos de transportes y se elimina la gestión de residuos de la demolición realizada. Se emplean medios marítimos y terrestres para la colocación.

4. Disposición del manto de cubípodos

Esta fase de la construcción del proyecto es la más condicionante por el gran número de piezas a colocar. Para poder finalizar el manto con la mayor brevedad y evitar que un posible temporal durante las obras afecte al manto desprotegido, se realizará la colocación de las piezas con medios marítimos y terrestres.

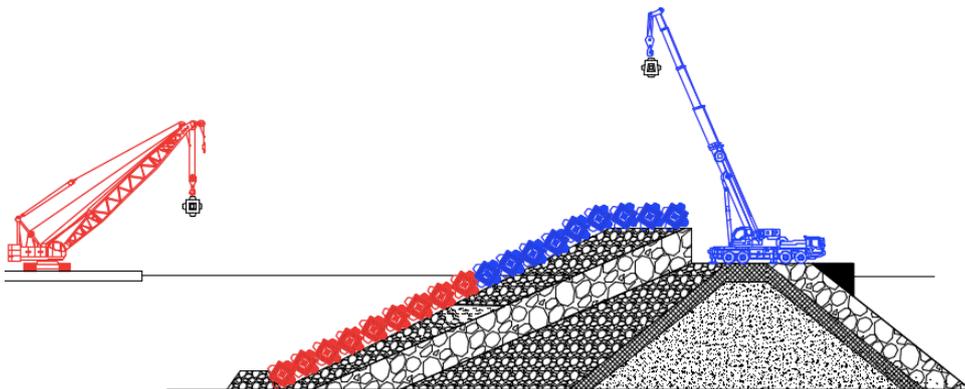


Figura 20. Croquis de la colocación del manto de cubípodos con medios terrestres y marítimos. Fuente: Elaboración propia

5. Creación del amarre y tramo finalizado

Consiste en demoler el actual amarre y llevar a cabo la disposición de los bloques del nuevo amarre por gravedad. La obra del tramo 3 se dará por finalizada una vez se realice el encofrado-hormigonado-desencofrado del espaldón.

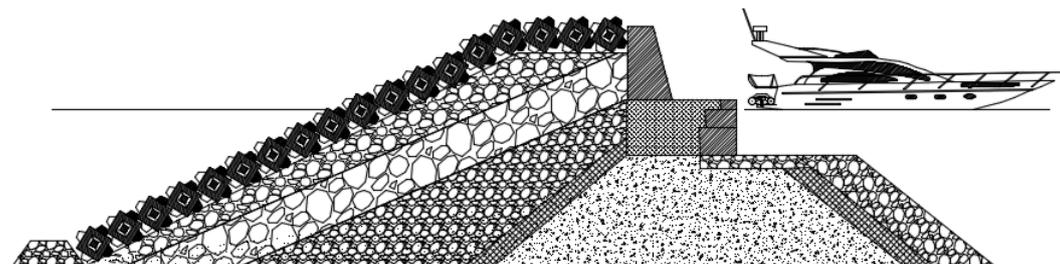


Figura 21. Croquis del Tramo 3 finalizado. Fuente: Elaboración propia

11 Valoración económica

En el **Anejo N°9** se ha definido las unidades de obra que incluye el proyecto junto con la medición de cada una de ellas y precios basados en bases de datos y proyectos ya realizados. Se adjunta el resumen del coste por capítulos y precio base de licitación:

CAPÍTULO	RESUMEN	COSTE
01	ACTUACIONES PREVIAS	150.000,00 €
02	OBRA DE ABRIGO	4.345.881,84 €
02.1	TRAMO 2	7.516,19 €
02.2	TRAMO 3	2.979.139,95 €
02.3	MORRO	1.359.225,70 €
03	OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	206.917,64 €
04	SEGURIDAD Y SALUD	108.647,05 €
05	GESTIÓN DE RESIDUOS	43.458,82 €
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		4.854.905,34 €
13% Gastos Generales		631.137,69 €
6% Beneficio Industrial		291.294,32 €
TOTAL		5.777.337,35 €
21% IVA		1.213.240,84 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN		6.990.578,20 €

Asciende la presente certificación a la expresada cantidad de **SEIS MILLONES NOVECIENTOS NOVENTA MIL QUINIENTOS SETENTA Y OCHO euros con VEINTE céntimos.**

Firmado por Pablo Ballester Montesinos
4 de Julio de 2023



ANEJOS DE LA MEMORIA

ÍNDICE DE ANEJOS

1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO
2. ANTECEDENTES
3. CAMBIO CLIMÁTICO
4. ESTADO ACTUAL Y PROBLEMÁTICA
5. ESTUDIOS PREVIOS
6. MODOS DE FALLO
7. ALTERNATIVAS
8. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA Y PROCESO CONSTRUCTIVO
9. VALORACIÓN ECONÓMICA
10. INFOGRAMAS
11. ANEJO FOTOGRÁFICO
12. ODS (Objetivos del Desarrollo Sostenible)



ANEJO N°1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Introducción.....	2
2	Marco regional.....	2
3	La Marina Alta.....	2
4	Accesos	3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización. Fuente: Wikipedia.....	2
Figura 2.	Localización. Fuente: Google Maps.....	3



1 Introducción

Previamente a la ejecución y planificación de cualquier obra es necesario e imprescindible conocer el emplazamiento geográfico donde se va a llevar a cabo dichas actuaciones. Este estudio se centra en la modificación del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira que se ubica en el municipio de Teulada, provincia de Alicante, en la costa Este de España y bañada por el Mar Mediterráneo.



Figura 1. Localización. Fuente: Wikipedia

2 Marco regional

En cuanto a su marco regional, Alicante constituye una de las tres provincias que forman la Comunidad Valenciana cuya longitud de costa equivale a 470 km, el 75% se clasifican como costas arenosas y el otro 25% costas altas. Alicante cuenta con una superficie provincial de 5817,5 kilómetros cuadrados, lo que equivale a un 1,2 % de la superficie nacional española.

3 La Marina Alta

Respecto a su costa, la Costa Blanca, con un desarrollo de 230 km y 170 playas y calas, alberga una gran belleza natural con 74 premios de Bandera Azul a sus playas otorgados por el cumplimiento de requisitos ambientales. De los 34 puertos deportivos-pesqueros de la Comunidad Autónoma, 23 se encuentran en la provincia de Alicante, un 67,64 %.

El municipio de Teulada, ubicado a 76 kilómetros al noreste de la capital alicantina, en la comarca de La Marina Alta, cuenta con una población de 11.112 habitantes divididos en dos núcleos urbanos: Moraira y el propio pueblo de Teulada , a 5.200 metros de la

costa . Presenta una orografía muy heterogénea, desde la costa con pequeñas calas y acantilados, hasta zonas montañosas. Es un municipio que a lo largo del siglo XX desarrolló un gran comercio entorno a la uva y la pesca, construyéndose su primera obra marítima en 1935, el denominado “margenot”, un dique de contención para proteger las casas de los pescadores en caso de temporales. De esta estructura, hoy en día, queda únicamente un pequeño conjunto de escollera ubicado entre el Castillo de Moraira y el actual puerto deportivo.

El Puerto de Moraira se ubica en dicha localidad y por lo tanto pertenece a dicho municipio. Es colindante a la Playa de la Ampolla y a la Cala El Portet.

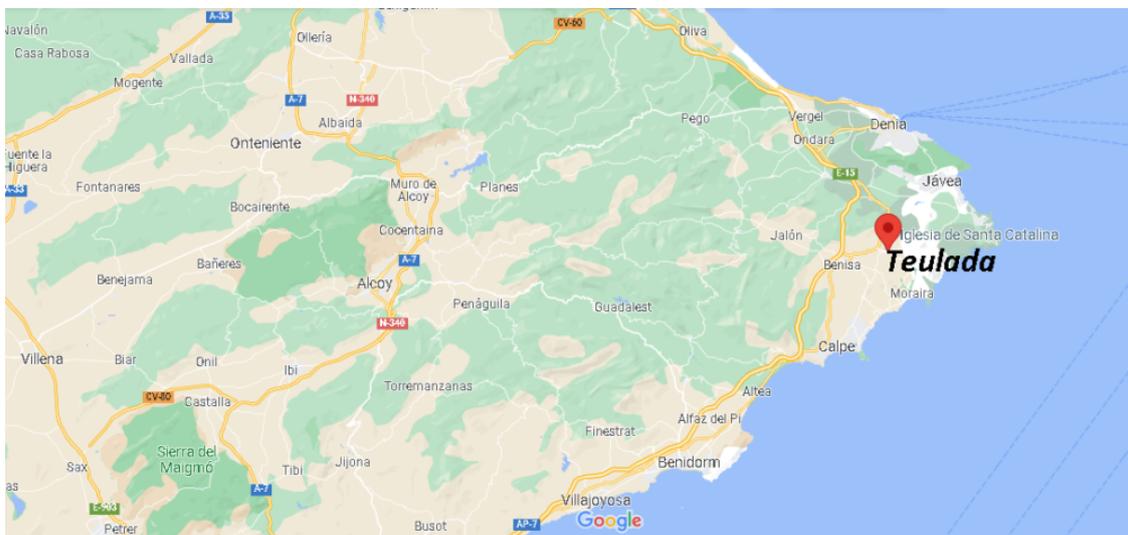


Figura 2. Localización. Fuente: Google Maps

4 Accesos

El acceso a la ubicación, como se ve en la Figura 2, se realiza principalmente desde la Autopista del Mediterráneo (AP-7) en el sentido Valencia-Alicante y tomando la salida 63 hacia N-332/Benissa. En la dirección Alicante-Valencia, se ha de tomar la misma autopista en sentido contrario y realizar la misma salida. Las líneas de ferrocarril y tren no alcanzan la localización siendo las últimas estaciones la de Gandía al norte y la de Benidorm al sur.

ANEJO Nº2. ANTECEDENTES

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Club Náutico de Moraira.....	2
1.1	El Puerto.....	2
1.2	Estado Actual.....	3
2	Estado del arte.....	4
2.1	Oleaje.....	4
2.2	Propagación del oleaje.....	5
2.3	Rotura del oleaje.....	7
2.4	Dique.....	8
2.4.1	Dique en talud.....	8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.	Puerto deportivo de Moraira año 1980. Fuente:Villalasuerte.com.....	2
Figura 4.	Instalaciones. Fuente: Elaboración propia.....	3
Figura 5.	Estadísticos del oleaje. Fuente: Wikipedia.....	5
Figura 6.	Croquis de la teoría lineal de ondas. Fuente: Almazán-ingenieros.....	6
Figura 7.	Transformación del oleaje por refracción. Fuente: Flores.....	6
Figura 8.	Tipo de rotura según número de Iribarren. Fuente: Wikipedia.....	7
Figura 9.	Tipologías de diques en talud. Fuente Ingenieros.es:.....	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Instalaciones. Elaboración propia.....	3
Tabla 2.	Número de Iribarren. Fuente: Elaboración propia.....	¡Error! Marcador no definido.

1 Club Náutico de Moraira

El Club Náutico de Moraira se trata de una entidad sin ánimo de lucro creada en 1975 por un conjunto de socios con el objetivo de promover las actividades pesqueras y náutico-deportivas. Actualmente el puerto dota de economía al núcleo de Moraira, cada vez más compacto. Es hogar de diversas competiciones náuticas lo que atrae al turismo aumentando los ingresos en los sectores terciarios (hostelería, restauración y transporte).

1.1 El Puerto

En 1980 y tras 5 años como institución, se otorgó la concesión por parte del Gobierno Central por un tiempo definido de 30 años para la construcción y explotación del puerto construido ese mismo año (1980). Posteriormente en 1987 se consiguió la ampliación de dicha concesión por 20 años adicionales otorgado por la Generalitat Valenciana, por lo que la fecha de expedición corresponde al año 2030. Hoy en día y a falta de 7 años para su conclusión se espera que dicha concesión se prolongue nuevamente.

Las instalaciones abarcan una superficie terrestre de 33.247 metros cuadrados y una lámina de agua de 55.069 metros cuadrados. Dicha zona de agua se puede dividir en: zona pesquera que cuenta con 64 amarres y calado de 3 metros. Por otro lado, se encuentran los amarres deportivos en concesión, lo conforman un total de 624 amarres para embarcaciones de eslora máxima de 25 metros.



Figura 1. Puerto deportivo de Moraira año 1980. Fuente: Villalasuerte.com

A lo largo de su historia han sido propuestas numerosas soluciones para hacer frente a la problemática de la ocupación y el rebase del agua por encima de la coronación.

Algunos proyectos, entre otros, proponen llevar a cabo una ampliación mar adentro, duplicando el tamaño de agua abrigada y del mismo modo la capacidad de ocupación. Sin embargo, debido a su emplazamiento y a la actual Ley de Costas, en particular a la Orden del 23 de enero de 1992, las normativas protegen las praderas de angiospermas marinas, prohibiendo su destrucción y regulando la actividad humana.

1.2 Estado Actual

A continuación, se citan las distintas instalaciones principales y gracias al documento “Informe de valoración de los terrenos, lámina de agua e instalaciones e infraestructuras de la zona de servicio puerto náutico deportivo de Moraira”, extraído de la página web de la Generalitat Valenciana, se han podido adoptar las siguientes superficies y datos, minimizando los errores. Además, se relaciona su año de construcción junto a su duración útil proyectada por entonces y la vida útil restante hoy en día.

	Instalación	Año de construcción	Vida útil	Vida útil restante (2023)	Superficie adoptada	
1	Diques	1980	50	7	380,85	m2
2	Pantalanes	1985	40	2	3100	m2
3	Edificio social	1994	50	21	1015	m2
4	Recepción	1986	50	13	117	m2
5	Acondicionamientos de superficie	1985	40	2	17799	m2
6	Edificio comercial	1985	50	12	308	m2
7	Tiendas y talleres	1985	50	12	450	m2
8	Instalación de combustible	1985	35	-3	350	m2
9	Cofradía de pescadores	1985	50	12	102	m2

Tabla 1. Instalaciones. Elaboración propia



Figura 2. Instalaciones. Fuente: Elaboración propia

Las instalaciones son las siguientes:

- Pantalanes: La lámina de agua de 55069 m2 está compuesta por varios pantalanes en su sentido perimetral. A partir de estos nacen varios pantalanes que se adentran en la dársena. Sus dimensiones corresponden a unos 3 metros

de anchura y longitudes variables. Se aproxima la superficie total en torno a los 3100 m².

Estructuralmente están formados por un forjado unidireccional de hormigón armado, de canto 0,35 metros. Este se apoya sobre un conjunto de pilotes que se adentran en el terreno, con una longitud media de 10 metros.

- **Recepción:** Parcela catastral 0961201BC5806S. Edificio construido sin división horizontal, se desarrolla en un área de 140 m² con finalidades administrativas. Parcela con varios inmuebles: Parcela catastral 1061202BC5816S. Superficie de 305 m² dividida en 3 establecimiento comerciales, 2 oficinas y 1 almacén. Año de construcción 1984.
- **Restaurante:** Superficie de 618 m² empleados para hostelería y oficinas. Superficie construida de 21266 m² divididos en 3 pisos. Año de construcción 1970.
- **Dique en talud:** Dique por gravedad constituido por un manto de escollera.

2 Estado del arte

Se introducen el estado del arte relacionado con la infraestructura marítima y se describen ciertos conceptos previos que serán desarrollados y trabajados posteriormente. Todo necesario para llevar a cabo el estudio.

2.1 Oleaje.

Acción climática-marina desfavorable que actúa contra la costa y demás elemento en infraestructura. Son fluctuaciones del mar con periodos comprendidos entre los 2 y 25 segundos. Autor de la mayoría de los procesos litorales y costeros, su acción es causante de la morfología de la costa y de los procesos físicos (erosión, transporte y sedimentación). Es un proceso aleatorio, no tiene linealidad respecto al tiempo.

Para su caracterización es importante definir sus parámetros, los denominados, estadísticos del oleaje:

- **Cresta.** Parte de la ola con mayor cota.
- **Valle.** Parte más profunda entre dos ondas.
- **Longitud de onda.** Distancia entre dos ondas consecutivas. Varía con respecto a su localización, disminuyendo al acercarse a la costa por reducción del fondo marino (asomeramiento).

- **Periodo (T).** Tiempo medido en segundos que transcurre entre el paso de dos ondas por un mismo punto.
- **Altura de ola (H).** Diferencia entre la cresta y el valle de una misma ola.

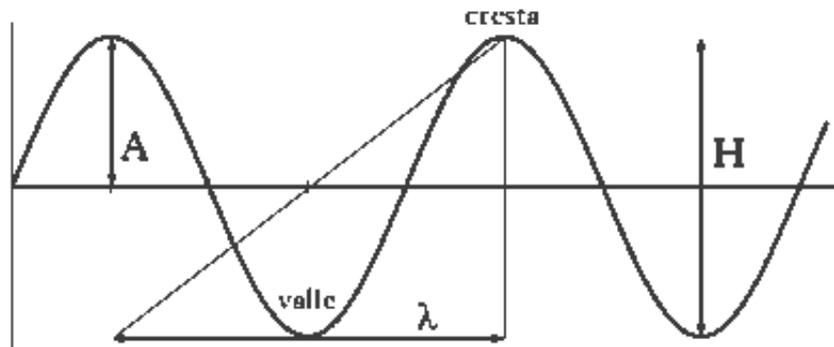


Figura 3. Estadísticos del oleaje. Fuente: Wikipedia

El causante de dicho suceso es el viento, conforme este sopla en una región del océano, genera fricción con la superficie del mar generando perturbaciones que se propagan miles de kilómetros. La energía del viento proviene del sol, cuando un territorio se calienta en comparación al resto, la densidad del aire cambia provocando que sus masas de aire asciendan y ese espacio sea ocupado por otra masa con diferente densidad, generándose corrientes de aire. Los factores principales del viento que definen una ola son la velocidad, duración y distancia.

2.2 Propagación del oleaje

El oleaje sufre transformaciones en su paso por océanos y mares hasta su llegada a la costa. En un escenario caracterizado por la ausencia de viento y despreciando pérdidas energéticas mínimas, una onda que se transmite a través del océano con un fondo profundo apenas sufre variaciones en sus propiedades. Sin embargo, en su aproximación a la costa, las propiedades del medio donde se transmite varían y de igual manera lo hacen las de la onda.

En la ingeniería marítima y costera se encuentran multitud de formulaciones acerca de cómo predecir y caracterizar con la mayor exactitud este suceso, desde formulaciones sencillas hasta amplios programas informáticos de modelos numéricos. Generalmente se encuentran dos grupos, las teorías lineales de ondas que se emplean para definir ondas gravitacionales y la teoría no lineal o teoría de ondas largas que describe un oleaje en condiciones de aguas someras.

Los modelos desarrollados buscan obtener resultados para todos los tipos de oleaje (tipo sea, swell...) sin embargo resulta ser un problema complejo y de difícil solución. Pero los avances del último siglo, disponibilidad de imágenes satélite, conocimiento del fondo marino gracias a equipos de batimétricos modernos y conocimiento teórico, permiten una buena caracterización.

Para este estudio se ha empleado una teoría de ondas lineal, denominada **teoría de pequeña amplitud**. Fue expuesta por George Biddell Airy en 1845 y se aplicó a partir del siglo XX. Se basa en el uso de las ecuaciones de Laplace y Euler aplicadas en dos dimensiones, suponiendo una batimetría plana y despreciando efectos de viscosidad y tensión superficial, considerándose el oleaje como una formación de partículas que oscila de forma elíptica que dependiendo del fondo se transforman en circunferencias. El desarrollo de este método viene descrito en el Anejo N°5.

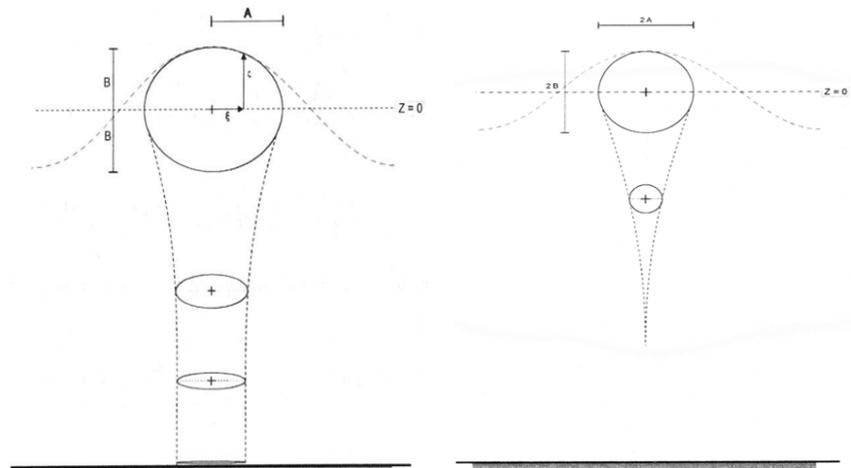


Figura 4. Croquis de la teoría lineal de ondas. Fuente: Almazán-ingenieros

Los procesos de transformación del oleaje son cuatro:

- **Refracción.** Cambio de dirección de avance producido por cambios en el fondo marino. Por lo tanto, dos puntos de un mismo oleaje situados cada uno con cotas de profundidad diferentes, sufrirán una distorsión en su velocidad lo que conlleva al giro de la onda, el punto con mayor profundidad conservará más velocidad en comparación al otro. El oleaje tiene a propagarse siguiendo estas batimetrías, en dirección perpendicular a la costa.

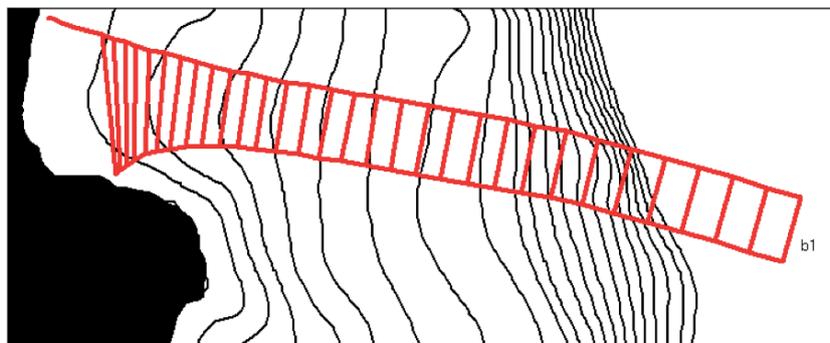


Figura 5. Transformación del oleaje por refracción. Fuente: Flores.com

- **Asomeramiento.** Aumento de la altura de ola reduciéndose su celeridad. Esta disminución de celeridad provoca aumentos de energía que se transforman en aumentos de tamaño.

- **Difracción.** Se caracteriza por producirse una transmisión de la energía del oleaje de forma lateral y se lleva a cabo al toparse con un objeto, barrera o isla. Se puede llevar a cabo un cálculo aproximado empleando los ábacos de Taylor.
- **Reflexión.** Suceso producido por una onda al chocar completamente contra una barrera produciéndose que la energía se refleje. Se calcula como la relación entre la altura de ola reflejada y la altura de ola que incide obteniéndose un coeficiente que varía entre 0 (reflexión nula) y 1 (reflexión total).

2.3 Rotura del oleaje

Consecuencia del asomeramiento, y se clasifica mediante el número de Iribarren. Se trata de un parámetro adimensional que relaciona los conceptos de periodo, longitud de onda, pendiente del lecho marino, aceleración de la gravedad... y sirve para diferenciar los tipos de roturas. Su autor, Ramón Iribarren Cabanillas, lo introdujo para oleajes en playas con pendientes.

$$I_r = \sqrt{\frac{m}{\frac{H}{L_o}}}$$

Donde lo componen los siguientes parámetros:

- H y L_o son datos de la altura de ola y longitud de onda, respectivamente.
- m hace referencia al peralte del fondo marino.

$$L_o = \frac{g \times T^2}{2 \times \pi}$$

Donde T es el periodo expresado en segundos (s) y g la aceleración de la gravedad (m/s²)

En función del resultado, se distinguen 4 tipos:

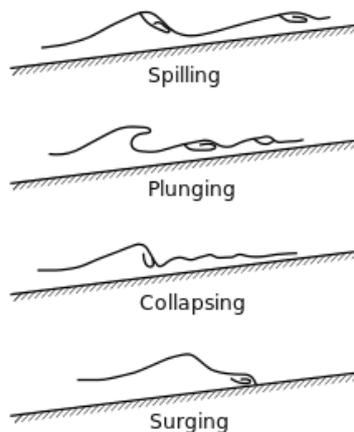


Figura 6. Tipo de rotura según número de Iribarren. Fuente: Wikipedia

TIPO DE ROTURA	NÚMERO DE IRIBARREN
Spilling	$I_r < 0,5$
Plunging	$0,5 < I_r < 2,5$
Collapsing	$2,5 < I_r < 3$
Surging	$I_r > 3$

Tabla 2. Número de Iribarren. Fuente: Elaboración propia

2.4 Dique

Se clasifican como obras portuarias colocadas en la parte exterior de un puerto, producen una lámina de agua casi en reposo en su interior y cuyo fin primordial es dar cobertura y proporcionar abrigo a embarcaciones en situaciones de oleaje.

Suelen estar constituidos por capas de distintos materiales y granulometrías formando un esqueleto disipador de energía. Sus solicitaciones principales corresponden al oleaje, corrientes y vientos, los cuales impactan de modo distinto según las condiciones que se den. Deben proporcionar funcionalidad, operatividad y fiabilidad.

Dependiendo de su forma y materiales se pueden separar en tipologías, cada una desarrolla unas características sobre sí misma y respecto el entorno.

2.4.1 Dique en talud

Es la obra de abrigo más común en los puertos españoles y está clasificado como una obra de abrigo disipadora de energía. Su inclinación en el manto ayuda a distribuir la presión del agua además de proporcionar estabilidad. Esta infraestructura se caracteriza por lo siguiente:

- El núcleo está compuesto por material todo uno, donde la ausencia de finos es beneficiosa para su buen funcionamiento. Debe soportar deformaciones y su permeabilidad deberá ser ajustada a las condiciones del proyecto.
- El manto principal lo forma un conjunto de escollera o bloques, de forma irregular o no, cuyo objetivo es disipar la energía del oleaje sin sufrir daños.
- Los mantos secundarios constituyen un filtro entre núcleo y manto exterior. Suelen estar formados por escollera de menor tamaño que la exterior y buscan impedir el paso del material del núcleo al exterior.
- Gran flexibilidad para continuar operando aun habiéndose producido asientos o movimientos de sus capas, hasta cierto límite.

Comentar la gran variedad de tipologías que pueden variar en función del ángulo del talud, existencia de bermas y protecciones contra la socavación, existencia de espaldón en su coronación, existencia de cuenco amortiguador, diques sumergidos...

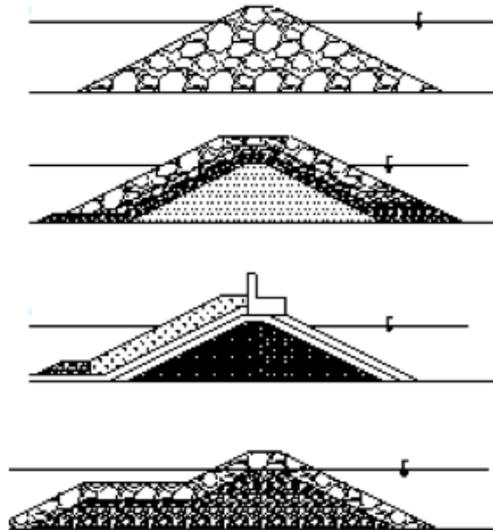


Figura 7. Tipologías de diques en talud. Fuente: Ingenieros.es

Los diques en talud deben estar diseñados y construidos con las adecuadas propiedades para garantizar, en condiciones extremas, que el oleaje rompa en el talud de la estructura. De tal forma, la energía en el caso de alcanzar el espaldón llegaría disipada.

ANEJO N°3. CAMBIO CLIMÁTICO

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Cambio climático	2
1.1	IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).....	3
1.1.1	Cambio climático en el mar Mediterráneo	7
1.1.2	Cambio climático en la Costa Blanca.....	10

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Registro de temperatura 1880-2016. Fuente: Wikipedia	2
Figura 2.	Incremento de la temperatura según los escenarios. Fuente: IPCC	4
Figura 3.	Incremento temperatura. Fuente: IPCC.....	4
Figura 4.	Incremento del nivel del mar. Fuente: IPCC.....	6
Figura 5.	Cuenca del mar Mediterráneo. Fuente: stores.clearancesale.com	7
Figura 6.	Temperatura de la columna de agua del mar Mediterráneo. Fuente: Instituto Español de Oceanografía	8
Figura 7.	Incremento de la temperatura. Fuente: Atlas IPCC	9
Figura 8.	Incremento nivel del mar. Fuente: Atlas IPCC.....	9
Figura 9.	Histograma ocurrencia de precipitaciones (derecha) y gráfico de dispersión (derecha) . Fuente: Aemetblog.com	10
Figura 10.	Playa del Portet antes de la intervención. Fuente: El País	11
Figura 11.	Playa del Portet tras las obras. Fuente: Ministerio de Transición Ecológica.	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.	Resumen de incrementos de temperatura y nivel del mar según escenario. Fuente: Elaboración propia.....	10
----------	--	----

1 Cambio climático

El siguiente apartado se centra en la repercusión de las variaciones de temperatura y de cómo afectan de forma directa a los océanos y mares, provocando variaciones en su nivel medio y cambios en sus propiedades (dirección de propagación, altura de ola, corrientes, salinidad...) siendo estas complicadas de predecir.

El cambio climático hace referencia a los cambios de la temperatura a largo plazo y a sus patrones climáticos. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático lo definen como *“Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial u que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”* Se estableció como objetivo fijar los niveles de gases de efecto invernadero a un nivel controlable.

Recaltar la diferencia entre cambio climático y calentamiento global, debido a que esta última es la causante de la primera. El aumento de temperatura, provocado por la emisión de gases dañinos a la atmósfera por parte del ser humano, dan como resultado variaciones de temperatura que no se llevarían a cabo naturalmente.

El planeta ya ha sufrido con anterioridad estas variaciones climáticas de forma natural, sin embargo, existiendo una diferencia temporal entre época de calentamiento y enfriamiento de millones de años.

Entre las numerosas causas de dicho suceso se destacan: los citados gases de efecto invernadero, aumento exponencial de la población, destrucción de ecosistemas marinos, terrestres y deforestación.

La consecuente emisión de gases de efecto invernadero ha producido un aumento de 1,2°C respecto a 142 años atrás, siendo esta última década la más calurosa desde que se poseen registros. Se espera una continua crecida lo que supondría un aumento de temperatura media de cara al futuro.

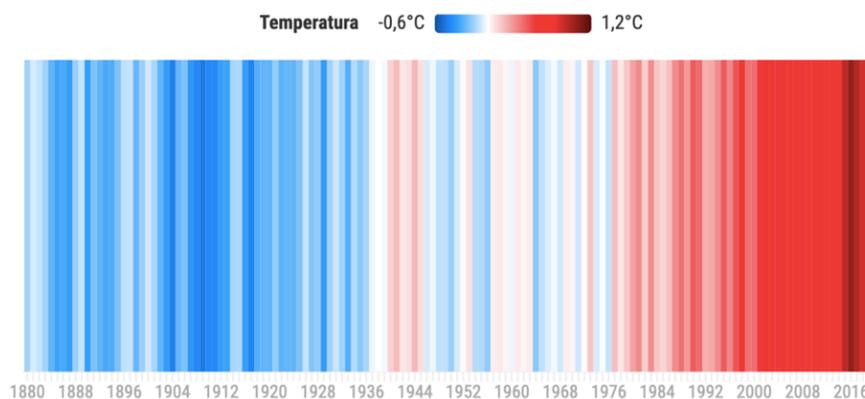


Figura 1. Registro de temperatura 1880-2016. Fuente: Wikipedia

1.1 IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)

El IPCC es una organización científica creada en 1988 con el objetivo de evaluar la situación climática del planeta y proporcionar información acerca del futuro del cambio climático, hacia donde se dirige la sociedad, causas, repercusiones y posibles soluciones. Durante su trayectoria como institución líder en la investigación climática, ha desarrollado informes dispuestos a gobiernos y público general, con el objetivo de informar y concienciar acerca de la situación actual.

En su informe publicado en 2021, *“Climate Change 2021 The Physical Science Basis”*, actualiza los datos y a su vez muestra el futuro desarrollo del planeta. **Para dicho análisis se proponen 5 posibles escenarios.** Estos se basan en modelos informáticos que buscan reproducir el comportamiento del marco climático a largo plazo. Se describen posibles futuros dependientes de la evolución de la cantidad de gases de efecto invernadero expuestos a la atmósfera, la huella humana en los próximos, el uso de recursos y la posible retroalimentación. Los escenarios son 5 y se denominan “escenarios SSPx-y” donde “x” **varía en función del futuro socioeconómico** que se usa para predecir el comportamiento del planeta. Se definen de la siguiente manera:

- **SSP1-1.9:** Refleja una trayectoria verde de bajas emisiones que respeta los límites ambientales, desarrolla políticas de protección y recuperación de biodiversidad. Las mejoras en el reparto demográfico son impulsadas por mejoras en sanidad y educación mejorando el ámbito social.
- **SSP1-2.6:** Las tendencias mundiales (tecnológica, social y económica) se siguen desarrollando gradualmente, acentuándose las desigualdades sociales. El aumento de la población sigue un aumento similar al actual y se reduce a mitad de siglo.
- **SSP2-4.5:** Se produce una rivalidad regional donde el trabajo entre países se sustituye por buscar localmente la mejor situación para cada estado. Las inversiones en educación, sanidad y tecnología disminuyen y el desarrollo económico se ralentiza.
- **SSP3-7.0:** Este escenario se basa en una sociedad impulsada por el combustible fósil. El interés por lograr un rápido progreso desaparece y el desarrollo económico se fundamenta en la explotación de recursos naturales. Señala mayores extensiones de tierra dedicadas al cultivo, debido al pobre desarrollo tecnológico.
- **SSP5-8.5:** Se trata del escenario a evitar. La contaminación por CO₂ se duplica a mitad del siglo XXI. Se produce un gran aumento en la economía, pero esta se basa en la sobre explotación de recursos fósiles y modos de vida que requieren grandes cantidades de energía. La proyección para el año 2100 se basa en el aumento de la temperatura media de 4,4º.

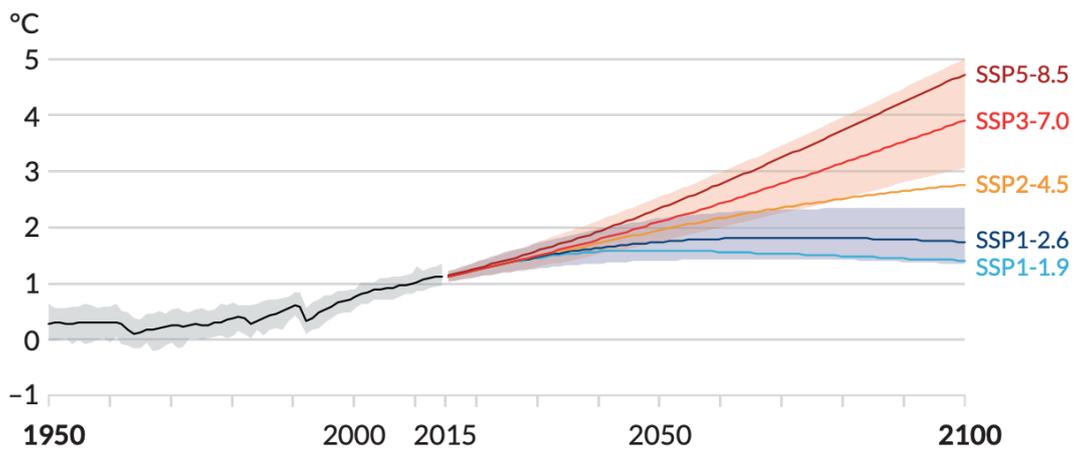


Figura 2. Incremento de la temperatura según los escenarios. Fuente: IPCC

Las líneas sólidas de la figura anterior hacen referencia a la media de temperaturas posibles según el escenario que se desarrolle, el sombreado señala el rango de valores entre los que puede variar el aumento de temperatura.

En la Figura 2 se observa las estimaciones para los distintos escenarios definidos anteriormente. El resultado más fiable para el escenario SSP1-2.6 muestra un aumento de 1,8 °C (situándose en el rango de 1,5°C a 2,5°C). Del mismo modo el escenario SSP5-8.5 cuenta con un aumento de 4,7°C en el año 2100 (margen variable entre 4°C y 5°C). El aumento de temperatura muestra cambios distintos dependiendo de los escenarios y las latitudes de la zona a estudiar. Los análisis muestran un mayor calentamiento en latitudes altas y el menor en la parte más al sur de los océanos y zonas aisladas del océano atlántico norte.

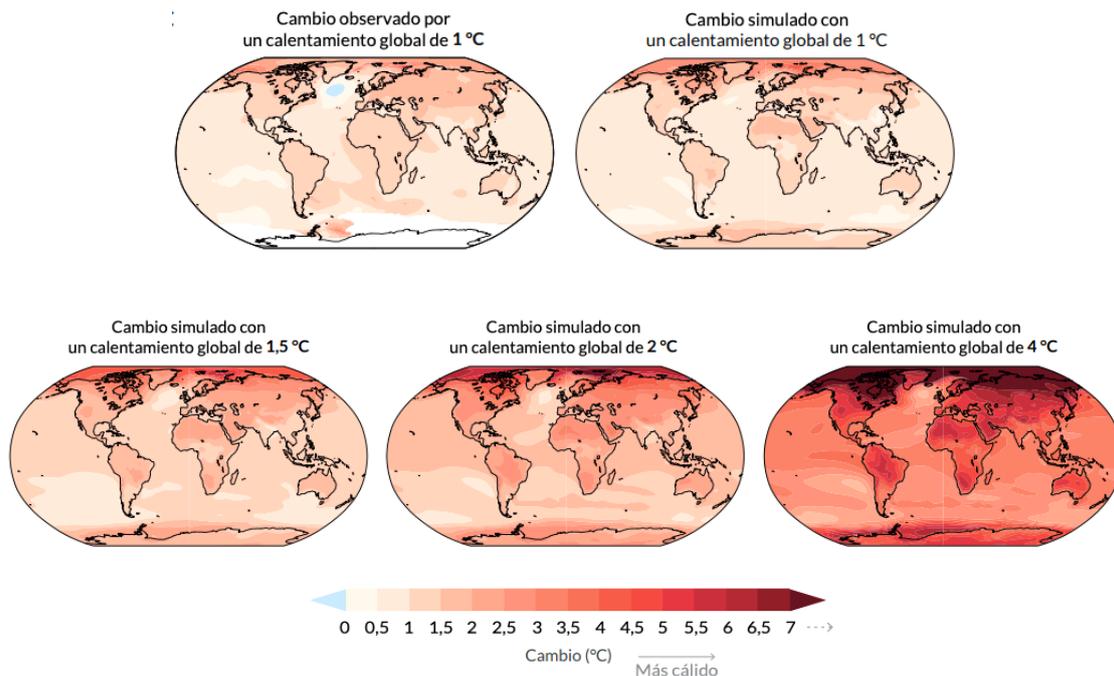


Figura 3. Incremento temperatura. Fuente: IPCC

De la imagen anterior se extraen conclusiones:

- **Disminución de la superficie de nieve** y aumento de la profundidad de deshielo en las zonas de permafrost.
- **Disminución similar de hielo** en ambos polos (Ártico y Antártico).
- Trayectorias de temporales y ciclones tropicales en dirección hacia los polos, interviniendo en los vientos, temperaturas y precipitaciones.
- **Alta probabilidad de aumento en la frecuencia de estos sucesos naturales extremos (tifones y huracanes)**. Aumento en sus velocidades e intensificando sus precipitaciones provocando mayores desastres y pérdidas económicas-materiales y humanas. La probabilidad de disminución de estos fenómenos se ha visto reducida por la acumulación de sucesos en los últimos años, superando a los proyectados.

De estos informes se obtiene que ante una constatación de emisión de gases de efecto invernadero, continuando en la misma tendencia que estas últimas décadas, causarían y provocarían mayores cambios en el entorno a lo largo del presente siglo XXI que superarían a los ya producidos en el pasado siglo XIX. La temperatura media del planeta ha experimentado cambios notables entre el siglo XXI y el pasado siglo XX, incrementándose sobre todo en las últimas 4 décadas. Las temperaturas entre 2010 y 2020 fueron 1,09º superiores a las de 1850-1900.

Los efectos observados hasta el momento son los siguientes:

- **Derretimiento de los polos:**

Este suceso ocurre de forma natural en La Tierra debido a sus épocas de glaciación, sin embargo, el problema radica en la rapidez con la que se está llevando a cabo dicho suceso. Se ha registrado descensos del 40% en la superficie de hielo en el mes de septiembre y del 10% en marzo. El deshielo convertido en líquido aumenta la cota de océanos y mares.

Globalmente se sigue el promedio de aumento de los mares de +0,1ºC por década mientras que en el polo sur esta cifra aumenta desde la década de 1950 alcanzándose los +0,17ºC. De media el nivel del mar ha aumentado 23 centímetros desde el año 1880 acumulándose la cifra en los pasados 25 años. Anualmente se produce un aumento de 23 milímetros. En las montañas, la cantidad de nieve se prevé que disminuya un 25% entre las etapas de 1986-2005 y 2031-2050. Del mismo modo se continuara con esta reducción de cara a finales de siglo XXI con disminuciones del 30% en escenarios de emisiones reducidas y 80% en las peores situaciones de altas emisiones.

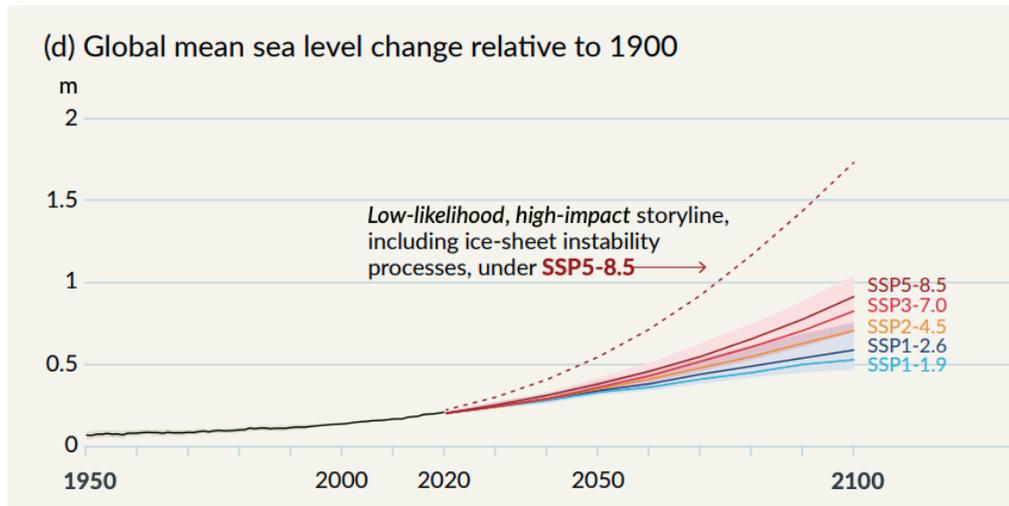


Figura 4. Incremento del nivel del mar. Fuente: IPCC

Los escenarios muestran **aumentos del nivel del mar que oscilan para el año 2100 entre 0,5 metros y 1 metro, dependiendo del escenario que se desarrolle**. Remarcar que este aumento del nivel del mar no se produce de forma equitativa en toda la superficie del planeta. Factores como la presión atmosférica, temperatura del agua y efectos planetarios hacen que sea complicado predecirlo.

- **Dilatación térmica:**

Se define dilatación como “*cambio de dimensiones por la temperatura*”. Ante mayor temperatura el agua expande su tamaño. Como consecuencia ante mayor temperatura en los océanos, estos aumentarían su volumen y su espacio.

Los océanos sufren un calentamiento más lento que la atmósfera produciendo que sus efectos y desencadenantes se materialicen décadas más tarde.

La mayor densidad y capacidad calorífica del agua en comparación con la atmósfera supone que el 84% del calor retenido haya sido absorbido por mares y océanos

- **Zonas climáticas:**

El desenlace en el cambio de las temperaturas provoca el movimiento de las zonas climáticas, ecosistemas regidos durante largos siglos por unas condiciones de temperatura, precipitación y vegetación, se ven amenazados por nuevas condiciones. Este suceso provoca cambios en la duración de las estaciones, diferente distribución de la vegetación e importantes cambios en la distribución de las especies, amenazando el ecosistema local.

Ante los factores expuestos anteriormente y proyecciones basadas en expansión de océanos, la aportación de glaciares de ambos polos sumados con la participación de reservas terrestres de agua, se muestra los siguientes resultados respecto a la subida

del nivel del mar. Los valores medios y límites superiores cuentan con un grado de confianza del 95%, los límites inferiores tienen un grado de confianza del 5%. Estos análisis no incluyen los posibles cambios en el flujo del manto del hielo por la ausencia de investigación e información. Incluyen la contribución de la corriente de hielo de la Antártica y Groenlandia, valores observados entre 1993-2003.

1.1.1 Cambio climático en el mar Mediterráneo

El mar Mediterráneo se clasifica como un mar semi-encerrado, separado del Océano Atlántico por el estrecho de Gibraltar. Localizado entre tres grandes continentes: Europa, Asia y África; está situado en la zona templada del hemisferio norte (35°N-45°N de latitud).

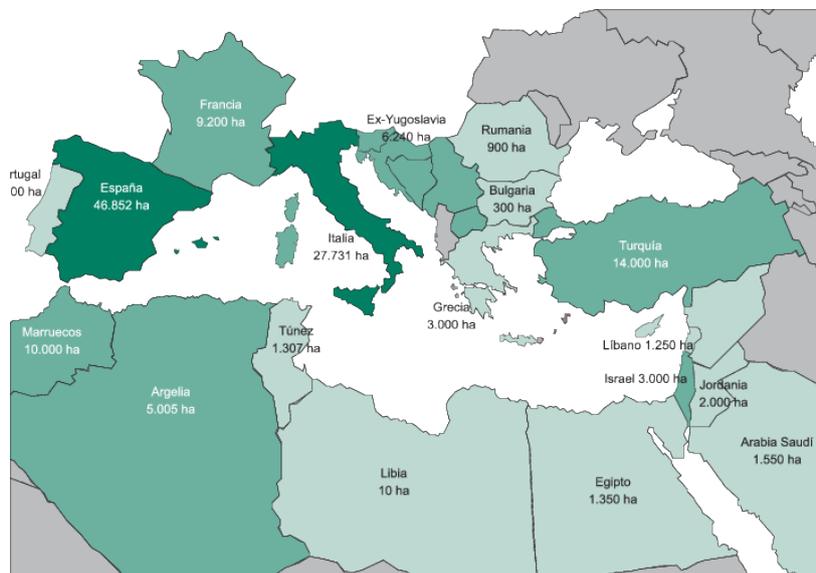


Figura 5. Cuenca del mar Mediterráneo. Fuente: stores.clearancesale.com

Se caracteriza por una costa de 46.000 km y una población costera de 100 millones de personas. Lugar que acoge al turismo y con alto tráfico marítimo (más de 200 travesías anuales). Contando la contaminación industrial y agrícola se aprecia el enorme grado de vulnerabilidad. Ciertos factores hacen al mar Mediterráneo interesante desde la investigación climática, estos se citan a continuación:

- **Variaciones de contenido calorífico:** La temperatura da la columna de agua, por las dimensiones limitadas en comparación a otros lugares y por lo tanto su menor inercia térmica. Comparando el mar Mediterráneo con el resto de los océanos, existe una diferencia de 3500 metros (profundidad media del Mediterráneo es de 1500 metros y los océanos cuentan con 4000 metros).
- **Intercambio de energía mar-océano y mar-atmósfera:** Necesario conocer flujos de calor y movimiento de las corrientes para su análisis. La localización semi-encerrada permite que su intercambio de propiedades con el océano Atlántico esté bien cuantificado.

- **Demografía:** La enorme presión demográfica, el activo turismo y el gran tráfico marítimo-costero sumado a actividades agrícolas aumentan los impactos frente a estas aguas. Se prevé que la demanda de agua para usos agrícolas aumente entre un 4% y un 18% de cara al año 2100.
- **Aportes de los ríos interrumpidos por infraestructuras hidráulicas:** Surge ante la necesidad de energías limpias y del suministro y almacenamiento de agua. Lo que de forma indirecta desencadena un aumento de salinidad al retener el agua dulce procedente de nacimientos y acuíferos. Este aumento de salinidad produce un aumento en la temperatura de ebullición, dificultando la ebullición.
- La **mayor salinidad** provocado por la disminución de agua dulce producen un aumento de densidad en las capas más próximas a la superficie. Esto repercute en la columna de agua, en forma de pérdida de estabilidad pudiendo llegar a mezclar sus diferentes capas causando una mayor homogeneización.

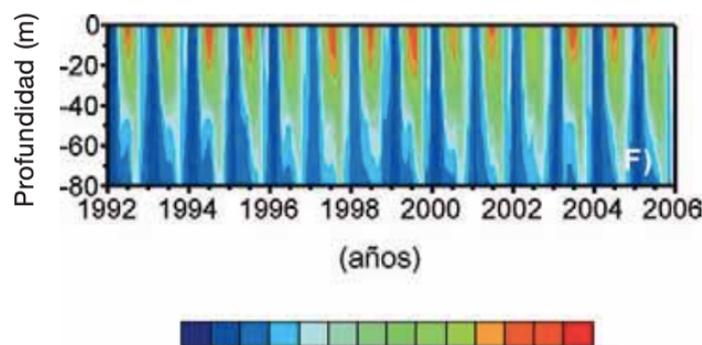


Figura 6. Temperatura de la columna de agua del mar Mediterráneo. Fuente: Instituto Español de Oceanografía

La figura anterior muestra la comparativa en un marco de 14 años. De ella se extrae el ciclo estacional de la columna y la variabilidad dentro de cada año. Como resultado de esta homogeneización se ha producido un aumento de temperatura en las capas más profundas.

La evaporación en el Mar Mediterráneo supera los aportes de las precipitaciones y afluyentes, sin su conexión al océano adyacente, se iría secando. Mediante el Estrecho de Gibraltar y sus aportaciones, este equilibrio de masas se mantiene. De cara al futuro las temperaturas extremas aumentarán su potencial y probabilidad, dando lugar a olas de calor más frecuentes y de mayor duración. Los modelos estadísticos proyectan futuros con reducciones progresivas de precipitaciones. Estos análisis cambian según el modelo de estudio, ocasionando incertidumbre. El promedio medio muestra una disminución de la precipitación entorno al 4% por cada grado aumentado de calentamiento. Lo que a largo plazo señala disminuciones entre el 4% y el 22%.

Resumiendo, para la cuenca Mediterránea y la costa que baña se establecen ciertos efectos al no ser que se reduzcan las emisiones. Para el periodo comprendido hasta 2050, todos los modelos se aproximan en sus predicciones con una variación máxima de

0,3 metros. A largo plazo dependiendo del escenario futuro, se dan grandes diferencias, desde la estabilización (0,28 metros) al aumento de casi la unidad (0,97 metros). Esto supondrá los siguientes efectos:

- **Incremento de las temperaturas** (retroalimentación) superando la media, que se efectuará más notablemente en los meses de verano. Para escenarios extremos (RCP8.5) supondrá aumentos de 6°C en meses estivales y 3,8°C en meses invernales.
- **Reducción de lluvias** en la península, siendo más notable el cambio en las localidades del sur. En el escenario RCP8.5, para finales de siglo se producirán reducciones de 12 y 24% para los meses de invierno y verano, respectivamente.
- **Aumento de precipitaciones en fenómenos de tormentas.**

El atlas interactivo del IPCC permite hacer una aproximación de los incrementos de temperatura y nivel del mar aplicados al Mar mediterráneo. Este atlas, permite seleccionar diferenciar por zonas, y ver los registros de cara al futuro. A modo de ejemplo se adjuntan los gráficos para un escenario SSP5-8.5 donde se observa la clara tendencia de aumento de temperatura en los meses veraniegos junto con el cambio de pendiente en el aumento del nivel del mar hacia el año 2070.

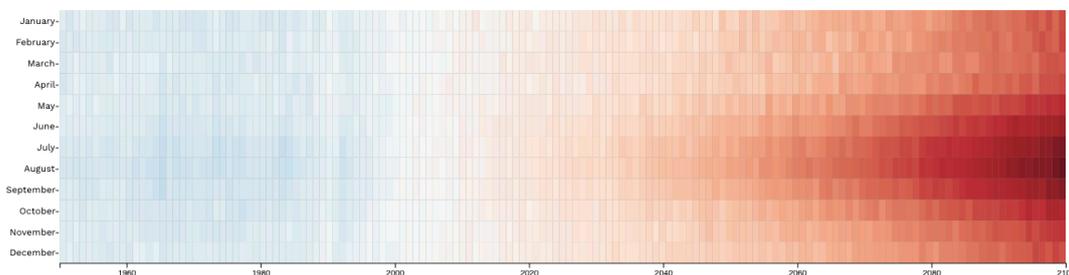


Figura 7. Incremento de la temperatura. Fuente: Atlas IPCC

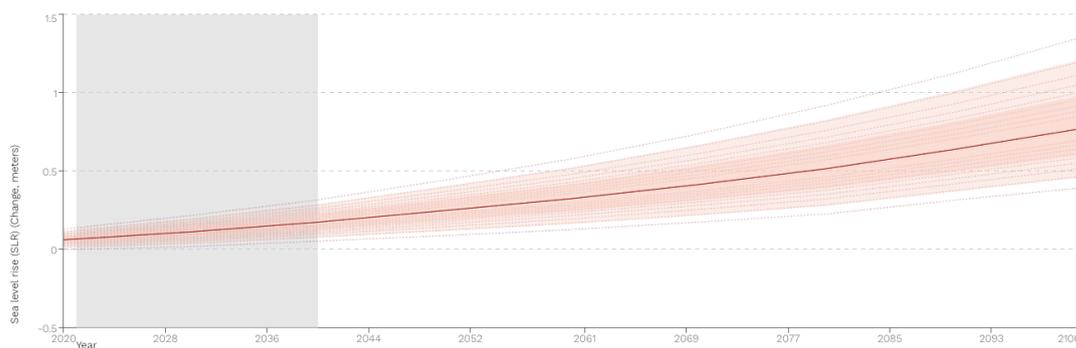


Figura 8. Incremento nivel del mar. Fuente: Atlas IPCC

A modo de aproximación, y para posterior análisis en el apartado de modos de fallo, se han recogido los datos correspondientes al aumento del nivel de mar y temperatura a través de las gráficas anteriores. Se recogen en la Tabla 1:

Año	2050				2100			
Escenario	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Nivel del mar [m]	0,2	0,25	0,3	0,33	0,45	0,55	0,67	0,75
Temperatura [°]	2,1	2,3	2,8	3,2	2,2	3,2	4	6

Tabla 1. Resumen de incrementos de temperatura y nivel del mar según escenario. Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Cambio climático en la Costa Blanca

El riesgo principal se focaliza en la ocurrencia simultánea de varios eventos naturales, como bien pueden ser: aumento del nivel del mar, marea meteorológica y oleaje extremo relacionados con fuertes tormentas que produzcan grandes precipitaciones.

A partir de valores recopilados por diversas estaciones meteorológicas AEMET que aportan datos desde 1965, situadas en la provincia Valenciana y Balear, se analiza su comportamiento estadístico. Tener una gran variedad de estaciones con antigüedad ayuda en la fiabilidad de los resultados mostrados en la siguiente imagen.

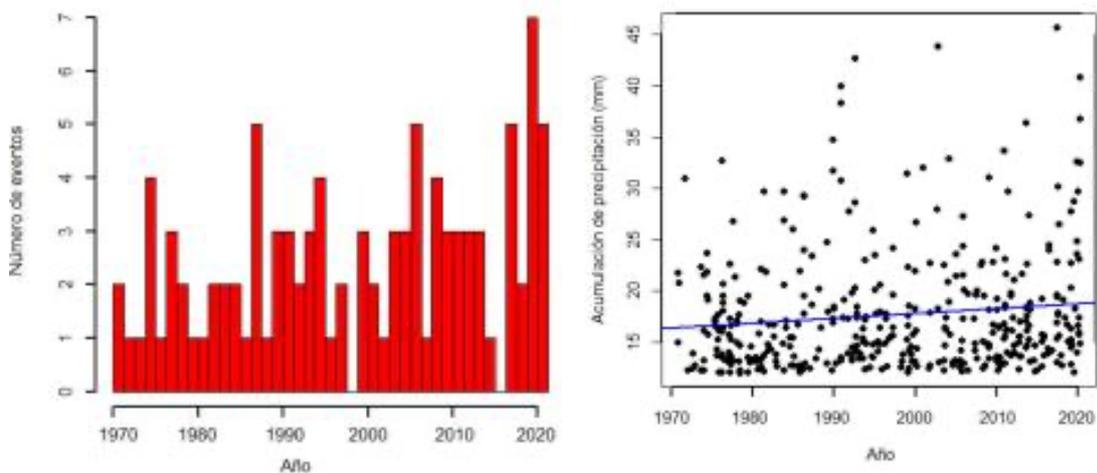


Figura 9. Histograma ocurrencia de precipitaciones (derecha) y gráfico de dispersión (derecha) . Fuente: Aemetblog.com

La figura de la izquierda es un histograma que representa la ocurrencia de sucesos mayores a percentil 99,5. Resaltar el periodo 2015-2020 con acumulación de 3 de los 5 capítulos con más repetición de eventos. Muestra que en 55 años la ocurrencia de capítulos se acumula en la segunda mitad.

La figura de la derecha representa la acumulación de precipitaciones, apoyada de una recta de regresión lineal. Esta recta cuenta con cierta pendiente, aumentando su valor en el eje vertical de 16 a 19 mm, lo que se traduce en un aumento del 3% desde 1965.

Los resultados muestran tendencias que señalan aumentos de frecuencia e intensificación de lluvias torrenciales o muy fuertes. Durante el año 2019-2020 se

produjeron tres grandes temporales, algo nunca experimentado. La borrasca Gloria registró las mayores precipitaciones registradas y consecuentes impactos en la costa.

El fuerte viento y oleaje de estos eventos deja como resultado la desaparición por completo del tramo de arena de la Playa del Portet (Moraira), arrastrando algas y residuos a la costa. Durante la primavera del 2017 se realizó una de las tantas obras de reacondicionamiento. Fue necesaria una inversión de 239.504,88 € para restaurar la playa y un volumen total de 3.745,19 m³ de arena procedente de playas en el río Algar.



Figura 10. Playa del Portet antes de la intervención. Fuente: El País



Figura 11. Playa del Portet tras las obras. Fuente: Ministerio de Transición Ecológica

ANEJO Nº4. ESTADO ACTUAL Y PROBLEMÁTICA

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Dique principal.....	2
1.1	Primera sección.....	3
1.2	Segunda sección.....	3
1.3	Tercera sección.....	4
1.4	Cuarta sección.....	4
2	Contradique.....	4
3	Problemática actual.....	6
3.1	Estudio de oferta y demanda.....	6
3.1.1	Náutica española.....	6
3.1.2	Club náutico de Moraira.....	7
3.2	Mal funcionamiento de la obra de abrigo.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Planta del puerto deportivo de Moraira. Fuente: DWG aportado por el Club..	2
Figura 2.	Sección tramo 1 dique. Fuente: Elaboración propia.....	3
Figura 3.	Sección tramo 2 dique. Fuente: Elaboración propia.....	3
Figura 4.	Sección tramo 3 dique. Fuente: Elaboración propia.....	4
Figura 5.	Sección tramo 4 dique. Fuente: Elaboración propia.....	4
Figura 6.	Contradique. Fuente: Google Earth.....	5
Figura 7.	Crecimiento en la construcción de nuevos puertos. Fuente: Cerchiello, G. (2018). La sostenibilidad de la náutica de recreo. Estudio de caso del fondeo de las embarcaciones en Jávea (Alicante).....	6
Figura 8.	Disminución de embarcaciones matriculadas. Fuente: Cerchiello, G. (2018). La sostenibilidad de la náutica de recreo. Estudio de caso del fondeo de las embarcaciones en Jávea (Alicante).....	7
Figura 9.	Distribución de los amarres. Fuente: Náutica Mengual.....	8
Figura 10.	Temporal Moraira Mayo 2013. Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=IXPHbcSLjt8	10

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Nacionalidad de la población en municipios cercanos. Fuente.....	8
----------	--	---

A continuación, se expone en este anejo la geometría de la obra de abrigo, diferenciando sus tramos, mostrando sus secciones y materiales constituyentes. Posteriormente se describe el problema que envuelve a la estructura y que busca ser solucionado en los siguientes anejos.

1 Dique principal

La obra de abrigo abarca una **longitud de 574 metros**, que se diferencian en un primer tramo de que arranca desde tierra (146 metros) y un segundo tramo que va desde donde efectúa el giro hasta el final (428 metros). Al contrario que los diques verticales, este disipa la energía producida por el oleaje. **Se diferencian 4 secciones del dique:**

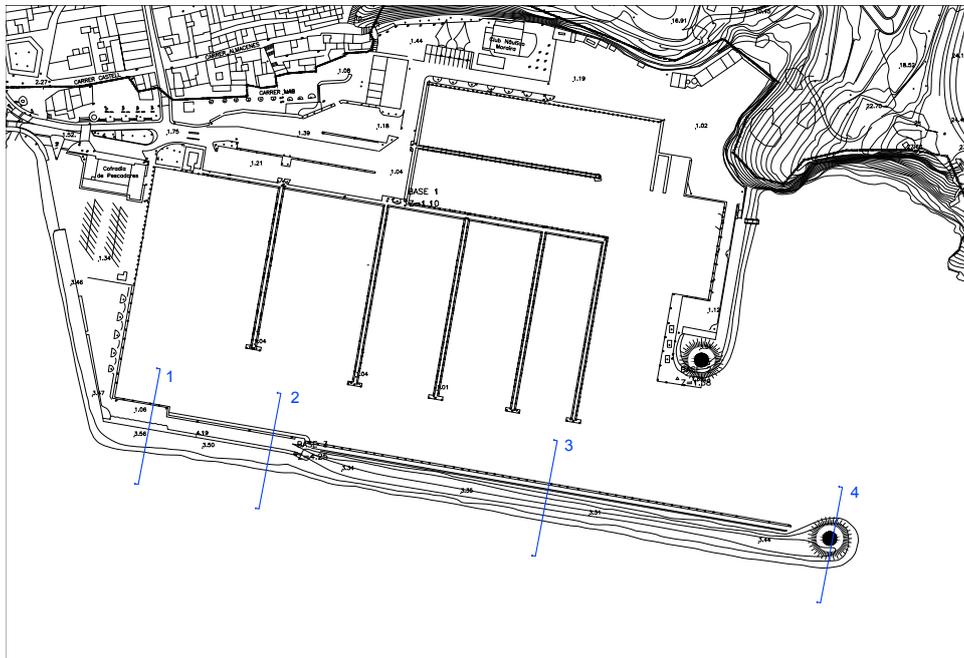


Figura 1. Planta del puerto deportivo de Moraira. Fuente: DWG aportado por el Club

La cara exterior del dique se mantiene igual a lo largo de toda su longitud. La componen 4 capas. Una primera capa exterior de 2,6 metros de grosos desarrollado también en su coronación. Cuenta con una pendiente 1V 2,3H y un desarrollo de 26,8 metros. Este primer manto está clasificado como escollera de 5,5 y 8,5 toneladas. La escollera está dispuesta de forma que las caras planas están orientadas en el mismo sentido, constituyendo un plano exterior. La segunda capa la conforma una escollera de 2 toneladas, de forma trapezoidal, con pendiente paralela a la primera en su exterior y una mayor inclinación en su parte cercana al núcleo. La tercera capa es de 1 metro de espesor y pendiente 4V 5H, que cuenta con una longitud de 15 metros. En el núcleo de la estructura, la cantidad de material varía según la sección, localizándose el mayor porcentaje en el tramo 4.

1.1 Primera sección

La primera sección del dique cuenta con una longitud de 30 metros, siendo la más reducida de las cuatro. Esta sección cuenta con un espaldón de 1,75 metros de anchura en su coronación, que eleva la altura total de la estructura medio metro adicional respecto a las secciones 3 y 4. En su parte de aguas protegidas dispone de una carretera, un estacionamiento de vehículos y un pantalán, por lo que la anchura total interior es de 12,5 metros, siendo esta la mayor de todo el dique.

El amarre donde se sitúan las embarcaciones lo componen 3 bloques de hormigón superpuestos de diferentes dimensiones que proporcionan una altura respecto a la lámina de agua de 1 metro. La parte sumergida del amarre la componen dos capas de escollera de talud paralelo 5H 4V y distinto ancho. Cuentan con una pendiente del 1% desde el espaldón hacia la dirección exterior para evacuar aguas acumulados de lluvia y posibles rebases.

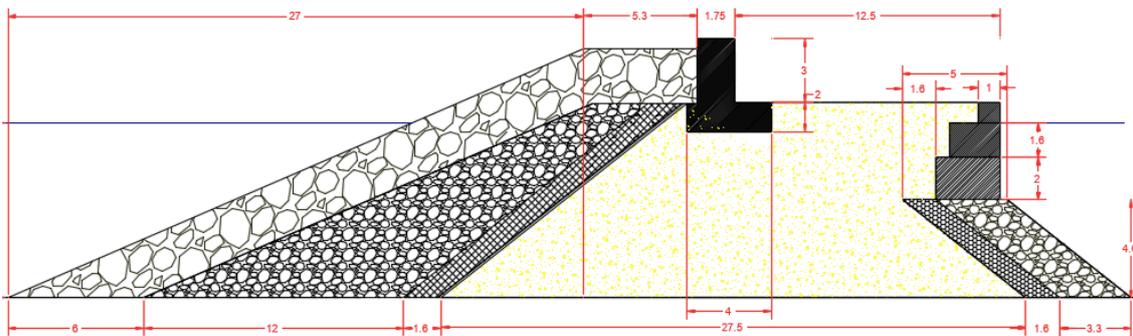


Figura 2. Sección tramo 1 dique. Fuente: Elaboración propia

1.2 Segunda sección

Este segundo tramo tiene una longitud de 74 metros. El interior sigue formado por una vía para personas y amarres, sin embargo, su anchura es de 8,5 metros hasta el espaldón y no dispone de zona de estacionamiento de vehículos.

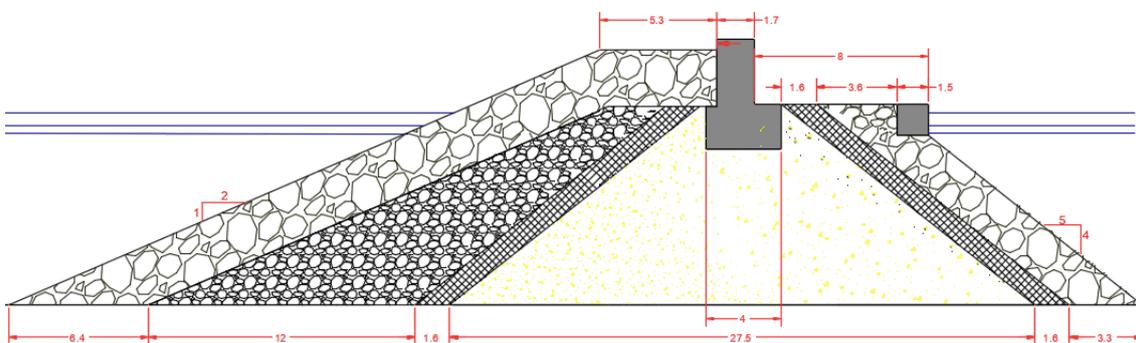


Figura 3. Sección tramo 2 dique. Fuente: Elaboración propia

La estructura donde se ubican los amarres la compone una viga cantil que tiene una longitud igual a la de la sección. Este se apoya encima de un manto de escollera que

asciende desde la base a la superficie de inclinación 5H 4V. Para evitar que el material del núcleo escape fuera de él se usa una segunda capa más estrecha, de pendiente paralela a la anterior.

1.3 Tercera sección

La sección número 3 es la de mayor longitud, tiene una extensión de 285 metros. La cara interna arranca desde la base del espaldón con un doble manto de espesores 2,10 y 1 metros, diseñados con pendiente 5H 4V que finalizan en el terreno. Da abrigo a un pantalán de 3 metros de anchura, donde las embarcaciones se colocan de forma abarloada.

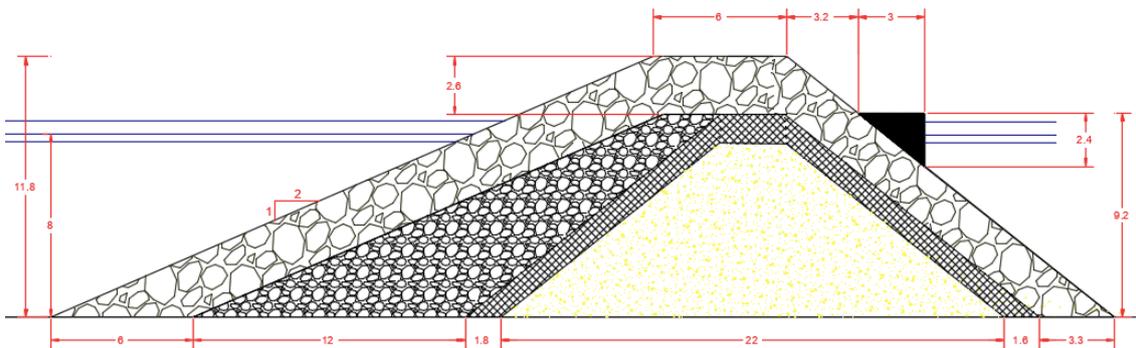


Figura 4. Sección tramo 3 dique. Fuente: Elaboración propia

1.4 Cuarta sección

Por último, la cuarta sección es la bocana del puerto emplea un diseño completamente simétrico a ambos lados, que forman en planta un círculo de radio 30 metros aproximadamente. No hay amarres en su interior y cuenta con una señal de balizamiento en coronación.

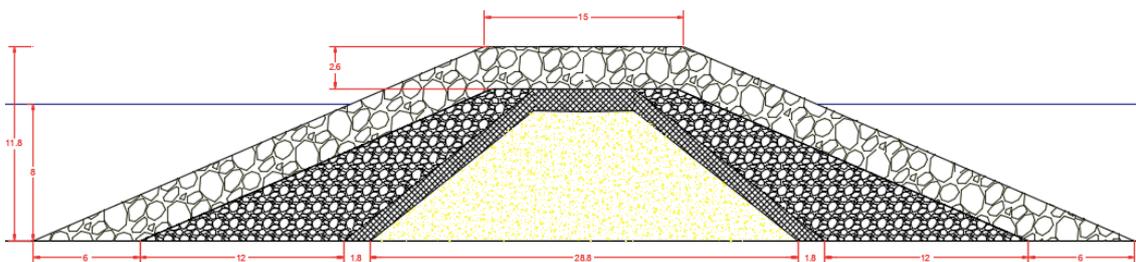


Figura 5. Sección tramo 4 dique. Fuente: Elaboración propia

2 Contradique

Desde la construcción del puerto, el contradique ha estado constituido por dos tramos, obteniendo conjuntamente una longitud total de 113 metros, obteniendo una obertura de bocana de 65 metros. Nace en aguas poco profundas al pie de la montaña y se

adentra perpendicular al dique principal alcanzando una profundidad máxima de 3 metros.

Su primera sección es la de mayor longitud con 64 metros de largo. Su parte exterior la compone un manto de escollera, mientras que el interior sirve de amarres para embarcación deportiva de gran eslora. La segunda sección es de planta circular. Sobre ella se ha dispuesto una explanada de hormigón en la que se ubica la instalación de combustible. Parte de esta explanada sirve también de amarres para embarcaciones reducidas (embarcaciones de vela y motos acuáticas).

Cabe destacar que, por su geografía y entorno, el contradique se ve poco expuesto a la acción del oleaje. Sin embargo, con poca probabilidad, puede llegar a incidir y tratándose de la parte más frágil de toda la estructura de protección por su reducida altura de coronación, se pueden ocasionar destrozos como ocurrió en el año 2020 con el temporal gloria.

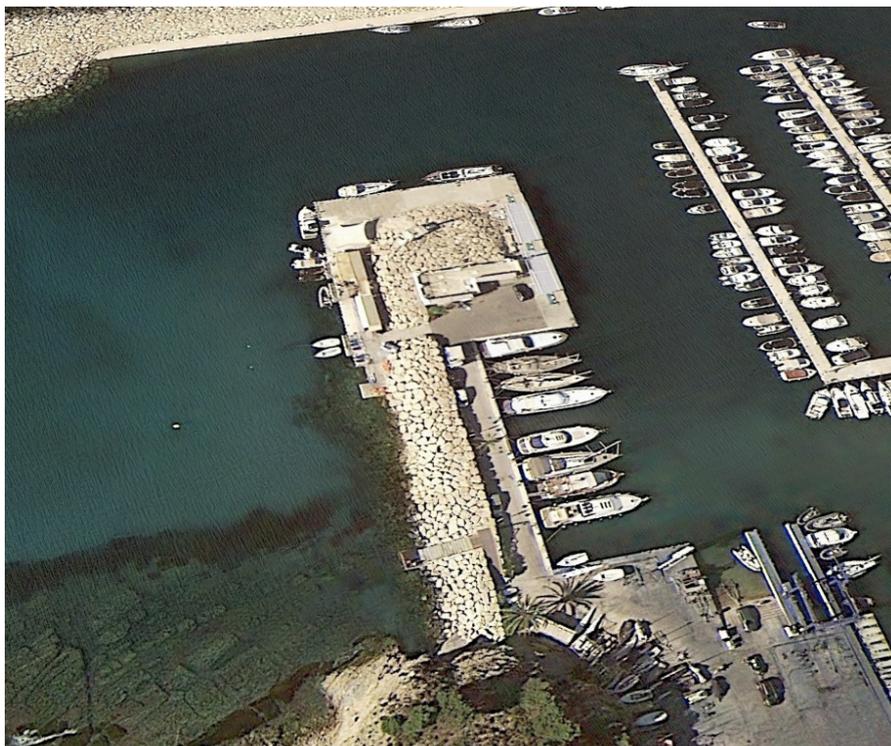


Figura 6. Contradique. Fuente: Google Earth

Hay que aclarar que este estudio se limita a la mejora del dique principal y que esta infraestructura queda fuera de alcance de cara al estudio de los modos de fallo y las soluciones.

3 Problemática actual

Se presenta en los siguientes apartados los problemas principales asociados a la estructura: aumento de la demanda ante la escasez de amarres y el mal funcionamiento de la estructura ante temporales que pone en riesgo todo lo situado cerca del dique:

3.1 Estudio de oferta y demanda

3.1.1 Náutica española

España es un gran país para el desarrollo de la actividad náutica, sus calmadas aguas en gran parte del año y su clima hacen de la costa un lugar de desarrollo y comercio para estas actividades. El sector náutico español cuenta con un ratio embarcaciones/población inferior a otros países de la unión europea lo que favorece a un prometedor futuro. Los últimos datos relativos (2015) informan que España cuenta con 375 puertos deportivos y 441 instalaciones para la práctica náutico-deportiva que albergan un total de 129.554 amarres de uso exclusivamente náutico. La mayoría de ellos están situados en las orillas del Mediterráneo: Andalucía, Cataluña, Murcia y en especial la Comunidad Valenciana. Como se puede observar en la figura, el número de puertos ha aumentado significativamente en los últimos 39 años, casi triplicándose su construcción.

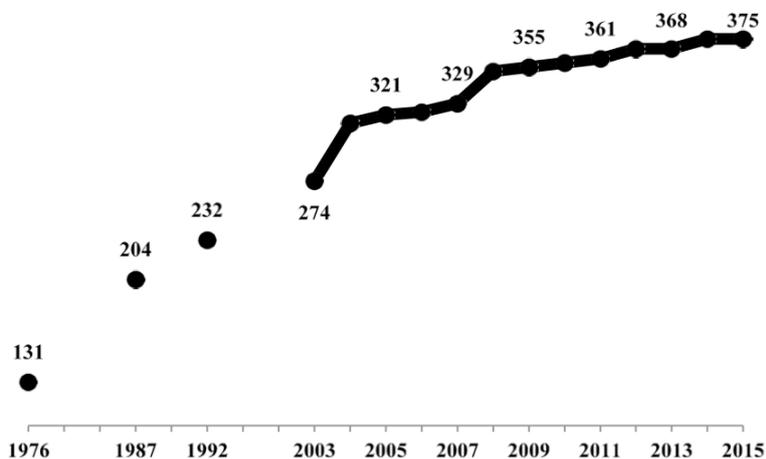


Figura 7. Crecimiento en la construcción de nuevos puertos. Fuente: Cerchiello, G. (2018). La sostenibilidad de la náutica de recreo. Estudio de caso del fondeo de las embarcaciones en Jávea (Alicante)

En lo referente a la matriculación, hasta el año 2007 se mantuvo una crecida evolución que cayó completamente con la crisis económica llegando a niveles mínimos y descensos de poco más del 40%. Esta tendencia cambió en 2013 donde el mercado comenzó a recuperarse de forma suave. En la figura se muestra el número de embarcaciones matriculadas en el periodo de 2005 a 2015, en miles de unidades. Los años siguientes ha seguido creciendo la demanda y por lo tanto el número de nuevas

matrículas. Tras un pequeño descenso por la pandemia (2020), el acumulado del año 2021 contabilizó un total de 7.178 embarcaciones nuevas, un 19% más que el año 2019 y un 33% más que 2008.

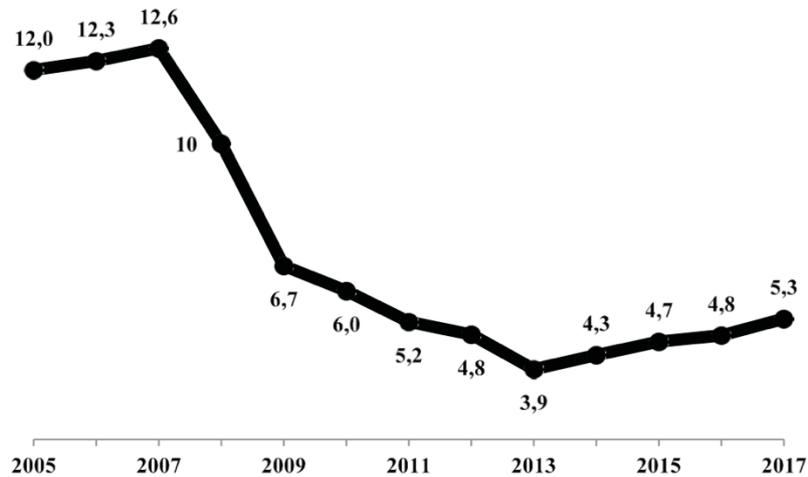


Figura 8. Disminución de embarcaciones matriculadas. Fuente: Cerchiello, G. (2018). La sostenibilidad de la náutica de recreo. Estudio de caso del fondeo de las embarcaciones en Jávea (Alicante)

El mercado de embarcaciones está muy solicitado especialmente para barcos de eslora inferior a 10 metros, conformando el 76,72% del mercado. Destacan sobre todo las embarcaciones de motor abarcando el 44,7% del total, en segundo lugar, se encuentran las embarcaciones semirrígidas con un 12,5% y en tercer lugar las neumáticas plegables con un 9,8%.

3.1.2 Club Náutico de Moraira

La estructura del puerto la componen:

- Muelles de pilotes. Un total de 7 muelles se adentran en la dársena y conforman los amarres del 63 al 454. Cuenta con esloras de entre 6 y 16 metros y mangas de hasta 4,5 metros.
- Muelle del dique. Las embarcaciones se colocan de forma paralela al dique, para respetar la anchura de la bocana. No se tienen datos de la cantidad de amarres que pueden almacenar.
- Muelle de madera. Lo conforman los amarres del 486 al 515. Se emplea para embarcaciones de eslora hasta 9 metros.
- Muelle de poniente. Situado en el codo del dique y formado por 11 amarres (474 al 485). Alcanza la manga más grande del puerto con hasta 5,5 metros.
- Muelle norte. Recoge los amarres del 13 al 62 y almacena las embarcaciones más pequeñas del puerto. Esloras de hasta 6,5 metros y hasta 2,4 metros de manga.

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

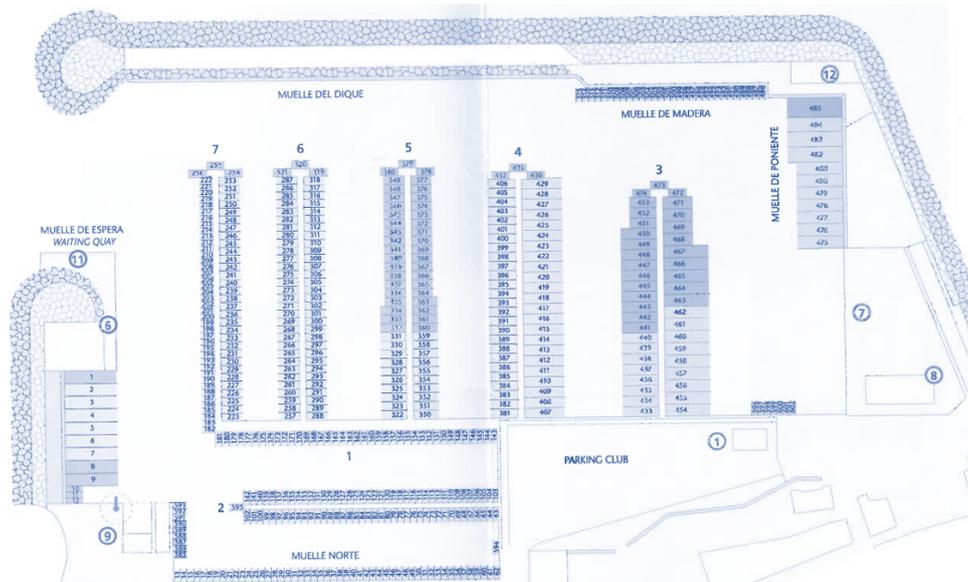


Figura 9. Distribución de los amarres. Fuente: Náutica Mengual

Atendiendo a la siguiente tabla extraída de la página web forociudad.com, se puede apreciar como el número de habitantes en la Costa Blanca ha aumentado significativamente en este principio de siglo. Esto se debe al gran aumento de nuevos empadronamientos en los ayuntamientos de los municipios costeros por parte de turistas y extranjeros. Como se puede apreciar en la figura siguiente, los datos de 2010 muestran los municipios de Jávea, Benitachell y Teulada, los que cuentan con mayor crecida de población extranjera.

Municipio	2010			Procedencia				
	Extranjeros	Total habitantes	%Extr.	Reino Unido	Alemania	Colombia	Marruecos	Ecuador
Jávea	17414	31909	55%	8323	2113	742	703	403
Benitachell	3867	5488	70%	2214	584	28	59	40
Teulada	9829	14778	67%	3998	1822	351	274	85
Calpe	18873	29909	63%	4462	3950	492	659	53
Poblets, Els	2073	3310	63%	428	924	29	18	3
Llíber	707	1056	67%	470	115	0	1	0
Ràfal D'almunia	375	726	52%	229	61	1	4	8
Alcalí	931	1524	61%	684	55	1	4	10
Murla	332	629	53%	242	17	1	1	1
Orba	1490	2629	57%	968	204	2	10	17

Tabla 1. Nacionalidad de la población en municipios cercanos. Fuente

A los datos vistos anteriormente, se le ha de sumar el incremento de población durante la temporada alta. Las últimas cifras señalan el aumento del más del doble dado la alta población de extranjeros con residencias de verano, llegando a triplicarse y alcanzar los **30000 habitantes solo en Teulada**.

Una vez obtenida la población se calcula el número de amarres descritos en el artículo "Spiagge e Porti Turistici de G. Berriolo y G. Siritto".

Se describe la población con la letra P y se calcula los valores N_p y N_t , que corresponden con el número de embarcaciones fijas en el puerto y las de estacionamiento temporal.

$$N_p = \frac{3P}{100} = \frac{3 \times 30.000}{100} = 900 \text{ embarcaciones}$$

$$N_t = \frac{P}{100} = \frac{30.000}{100} = 300 \text{ embarcaciones}$$

Sumando se obtiene que **el número de amarres adecuados para la náutica deportiva en el Puerto de Moraira es de 1200 embarcaciones. Actualmente el puerto dispone de la mitad, 620 amarres**, lo que ha supuesto el colapso en el mercado, dificultando la adquisición de una plaza. El resto de puertos deportivos de alrededor (Jávea, Denia, Altea...) se encuentran en una situación similar.

Comentar, por último, que **las estrategias actuales no se basan en fomentar la construcción de nuevos puertos para albergar más embarcaciones y hacer frente a la creciente matriculación lo que conllevaría a una explotación de la costa y del medio marino. En vez de eso, se busca mejorar la infraestructura actual y acondicionar zonas en desuso para crear nuevos amarres.**

3.2 Mal funcionamiento de la obra de abrigo

La función principal de un dique de protección es evitar el paso del agua a las dársenas interiores del puerto y proporcionar aguas calmadas, evitando así las pérdidas económicas, materiales y humanas.

El temporal de 2013 provocó grandes corrientes de viento que golpearon la costa de Teulada. El mar y el oleaje de más de 3 metros de altura dejaron sin costa de arena la playa del Portet, lugar colindante al puerto. En las instalaciones del club náutico, el oleaje incidía con tal fuerza que como se puede observar en la Figura 10, el agua se elevaba por encima del dique, pasando con facilidad al otro lado de la estructura.

En el año 2020, la temporal gloria, catalogado como el temporal más grande desde 1982, dejó destrozos en las instalaciones el puerto. A pesar de que el viento provenía de direcciones norte y nor-noreste, direcciones ante las que el puerto se encuentra muy resguardado por su entorno, el impacto del oleaje de mar de fondo provocado por la borrasca dejó daños materiales en el muelle de espera. Varias olas superaron la parte más frágil del puerto, el contradique, superando su coronación y golpeando embarcaciones de vela.

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

Después de este suceso, se llevaron a cabo obras de reacondicionamiento para recuperar la operatividad del muelle. Las mejoras consistieron en reconstruir el muelle con hormigón armado y respecto a la rampa se mejoró su capacidad y resistencia.



Figura 10. Temporal Moraira Mayo 2013. Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=IXPHbcSLjt8>

ANEJO Nº5. ESTUDIOS PREVIOS

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Estudio del medio físico	4
1.1	Clima.....	4
1.2	Precipitaciones	5
1.3	Presión atmosférica.....	5
2	Ecosistema marino.....	6
2.1	Posidonia Oceánica	6
3	Geología	9
3.1	Entorno regional.....	9
3.2	Geología regional	9
4	Acciones sísmicas.....	11
5	Batimetría	13
5.1	Batimetría regional.....	14
5.2	Batimetría local	15
5.3	Batimetría a pie de dique	15
6	Clima marítimo	16
6.1	Nivel del mar	17
6.2	Régimen de vientos.....	21
6.3	Caracterización del oleaje y propagación.....	22
6.3.1	Régimen medio	22
6.3.2	Régimen extremal	25
6.4	Propagación del oleaje	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Precipitación media anual. Fuente:.....	5
Figura 2.	Presión atmosférica de Jávea. Fuente: Estación meteorológica Jávea	6
Figura 3.	Posidonia Oceánica. Fuente: Visor Cartográfico de la CV	7

Figura 4. Representación de las praderas de Posidonia Oceánica .Fuente: Estudio del actual estado de ocupación de la pradera de Posidonia oceánica en la zona adyacente al dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Alicante).	8
Figura 5. Mapa geológico. Fuente: IGME.....	11
Figura 6. Leyenda. Fuente: IGME.....	11
Figura 7. Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: NCSE-02	12
Figura 8. Batimetría regional. Fuente: Navionics.....	14
Figura 9. Batimetría de las aguas protegidas. Fuente: Club Náutico de Moraira	15
Figura 10. Batimetría a pie de dique. Fuente: Elaboración propia	16
Figura 11. Ubicación de la boya de Cabo de Palos. Fuente: Puertos del Estado.....	17
Figura 12. Esquema datum mareógrafo REDMAR Gandía	18
Figura 13. Niveles respecto al cero REDMAR. Fuente: Puertos del Estado.....	19
Figura 14. Distribución de la frecuencia. Fuente: Puertos del Estado	19
Figura 15. Histograma de la distribución de frecuencia relacionado con el nivel del mar	20
Figura 16. Estadística de máximos y mínimos	20
Figura 17. Histograma de nivel horario. Fuente. Puertos del Estado	20
Figura 18. Rosa de los vientos. Fuente: Puertos del Estado	21
Figura 19. Rosa de oleaje. Fuente: Puertos del Estado.....	23
Figura 20. Régimen medio de altura significativa. Fuente: Puertos del Estado.....	24
Figura 21. Régimen medio de altura significativa. Fuente: Puertos del Estado.....	24
Figura 22. Régimen medio de altura significativa. Fuente: Puertos del Estado.....	25
Figura 23. Probabilidad de Weibull ajustada. Fuente: Puertos del Estado	27
Figura 24. Rosa de oleaje extremo. Fuente: Puertos del Estado	27
Figura 25. Oleaje incidente por la morfología de la costa. Fuente: Navionics.....	28
Figura 26. Esquema de las posibles direcciones de oleaje respecto de la perpendicular al dique. Fuente: Elaboración propia	28
Figura 27. Esquema del proceso de refracción. Fuente: Flores	30
Figura 28. Fuente: Cress.nl.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clima en la Costa Blanca. Fuente: Elaboración propia	4
Tabla 2. Coeficiente "C". Fuente:	13
Tabla 3. Valores para el cálculo de la aceleración sísmica de cálculo. Fuente: Elaboración propia.....	13
Tabla 4. Distribución de velocidades del viento. Puertos del Estado	22
Tabla 5. Altura significativa (Hs)-dirección de procedencia. Periodo de tiempo anual. Fuente: Puertos del Estado.....	23

Tabla 6. Valores IRE. Fuente: ROM 0.0	26
Tabla 7. Valores ISA. Fuente: ROM 0.0	26
Tabla 8. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 9. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 10. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 11. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 12. Altura de oleaje corregida mediante servidor Cress.nl. Fuente. Elaboración propia.....	34
Tabla 13. Altura corregida contando con la bajamar. Fuente: Elaboración propia	34
Tabla 14. Altura corregida contando con la pleamar. Fuente: Elaboración propia	35



La recopilación de información previa al análisis de los datos es un aspecto clave y fundamental para poder desarrollar un correcto estudio de soluciones. En el siguiente apartado se recogen los aspectos relacionados con la batimetría, geología, sismicidad y clima marítimo centrados a nivel local y regional.

1 Estudio del medio físico

1.1 Clima

Para el análisis del clima se ha empleado los datos provenientes por la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología).

En primer lugar, se debe diferenciar dos conceptos, clima y tiempo. El tiempo indica una situación sinóptica de la atmósfera en un instante determinado, por otro lado, el clima se expresa como una probabilidad de ocurrencia de dicha situación. Tal conocimiento es fundamental para el desarrollo de las actividades, ya que incide directamente sobre la población. La distribución de temperatura en la península española es muy variada dependiendo de factores como la latitud, vientos, corrientes marinas, proximidad a la costa ... etc y principalmente la radiación solar. Dentro de la zona climática del planeta, esta se centra en la zona templada norte, concretamente se corresponde Alicante a las coordenadas geográficas: Longitud E0°8'5.42", Latitud N38°41'19.18"

El sureste de la península disfruta de un clima templado mediterráneo teniendo veranos cálidos e inviernos suaves. Según los datos ofrecidos por la Agencia Meteorológica, la **temperatura anual media ronda los 18º**, registrándose el pico más alto de temperatura el 13 de agosto de 2022, con 42ºC y la temperatura mínima absoluta -4,6ºC, (media de las máximas más altas: 33,9ºC) , (media de las mínimas más bajas : 2,4).

Mes	Mínimo diario (°C)	Máximo diario (°C)	Media (°C)
Enero	7	16,1	11,55
Febrero	7,9	17,2	12,55
Marzo	9	18,7	13,85
Abril	10,8	20,2	15,5
Mayo	14,1	22,8	18,45
Junio	17,9	26,2	22,05
Julio	20,8	29,1	24,95
Agosto	21,4	29,6	25,5
Septiembre	18,6	27,6	23,1
Octubre	14,5	23,6	19,05
Noviembre	10,4	19,5	14,95
Diciembre	8,1	16,8	12,45

Tabla 1. Clima en la Costa Blanca. Fuente: Elaboración propia

Los meses correspondientes al verano (julio y agosto) pueden verse afectados por puntuales masas de aire de procedencia tropical originados en el norte de África. Estos se caracterizan por sequedad y altas temperaturas que producen olas de calor y fuerte insolación.

1.2 Precipitaciones

Las precipitaciones son irregulares, varían entre 400 mm y los 700 mm anuales, teniendo una duración aproximada de 9 meses, con un intervalo móvil de 31 días.

La comarca de la Marina Alta tiende a concentrar mayores precipitaciones que el resto de la provincia. Este fenómeno se debe a su propia orografía, las barreras montañosas que le rodean. Destacan el Parque Natural Macizo del Montgó y la Sierra de Bernia, estas formaciones montañosas repercuten directamente en la circulación de las masas de aire. Al colisionar, el aire para ascender tiende a enfriarse, lo que provoca las precipitaciones.

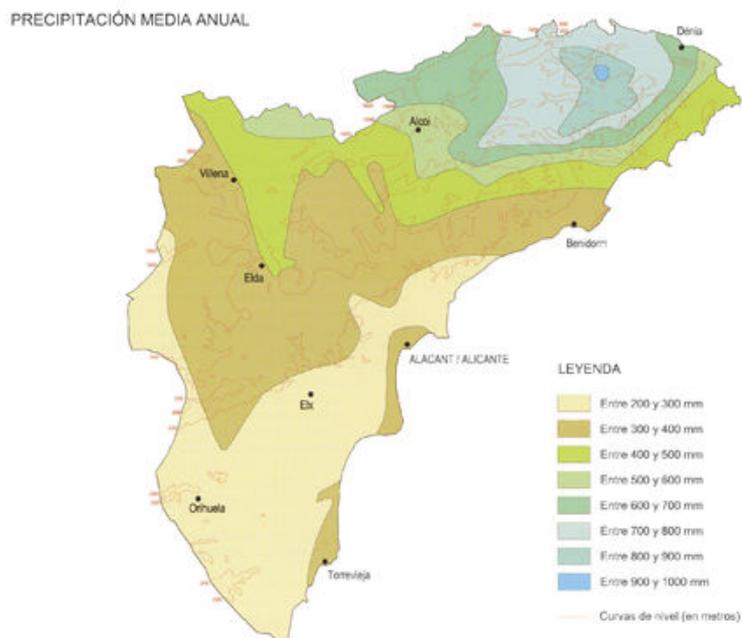


Figura 1. Precipitación media anual. Fuente: Meteoblue

1.3 Presión atmosférica

La Estación Meteorológica de Jávea proporciona los siguientes datos acerca de la presión diaria entre los años 2008-2021. Se considera el valor de 1013 hectopascales (hPa) como la presión atmosférica media a nivel del mar, si dicho valor es superior o inferior, se clasifica dicha zona de actuación como zona bajo efectos de anticiclón o borrasca, respectivamente.

Los valores máximos y mínimos corresponden a 1029,1 hPa y 999,1 hPa, situando la media anual en 1014,1 hPa.

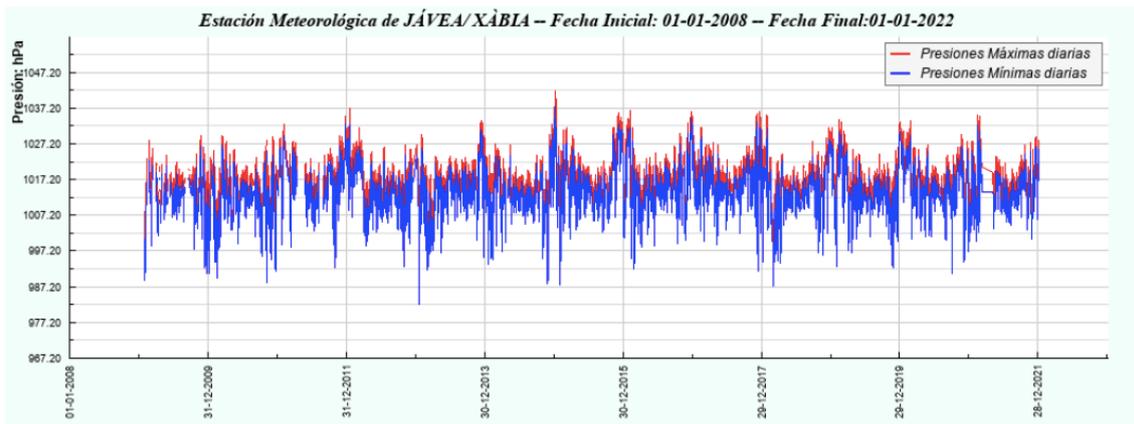


Figura 2. Presión atmosférica de Jávea. Fuente: Estación meteorológica Jávea

2 Ecosistema marino

El mar Mediterráneo es uno de los lugares con mayor biodiversidad marina, pero el atraso en su nombramiento como zona marítima protegida (ZMP) ha causado gran pérdida de ella. Se contabilizan unas 17.000 especies entre fauna y flora, un 4% de ellas se clasifican como especies invasoras.

2.1 Posidonia Oceánica

Se trata de una especie endémica existente únicamente en el Mar Mediterráneo. Respecto a la costa española este se desarrolla en la costa peninsular y las Islas Baleares. Se localiza entre las cotas próximas a la lámina de agua y hasta aproximadamente 35 metros de profundidad, variando en función de la calidad de las aguas y soportando temperaturas de hasta 28°C. Entra dentro de la clasificación de pantas submarinas, contando con elementos tales como: tallo, raíces, hojas y frutos. Tiene un gran papel importante y desempeña funciones vitales en el ecosistema, como actuar de escudo protector ante erosiones de la costa, reduce el impacto del oleaje, actúa de retenedor de sedimentos y sirve de refugio para numerosos organismos.

LLEGENDA

Prades de fanerògames marines (Exposició pública Decret 64/22)

- Posidònia oceànica | Posidonia oceánica
- Posidònia oceànica d'alt valor | Posidonia oceánica de alto valor
- Cymodocea nodosa | Cymodocea nodosa
- Cymodocea nodosa d'alt valor | Cymodocea nodosa de alto valor



Figura 3. Posidonia Oceánica. Fuente: Visor Cartográfico de la CV

Gracias al documento “*Estudio del actual estado de ocupación de la pradera de Posidonia oceánica en la zona adyacente al dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Alicante)*” aportado por el Club Náutico de Moraira se muestra un diagnóstico de la situación de las praderas con un desfase temporal de 14 años.

Dicho estudio proponía delimitar la extensión de las praderas de Posidonia oceánica. Como resultado se elabora una cartografía realizada mediante prospecciones acústicas y videográficas. A partir de los datos obtenidos y aplicando software GIS se obtiene una cartografía detallada de la zona de estudio, abarcando una superficie de 40.200 m².

A partir de los datos obtenidos por los sonogramas y software especializado (Sonarweb - Chesapeake Technologies) se realizó un análisis para identificar las diferentes respuestas acústicas. Estas secciones dan lugar a fondos de diferente reflectividad acústica lo que supone fondos de distinta naturaleza. Para una mejor resolución y posterior estudio se corroboran los datos con equipamiento adicional, transectos videográficos georreferenciados en la zona del dique. El resultado final de la combinación de ambas instrumentaciones proporciona la siguiente cartografía del fondo. A continuación, se comentan los diferentes fondos reconocidos:

- **Praderas de Cymodocea nodosa.** Respecto a su cantidad son poco abundantes acumulándose su existencia en dos áreas del extremo este del dique.
- **Fondos de arena.** Cuentan con distribución continua paralela a la obra de abrigo produciéndose un aumento en el extremo este.

- **Praderas de Posidonia Oceánica.** Se desarrolla de forma paralela al dique a lo largo de su longitud hasta llegar a la bocana del puerto donde la cobertura es mayor y su distancia respecto a la infraestructura aumenta. La instrumentación videográfica permite clasificar dicha cobertura diferenciando zonas según su ubicación. Las praderas de la zona oeste de la zona proyectada se caracterizan por cobertura alta y topografía irregular. La zona cercana a la bocana se caracteriza por un aumento de profundidad lo que conlleva una despoblación equivalente a praderas de cobertura media-baja.
 - Cobertura alta > 80% : Praderas de Posidonia continua con esporádicas zonas de arena.
 - Cobertura media 60-80 % : Alternancia de praderas vivas con zonas de mata muerta y esporádicos cubetas de arena.
 - Cobertura baja <60% : Presencia frecuente de cubetas de explanadas de arena.

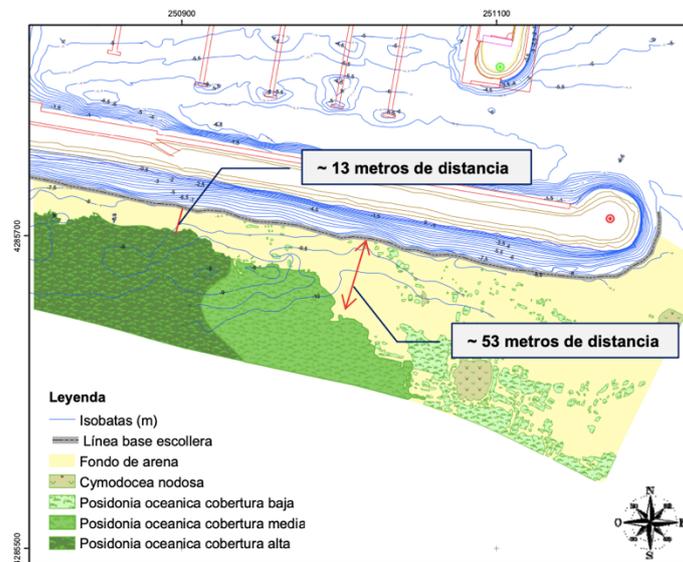


Figura 4. Representación de las praderas de Posidonia Oceánica. Fuente: Estudio del actual estado de ocupación de la pradera de Posidonia oceánica en la zona adyacente al dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Alicante).

En el sector oeste, el límite superficial se encuentra a profundidades de 8-9 metros. Dicho límite aumenta en el otro extremo de la región proyectada aumentando la profundidad en la zona este.

Hay que destacar el aumento de las distancias respecto a la base del manto de escollera, pasando de valores mínimos de 13 metros de distancia hasta los 53 metros. Las matas más próximas a la escollera se clasifican como pequeños islotes.

Como resultado del estudio se llevan a cabo las siguientes conclusiones:

- Se prevé afección directa a los islotes próximos, sin embargo, se considera poco significativa debido a la escasa extensión.

- Se prevé un aumento de turbidez produciendo una disminución de irradiancia en el fondo durante la ejecución de obras.
- No hay existencia de impacto directo sobre las praderas que transcurren paralelamente al dique.

3 Geología

En este apartado se mostrará la información recopilada de diferentes fuentes y el conjunto de mapas geológicos realizados por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España). Para las comprobaciones de hundimiento se acude a la ROM 0.5-05 “Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias”.

El estudio geotécnico tiene por objetivo recoger las características del terreno donde se va a llevar a cabo el proyecto y llevar a cabo la comprobación de que la estructura cumple con los estados límites últimos de hundimiento. Como se ha comentado anteriormente, el uso de la base de datos del IGMA proporcionará la información necesaria para la comprobación de asentos. El mapa geológico MAGNA 3º SERIE es el resultado de las continuas mejoras en la cartografía del territorio español, este divide el territorio en una cuadrícula que recoge la información propia de esa zona, sin embargo, la zona perteneciente a Moraira y alrededores no está disponible. Por esta razón se empleará información perteneciente a la carta MAGNA-50, realizada entre 1972 y 2003, que será útil para el objetivo de este estudio. El puerto se puede ubicar en torno a los cuadrantes 822, 823 y 848. **Para el estudio se ha escogido la hoja 822 (30-32)-Benissa** a escala 1:50.000 como se puede ver en la Figura 5.

3.1 Entorno regional

Benissa se localiza al sureste de la península, su marco es conocido como Prebético Alicantino o Prebético Oriental. El terreno presenta condiciones orográficas muy variadas en la región donde los contrastes son habituales, teniendo costas llanas y altos acantilados a escasos kilómetros. La mitad Oeste cuenta con sierras montañosas propias de la sierra de Bernia y la parte Este se caracteriza por la Sierra del Montgó, un relieve montañoso aislado ubicado en la costa con una elevación máxima de 753 metros.

La hidrografía de la zona recoge una gran cantidad de barrancos, acumulados la mayoría en la parte occidental. La parte oriental la componen arroyos de caudales no muy frecuentes.

3.2 Geología regional

Durante la Edad Secundaria, la costa de Moraira donde se ubica el puerto se encontraba bajo un mar poco profundo, lo que dio lugar a rocas sedimentarias marinas que

formarían margas y calizas por la acumulación de estos sedimentos marinos. Durante el Periodo Terciario, se llevaron a cabo importantes cambios en su geología, teniendo un predominio de rocas sedimentarias y metamórficas. En el terciario inferior, el pliegue de los estratos por los movimientos tectónicos, produjeron las sierras y cordilleras montañosas.

La Edad Cuaternaria que comenzó hace aproximadamente 2.6 millones de años y se extiende hoy en día, se caracteriza por los continuos cambios llevados a cabo tanto por la erosión como por la sedimentación. En el municipio de Teulada se lleva produciendo estos fenómenos a través de los depósitos fluviales y aluviales. Además, efectos del cambio climático influyen en los cambios del paisaje y formación de terrazas marinas.

Los principales materiales que se pueden encontrar hoy en día son los siguientes:

- **Calizas bioclásticas (15):** Pertenecen al Periodo Terciario. Es una unidad compleja, formada en su base por un espesor de 20 metros de un conjunto carbonatado. Sobre la base aparece un conjunto de calizas bioclásticas arenosas y margas que componen un espesor de 10-15 metros. Por último, sobre estos dos tramos, se ubica un potente estrato de potencia igual a 140 metros formada por margas y calizas alternadas.
- **Alternancia de margas y areniscas finas (18):** Se caracteriza por combinarse a lo largo de la costa con la aparición de arcillas y limos (25) aflorando de forma intermitente. Supone un cambio en la serie Neógena.
- **Costras calcáreas arcillas y limos (25):** Se pueden encontrar en zonas adyacentes al puerto, su extensión es complicada de detallar por la continua degradación de la zona debida a labores de construcción. Respecto al espesor, variable en toda la zona, alcanza los 60 centímetros contactando de forma irregular con el material rocoso de las capas inferiores.
- **Playa fósil: Arenas y conchas cementadas (31):** Estos depósitos se encuentran a lo largo de la costa Alicantina. Se caracterizan por ser depósitos de corrientes de entre 5 y 7 metros de espesor. Estas formaciones pueden ser visibles hasta 3 metros por encima del nivel del mar y se relaciona con periodos pertenecientes al Pleistoceno superior-Holoceno.
- **Playa: Arenas con conchas (33):** Estos materiales afloran como pequeñas capas de arena fina entorno a las urbanizaciones. Son de extensión reducida y se localiza en las calas.

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

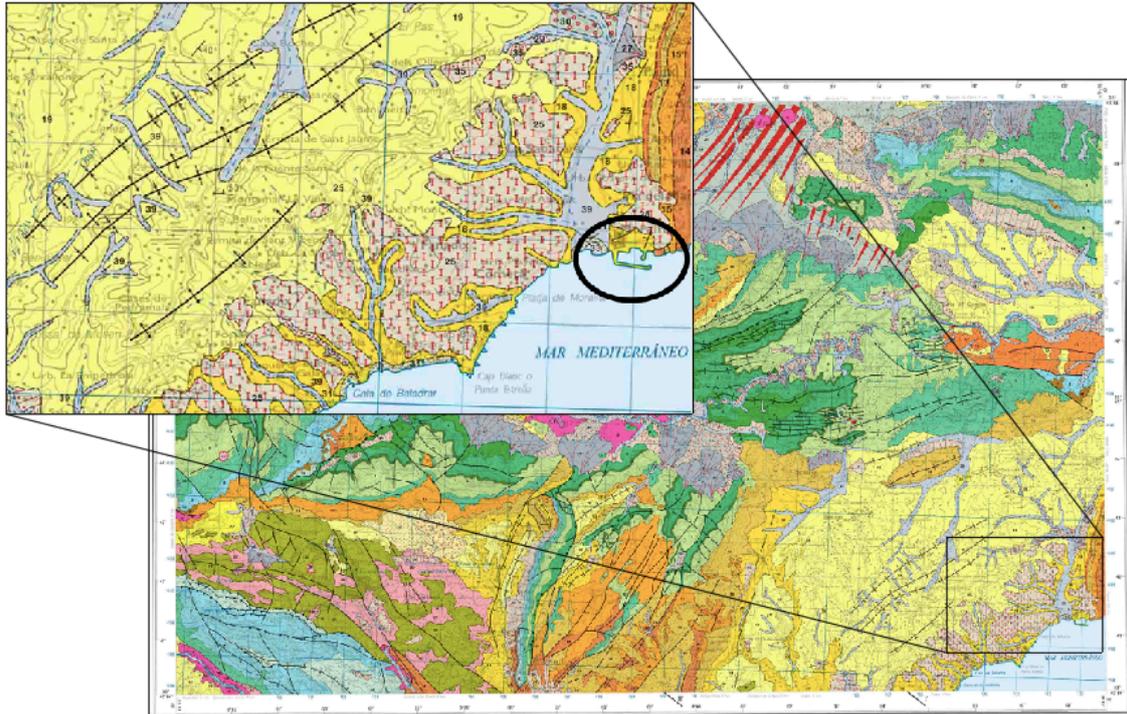


Figura 5. Mapa geológico. Fuente: IGME

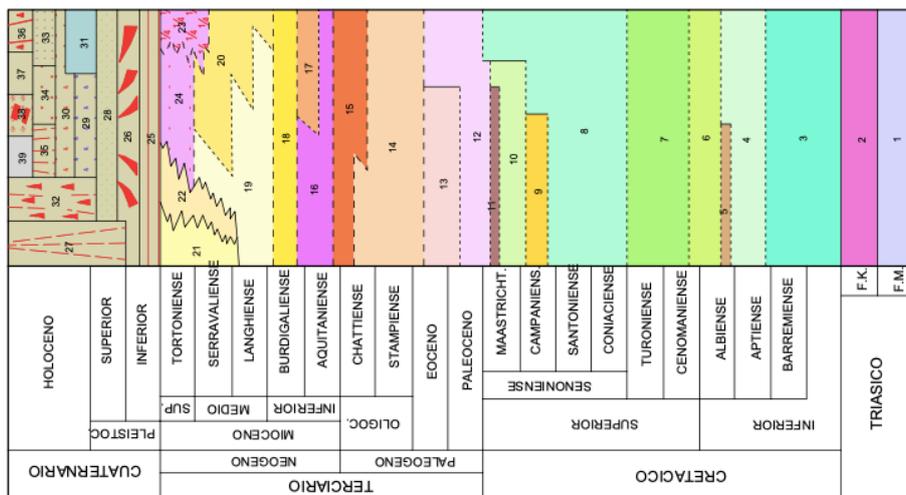


Figura 6. Leyenda. Fuente: IGME

4 Acciones sísmicas

El apartado siguiente busca cumplir con la Norma de Construcción de Sismorresistente NCSE-02. La peligrosidad de un fenómeno sísmico se recoge mediante el mapa de peligrosidad sísmica siguiente. El mapa refleja los distintos territorios en función del valor de la gravedad, "g", la aceleración sísmica básica junto con un coeficiente, "K", de distribución. El desarrollo y aplicación de la Norma es obligatorio en los trabajos relacionados con el dique del puerto, al tratarse de una construcción clasificada de importancia especial.

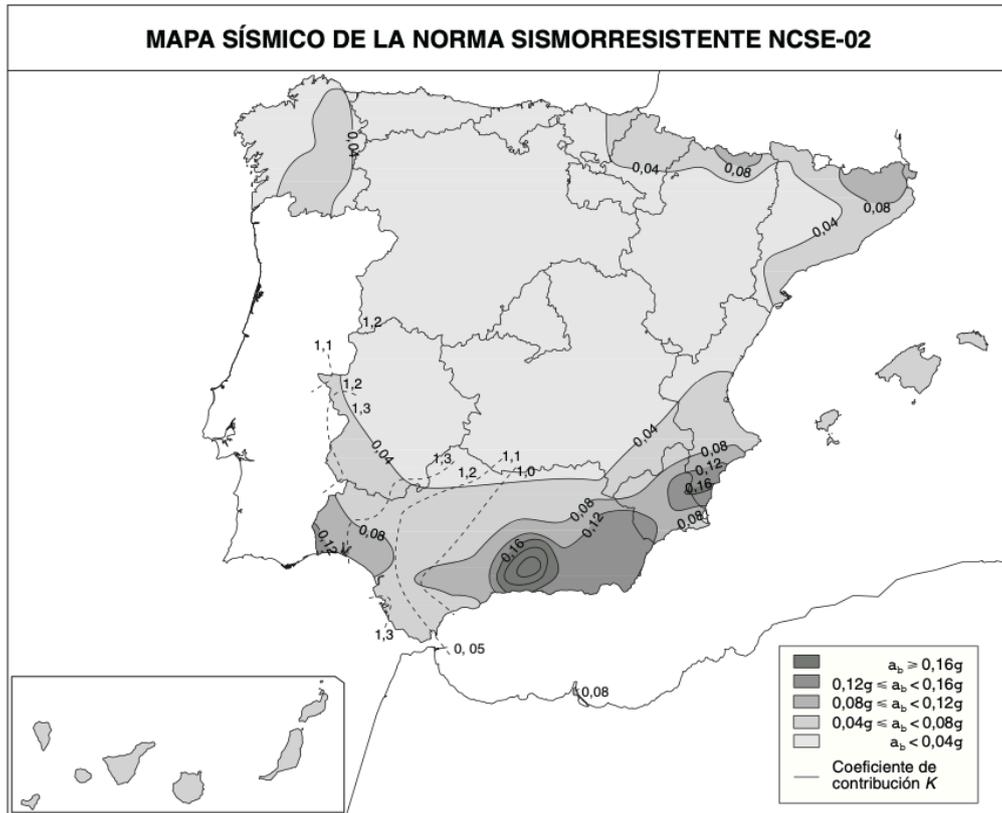


Figura 7. Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: NCSE-02

La zona que se está estudiando se encuentra en el norte de la provincia de Alicante y siguiendo el mapa anterior, la aceleración básica de proyecto " a_b " (aceleración horizontal) es se encuentra entre los valores $0,04g$ y $0,08g$. Del lado de la seguridad se escoge la más desfavorable:

$$a_b = 0,08g$$

La aceleración sísmica de cálculo, " a_c ", se calcula con la siguiente expresión:

$$a_c = S \times \rho \times a_b$$

Donde:

- S : Coeficiente de ampliación del terreno. Se define en función de la a_b :

$$\begin{array}{ll}
 \rho \times a_b \leq 0,1 \times g & S = \frac{C}{1,25} \\
 0,1 \times g < \rho \times a_b < 0,4 \times g & S = \frac{C}{1,25} + 3,3 \times \left[\left(\frac{\rho \times a_b}{g} \right) - 0,1 \right] \times \left(1 - \frac{C}{1,25} \right) \\
 0,4 \times g \leq \rho \times a_b & S = 1
 \end{array}$$

Siendo " C " un coeficiente del terreno que se clasifica según las características de la cimentación y se recoge en la siguiente tabla:

Clasificación	Tipo de Material	V. de Propagación	Coef. C
Terreno Tipo I	Roca compacta	vs > 750 m/s	1
	Suelo cementado		
	Suelo granular muy denso		
Terreno Tipo II	Roca muy fracturada	750 m/s > vs > 400 m/s	1,3
	Suelo cohesivo duro		
	Suelo granular		
Terreno Tipo III	Suelo cohesivo firme a muy firme	400 m/s > vs > 200 m/s	1,6
	Suelo granular compacidad media		
Terreno Tipo IV	Suelo granular suelto	vs < 200 m/s	2
	Suelo cohesivo blando		

Tabla 2. Coeficiente "C". Fuente:

Las características del terreno se han definido en el apartado anterior "Geología regional" por lo que el **material escogido para la clasificación en la cimentación será en los primeros metros de "playa fósil: Arenas y conchas cementadas (31)" y "alternancia de margas y areniscas finas (18)"** correspondiente al mioceno inferior. Por lo tanto, el coeficiente "C" será la media de ambos.

$$C = \frac{1 + 2}{2} = 1,5$$

- ρ : Coeficiente de riesgo. El valor se relaciona con los años útiles para los que se proyecta la estructura. Se define como:

$$\rho = \left(\frac{t}{50}\right)^{0,37}$$

- Construcciones de importancia normal: t=50 años, $\rho=1$
- Construcciones de especial importancia: t=100 años, $\rho=1,3$

- a_b : Aceleración básica

Los resultados del apartado son los siguientes:

Aceleración sísmica básica {Ab} [m/s ²]	Coef distribución {K}	Coef de riesgo {p}	Coeficiente de ampliación {S}	Coef del suelo {C}	Aceleración sísmica de cálculo {Ac}
0,08·g	1	1,3	1,19736	1,5	0,1245·g

Tabla 3. Valores para el cálculo de la aceleración sísmica de cálculo. Fuente: Elaboración propia

5 Batimetría

El objetivo de este apartado es definir las propiedades del lecho marino en la zona de estudio. La batimetría suele estar representada en cartas batimétricas, donde los puntos de igual cota se unen formando isobatas. Este lecho marino, en concreto, está compuesto principalmente por arena y finos. Se trata de un material poco cohesivo y

potencialmente transportable por la acción del oleaje y las corrientes de marea. Por lo tanto, la información siguiente, ante la falta de datos actualizados, se deberá tomar como una aproximación a las condiciones reales. **Se diferencia el análisis en tres frentes diferenciados: la batimetría local, a pie de dique y regional.**

5.1 Batimetría regional

A nivel regional se ha hecho uso del software Navionics para representar las profundidades en la zona de estudio. La descripción del entorno es de vital importancia para comprender el comportamiento del oleaje en su aproximación a la costa y definir la línea de máxima pendiente que más tarde se usará en el cálculo de la propagación del oleaje.

Se observa una pendiente suave en los primeros 200 metros comprendidos desde el puerto hacia aguas adentro. Las profundidades van desde los 6 metros hasta alcanzar los 8 metros. A unos 400 metros de la costa se origina una gran pendiente, donde las líneas de nivel se acumulan pasando de los 8 metros hasta los 20 en apenas 100 metros. Las pendientes que lo suceden son suaves aumentando exponencialmente conforme se alejan de la línea de costa.

En el sentido transversal, las líneas batimétricas se distribuyen homogéneamente de izquierda a derecha hasta llegar a la Punta de Moraira. Este emplazamiento, atendiendo a su clasificación como acantilado casi vertical y de altitud máxima de 166 metros sobre el nivel del mar, presenta profundidades de hasta 24 metros y una estructura distinta de cotas batimétricas.

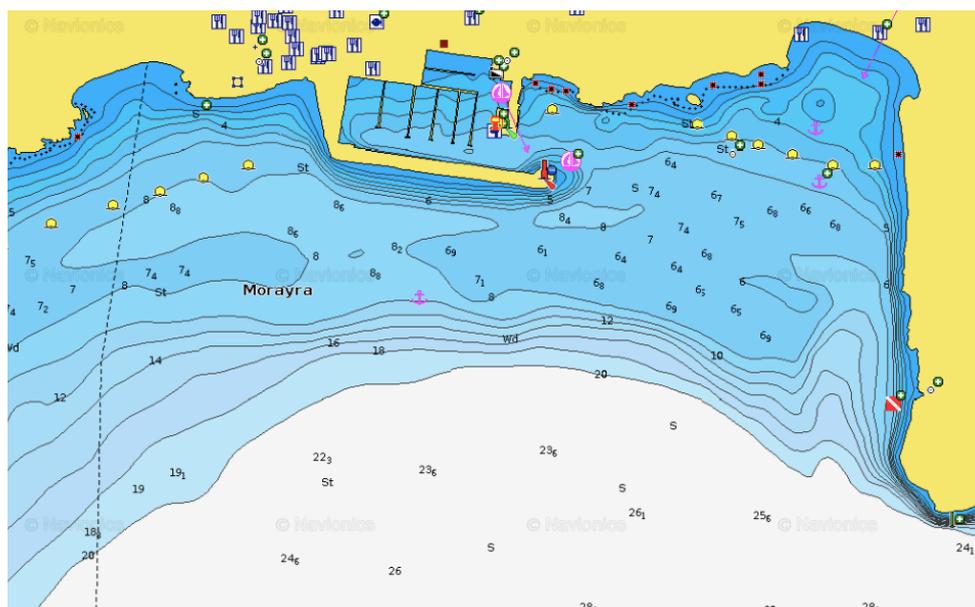


Figura 8. Batimetría regional. Fuente: Navionics

Por lo tanto, y como se aprecia en la imagen anterior, **la batimetría se desarrolla de forma bastante homogénea conforme se aleja de la costa.**

5.2 Batimetría local

Para el análisis local de la profundidad se ha hecho uso de la información proporcionada por el Club Náutico y las capas de datos (WMS) del software Google Earth extraídas del visor cartográfico de la Comunidad Valenciana publicadas en el año 2006. A nivel local se muestra la batimetría del propio puerto con especial atención a las profundidades en las zonas donde se localiza el dique.

La figura muestra las cotas en las aguas abrigadas del puerto y en sus proximidades en aguas exteriores. Estas varían entre los -2 metros en zonas de embarcaciones reducidas de tamaño y calado reducido, hasta los -6,5 metros en amarres de grandes embarcaciones, canal de navegación principal, bocana del puerto y los pies de la obra de abrigo. Todas ellas medidas desde el nivel 0 de referencia del propio puerto.

En la zona exterior del dique las profundidades son entorno a los 8 metros, llegando a alcanzar los 10 metros en zonas aisladas, que posteriormente vuelven a disminuir.



Figura 9. Batimetría de las aguas protegidas. Fuente: Club Náutico de Moraira

5.3 Batimetría a pie de dique

La definición de la profundidad en el pie del dique es importante definirla, ya que se tendrá en cuenta a la hora de escoger la altura de ola de diseño. Para determinarla, se

ha empleado la información WMS que proporciona el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.



Figura 10. Batimetría a pie de dique. Fuente: Elaboración propia

La figura anterior muestra que **la profundidad se encuentra en torno a los 8 metros** aproximadamente, cota que concuerda con la información de Navionics, vista en el punto anterior. Esta profundidad, sin embargo, no es la misma constantemente y varía dependiendo del nivel del mar (pleamar y bajamar) y con los años, de la evolución del cambio climático. **Por lo tanto, para el apartado “Modos de Fallo” desarrollado más adelante en el Anejo N°6, se tomará esta profundidad a pie de dique sumada al aumento de la máxima pleamar observada que se establece en el apartado “Nivel del Mar”**

6 Clima marítimo

El siguiente apartado desarrolla los agentes climáticos a los que se le debe prestar especial atención en cualquier obra marítima: Oleaje y propagación, viento, nivel del mar y corrientes.

Para la realización y recopilación de datos se ha usado la página web de Puertos del Estado, apartado de Oceanografía. Respecto a la boya empleada para extracción de los datos, se podría haber elegido la situada enfrente de la ciudad de Valencia (profundidad de 260 metros). Sin embargo, por la geografía de la costa donde se emplaza Moraira, que protege de las direcciones norte y noreste, sumada a la mayor presencia de temporales provenientes de la costa sur de la península y norte de África, ha sido escogida la boya de Cabo de Palos.



Figura 11. Ubicación de la boya de Cabo de Palos. Fuente: Puertos del Estado

La estación está situada enfrente del Mar Menor y a una distancia de 118 kilómetros del puerto. Pertenece a la Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del estado (Red Exterior), cuenta con un sensor tipo “Sea Watch” y las siguientes características:

- Longitud: 0.31º O
- Latitud: 37.65º N
- Cadencia: 60 min
- Código: 2610
- Profundidad: 230 metros
- Inicio de medidas: 18-7-2006
- Última medida: 2-4-2023
- Modelo: 2-4-2023

La estructura se compone de sensores que recogen información acerca del océano, oleaje y rasgos atmosféricos, proporcionando informes climáticos de 2 tipos (régimen medio y extremal). A partir de estos y la información procedente del Mareógrafo de Gandía y la “Recomendación para Oleaje y Atlas de clima Marítimo en el litoral español” (ROM 0.3-91) se procede a calcular los parámetros de velocidad media del viento y altura significativa de ola que servirán de base para la comprobación del estado actual del dique.

6.1 Nivel del mar

Para la obtención de datos relacionados con el nivel del mar se ha empleado el mareógrafo más cercano a Moraira, de la REDMAR de Puertos del Estado. Este se trata del mareógrafo de Gandía, ubicado en su mismo puerto, a 40 kilómetros de distancia.

Lleva en funcionamiento desde el año 2008 y contiene datos registrados hasta 2017, pero dada a poca variación de mareas en el mar Mediterráneo, se consideran suficientes los datos proporcionados por la estación.

En 2009 se niveló la estación atendiendo a las siguientes características: el cero de la estación coincide con el cero del puerto, situado 1,726 metros por debajo del clavo geodésico más cercano. El NMMA se define a 1,865 metros bajo el mismo clavo. Posteriormente se produjeron cambios, reubicando el nivel del cero actual 23,3 centímetros por encima de la posición inicial del cero. Suceso a tener en cuenta para el análisis de los datos en informes actuales en comparación de años anteriores a 2008.

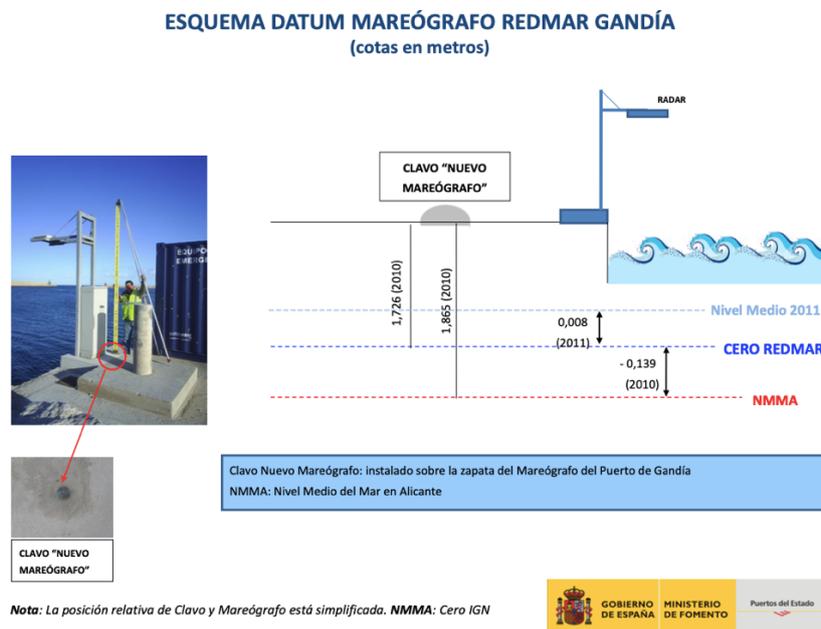


Figura 12. Esquema datum mareógrafo REDMAR Gandía

El NMMA es el plano de referencia en la península española, establecido como referencia a partir del año 1857, donde se inició la realización del Mapa Topográfico nacional. La elección de Alicante como valor de referencia se debe a razones meteorológicas y geofísicas, así como la poca variación de mareas en el mar Mediterráneo. El cero REDMAR coincide con el cero del puerto.

Gracias a los estudios realizados por Puertos del Estado conoce los rangos de mareas a lo largo del periodo de datos disponibles. La figura emplea la unidad del centímetro para las alturas del mar, todas ellas referenciadas al cero REDMAR.

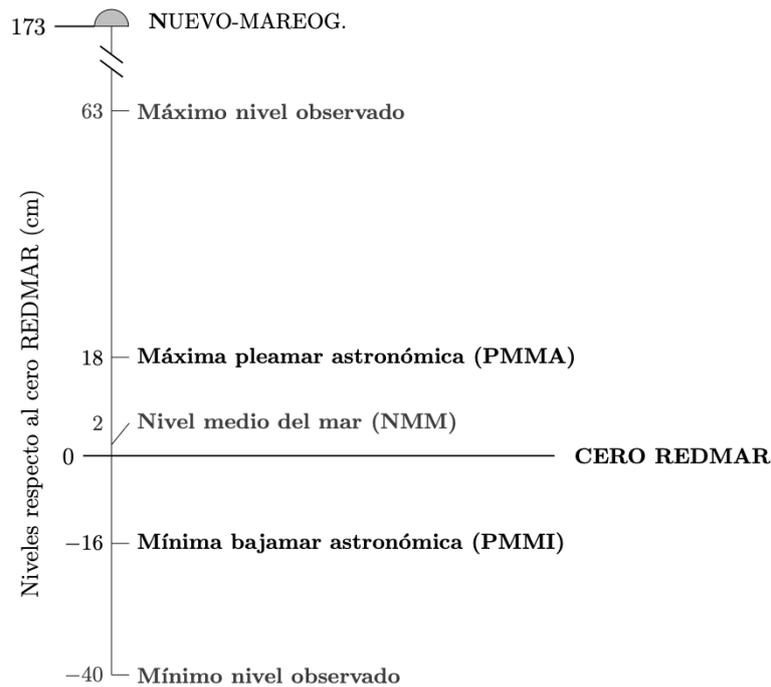


Figura 13. Niveles respecto al cero REDMAR. Fuente: Puertos del Estado

Los siguientes gráficos muestran la distribución de frecuencia del nivel del mar atendiendo a 3 tipos: el gráfico superior referencia la distribución de frecuencia relativa del nivel medio a partir de las dos gráficas restantes (marea astronómica horaria y residuo meteorológico horario).

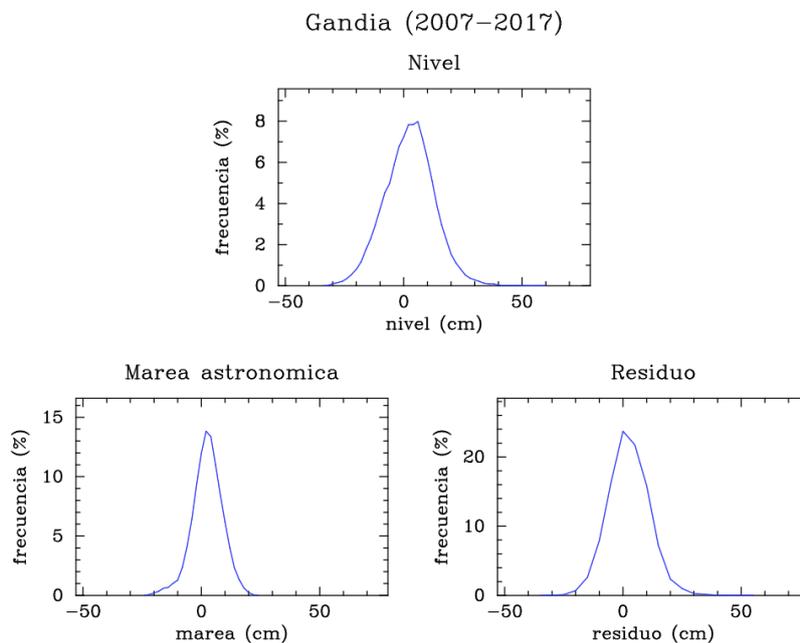


Figura 14. Distribución de la frecuencia. Fuente: Puertos del Estado

El histograma siguiente relaciona la distribución de frecuencia con las variaciones del nivel del mar en el periodo comprendido entre 2008 a 2017. Se muestra en porcentaje la frecuencia y la unidad de medida de variación del nivel del mar es el metro.

Seguidamente se muestra las estadísticas de mínimos y máximos calculados de forma independiente.

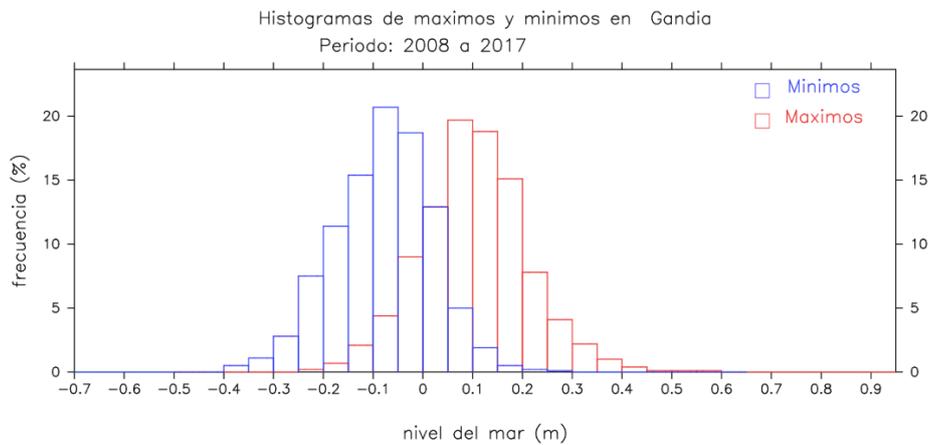


Figura 15. Histograma de la distribución de frecuencia relacionado con el nivel del mar

Estadística Mínimos		Estadística Máximos	
Mínima (m):	-0.40	Mínima (m):	-0.24
Máxima (m):	0.36	Máxima (m):	0.63
Media (m):	-0.07	Media (m):	0.11
Desv.Est. (m):	0.10	Desv.Est. (m):	0.11
Moda (m):	-0.07	Moda (m):	0.08
Mediana (m):	-0.07	Mediana (m):	0.10
Sesgo:	-0.08	Sesgo:	0.21
Curtosis:	0.31	Curtosis:	0.68

Figura 16. Estadística de máximos y mínimos

Por último, como resultado de los datos se puede ver la distribución en forma de histograma con una eficacia del 92%.

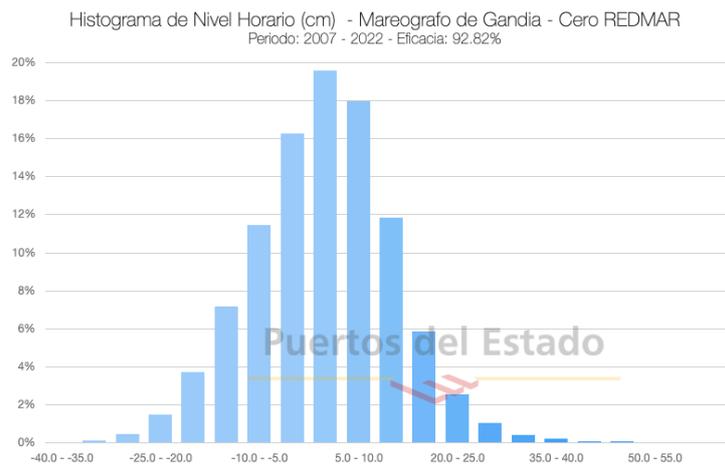


Figura 17. Histograma de nivel horario. Fuente. Puertos del Estado

A modo de resumen, se muestra como la carrera de marea está entorno a los 40 centímetros como valor extremo. Pocas veces el rango de aumento o disminución del nivel del mar respecto al cero REDMAR sobrepasa o disminuye 20 centímetros.

Por último, hay que destacar que el mínimo y máximo histórico captado por la estación se encuentran en **-40 y +63 centímetros, respectivamente**. Del mismo modo, con la información del nivel estadístico de máximo y mínimos, obtenemos una media de 0,02 metros, por lo que el nivel medio del mar en Gandía se encuentra a 2 centímetros de la cota 0.

6.2 Régimen de vientos

Para la obtención de las direcciones principales del viento y sus intensidades se ha empleado de nuevo la base de archivos de datos de Puertos del Estado. Al no contar con ninguna estación cercana que recoja dichos datos, se ha escogido el punto SIMAR más cercano. Este se trata del del nodo SIMAR 2086104 , forma parte de la malla de puntos que simula el oleaje y viento en el entorno litoral español. El modelo empleado para generar los datos es el HIRLAM, de AEMET, que reproduce los vientos medios a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar.

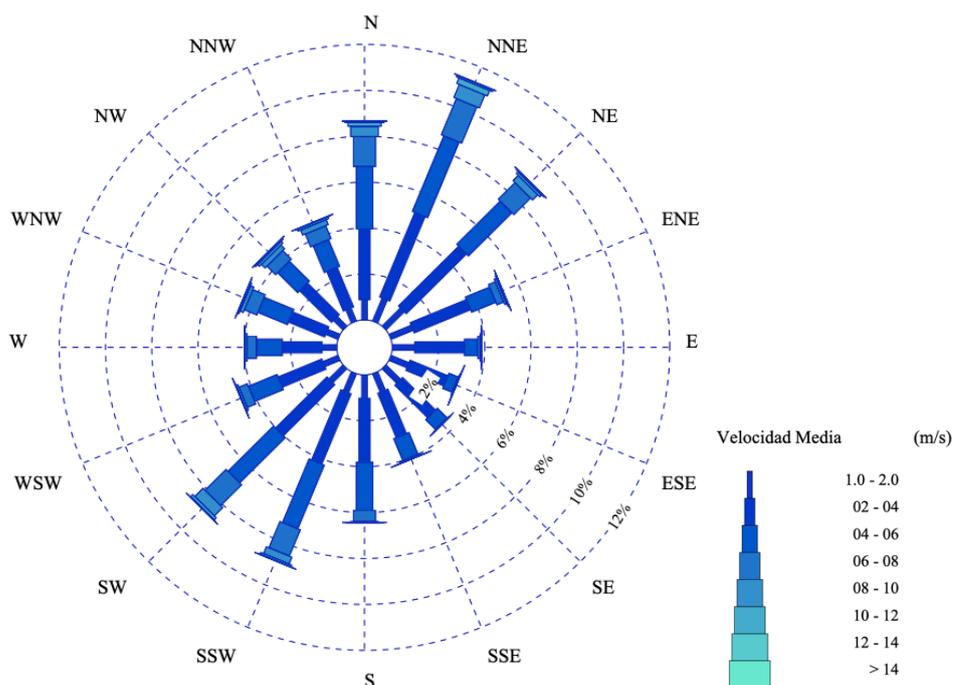


Figura 18. Rosa de los vientos. Fuente: Puertos del Estado

La anterior muestra las direcciones de los vientos anuales incidentes en la costa de Moraira y sus intensidades clasificadas según la probabilidad de ocurrencia. **Destacar los vientos procedentes de direcciones comprendidas entre el Sur, y Sur-Oste, ubicando como dirección principal la de SSW (Sur-sureste)**. Esta dirección se caracteriza por vientos suaves, las velocidades de 4 y 6 m/s, son las que cuentan con mayor frecuencia, llegando a alcanzar los 14 m/s en extrañas ocasiones.

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

Dirección	Ve (m/s)									Total
	< 1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	> 14.0	
CALMAS	4 740									4.740
N	.883	3076,00	2723,00	1 309	444,00	.156	58,00	.023		8.672
NNE		1085,00	3983,00	3563,00	1708,00	616,00	258,00	.074	.029	11 315
NE		1112,00	3684,00	2660,00	1 022	320,00	.113	.038	.014	8 964
ENE		1030,00	2635,00	1136,00	.316	.097	47,00	.010	.002	5.272
90.0		.969	2147,00	.579	.106	.040	.005	.004	.002	3.851
ESE		.835	1772,00	.435	.043	.006	.004	.002		3 098
SE		.889	2010,00	.608	.029	3,00	2,00			3.541
SSE		.864	2095,00	1031,00	.074	5,00	2,00	1,00		4.071
S		1014,00	2790,00	2097,00	.486	32,00	5,00			6.425
SSW		.895	3310,00	3003,00	1239,00	321,00	82,00	17,00	.004	8 869
sw		.856	3145,00	2790,00	1282,00	510,00	.135	19,00	.006	8.743
WSW		.701	2044,00	1343,00	.390	88,00	18,00	7,00	.001	4.593
W		.636	1715,00	1116,00	.413	81,00	22,00	3,00	.001	3 987
WNW		.569	1687,00	1386,00	.584	.154	63,00	18,00	.005	4 465
NW		.585	1943,00	1230,00	.526	229,00	.108	58,00	.023	4.702
NNW		.610	1864,00	1260,00	.609	235,00	84,00	20,00	.010	4.693
Total	4 740	13.534	39.900	26.959	10.137	3.180	1.103	327	.122	100%

Tabla 4. Distribución de velocidades del viento. Puertos del Estado

6.3 Caracterización del oleaje y propagación

6.3.1 Régimen medio

El informe de clima medio recoge las condiciones medidas en una estación en un periodo de tiempo extenso y es la base para el óptimo estudio de las condiciones de un emplazamiento. A parte, el estudio del régimen medio permite conocer las condiciones de operatividad del puerto.

El régimen medio se entiende por una serie temporal de estados del mar y muestra la probabilidad de que un determinado valor no sea superado en la serie temporal media, en el lugar donde se esté realizando el estudio. El uso de este conjunto de datos es similar y conocer las condiciones más frecuentes que se producen anualmente, para lo cual se emplean los parámetros de Hs y Tp sobre funciones de distribución, para encontrar aquella que mejor se adapte a un comportamiento real.

Puertos del estado propone para describir el régimen medio, la función de distribución Weibull, que viene dada por la siguiente expresión:

$$F = 1 - e^{-(\frac{x-A}{B})^C}$$

Donde cada parámetro corresponde a:

- X: Valor donde se quiere evaluar la función.
- A: Parámetro de posición.

- B: Parámetro de forma.
- C: Parámetro de escala.

La siguiente tabla señala la frecuencia con la que coinciden los parámetros de H_s (altura de ola) y T_p (periodo):

Hs (m)	Tp (s)											Total
	< 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
< 0.5	0.059	2366,00	5243,00	5243,00	6503,00	4500,00	2653,00	0.933	0.187	0.166	0.036	22.646
1.0		0.453	5663,00	13044,00	11518,00	4998,00	2701,00	0.574	0.204	0.009		39.165
1.5				0.339	4151,00	7735,00	5015,00	2922,00	0.686	0.418	0.028	21.293
2.0					0.688	2630,00	3287,00	2183,00	0.636	0.370	0.024	9.818
2.5					0.064	0.522	1495,00	1248,00	0.506	0.275	0.031	4.141
3.0						0.081	0.441	0.731	0.306	0.178	0.017	1.754
3.5						0.014	0.047	0.330	0.114	0.102	0.019	0.627
4.0							0.002	0.161	0.109	0.055	0.007	0.335
4.5								0.036	0.066	0.043	0.002	0.147
5.0									0.024	0.009	0.012	0.045
> 5.0									0.002	0.014	0.012	0.028
Total		0.059	2.820	11.245	24.450	26.999	17.940	11.245	3.211	1.835	0.197	100%

Tabla 5. Altura significativa (H_s)-dirección de procedencia. Periodo de tiempo anual. Fuente: Puertos del Estado

La tabla anterior muestra como los sucesos con mayor probabilidad corresponden a alturas significantes de ola de 1 metro y periodo de 6 segundos, destacando los meses veraniegos de junio a agosto, donde se produce la mayor acumulación de sucesión de tales eventos. Los meses de diciembre a febrero cuentan con una mayor dispersión de resultados, obteniéndose sus máximos en altura equivalente a 1 metro y periodos de 4 a 7 segundos.

Seguidamente, la rosa del oleaje muestra la relación entre las direcciones principales de dirección del oleaje y la altura de ola para cada probabilidad de ocurrencia.

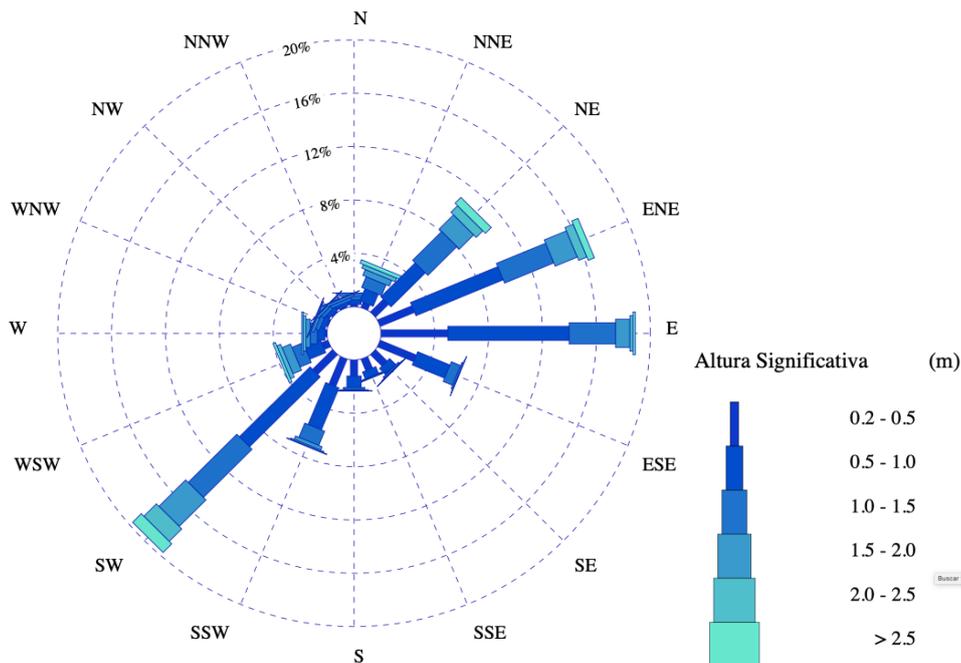


Figura 19. Rosa de oleaje. Fuente: Puertos del Estado

Destacan las direcciones procedentes del Este, Noreste y se debe proporcionar especial atención a aquellos mares procedentes del suroeste, causante de los mayores temporales y oleajes de altura significativa mayores a 2,5 metros.

Por la estructura de la costa, y la protección natural que ofrece la Punta de Moraira descartamos el oleaje proveniente de la dirección ENE.

Para las 3 direcciones principales se va a analizar la relación entre la probabilidad de no excedencia y la altura de ola significativa mediante las gráficas siguientes:

E

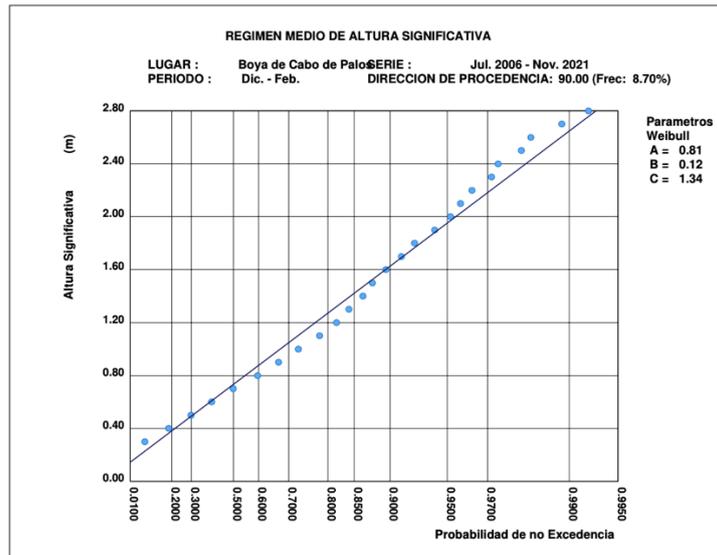


Figura 20. Régimen medio de altura significativa. Fuente: Puertos del Estado

Partiendo de la probabilidad de no excedencia del 99%, la altura de ola para la dirección Este (E) corresponde a una altura significativa de ola igual a 2,6 metros.

ENE

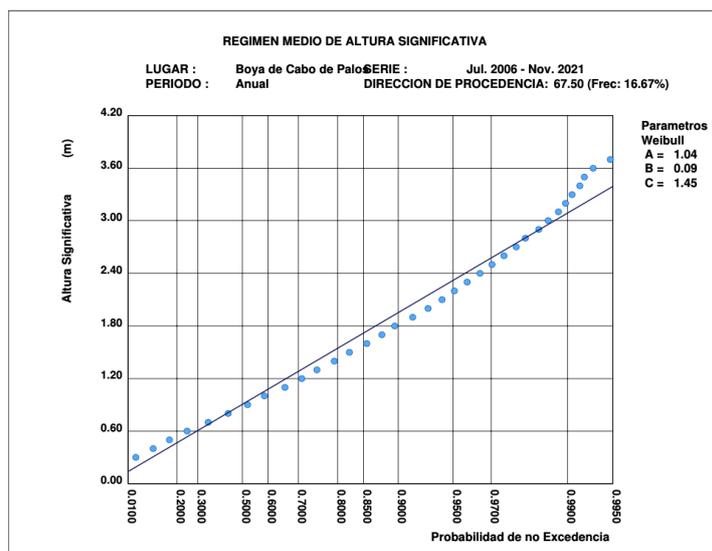


Figura 21. Régimen medio de altura significativa. Fuente: Puertos del Estado

Partiendo de la probabilidad de no excedencia del 99%, la altura de ola para la dirección Este-Noreste (ENE) corresponde a una altura significativa de ola igual a 3,2 metros.

SW

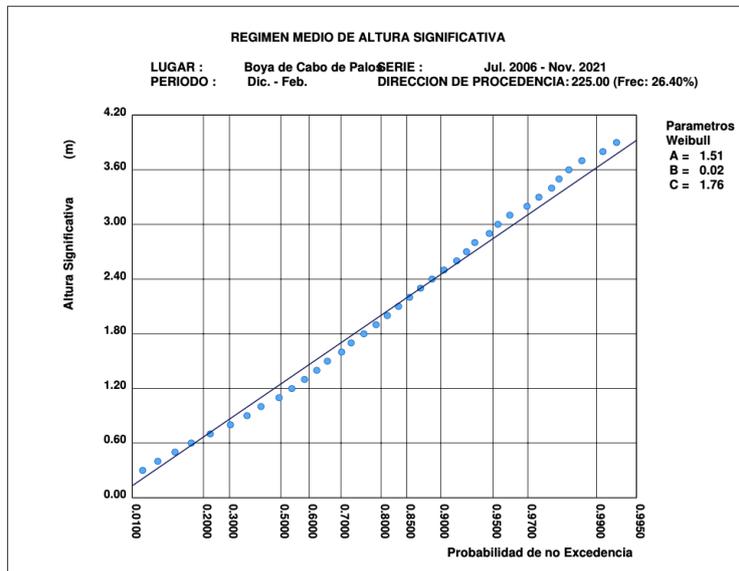


Figura 22. Régimen medio de altura significativa. Fuente: Puertos del Estado

Partiendo de la probabilidad de no excedencia del 99%, la altura de ola para la dirección sudoeste (SW) alcanza su máximo, correspondiendo a una altura significativa de ola igual a 3,6 metros.

6.3.2 Régimen extremal

Cada infraestructura, a lo largo de su vida útil, deberá ser capaz de soportar las cargas y acciones incidentes sobre la misma, proporcionando unas capacidades de servicio y operación óptimas, definidas por el régimen medio. Además, deberá soportar situaciones superiores a las condiciones medias, las denominadas condiciones extremas. La seguridad de una infraestructura costera está condicionada por el oleaje incidente durante un temporal, situaciones poco frecuentes pero que se pueden llevar a cabo.

Para limitar el riesgo de fallo, es necesario el conocimiento de la frecuencia con la que se pueden llevar a cabo tales escenarios extremos, que excedan una cierta altura de ola significativa.

El régimen extremal, por lo descrito anteriormente, describe una función de distribución tomando como variable aleatoria el oleaje máximo durante la vida útil de la infraestructura. A pesar de que el dique a analizar ya se encuentra construido y continúa dentro de la vida útil de proyecto, realizar un adecuado estudio del régimen extremo, acorde con el escenario del cambio climático resulta razonable.

Para conocer el valor de la altura de ola significativa es necesario el dato del coeficiente de retorno, para ello, previamente se debe calcular el IRE y el ISA.

El índice de repercusión económica (IRE), referencia el coste en euros en el supuesto de producirse un fallo de la estructura. Este valor depende de la vida útil para la que fue proyectado y viene especificado en la ROM 0.0. Como se ha observado en este mismo estudio, el documento “Informe de valoración de los terrenos, lámina de agua e instalaciones e infraestructuras de la zona de servicio puerto náutico deportivo de Moraira” proporcionado por el Club Náutico de Moraira, se clasifica el dique con una vida útil de 50 años. Sin embargo, al clasificarse como un puerto náutico-deportivo en el que no se producen actividades comerciales de importación o exportación, tomaremos un IRE entre 6 y 20, que corresponde a una vida útil de 25 años.

IRE	<5	6 a 20	>20
Vida útil (años)	15	25	50

Tabla 6. Valores IRE. Fuente: ROM 0.0

El índice de repercusión social y ambiental (ISA) facilita la probabilidad de fallo a partir de su estado límite último. Se presupone una repercusión baja, que en el caso de producirse causaría únicamente pérdidas materiales, por lo que se toma el valor ISA entre 5 y 19. Esto corresponde a una probabilidad de fallo de 0,1.

ISA	<5	5 a 19	20-29	>30
Pf,ELU	0,2	0,1	0,01	0,0001

Tabla 7. Valores ISA. Fuente: ROM 0.0

A partir de ambos valores, se calcula el coeficiente de retorno mediante el cociente de ambos:

$$\text{Periodo de Retorno } (Tr) = \frac{\text{Vida Útil}}{Pf} = \frac{25}{0,1} = 250 \text{ años}$$

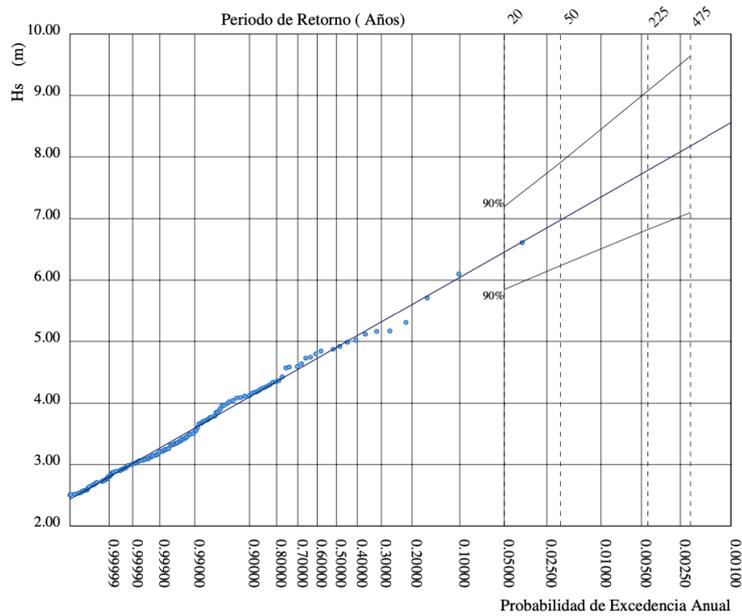
El gráfico siguiente recoge la información de: probabilidad de Weibull ajustada, altura anual de temporales y la probabilidad de superación. Introduciendo el valor de Tr igual a 250 años, obtenemos una altura de ola significativa (Hs) de 7,8 metros. Dando como resultado un periodo de pico de 10,56 segundos.

La relación entre altura de ola significativa y periodo del pico viene descrita por:

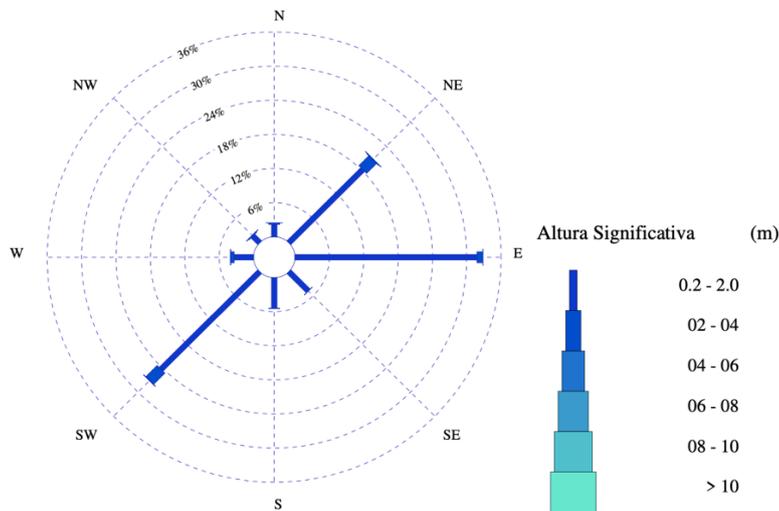
$$Tp = 4,84 \times Hs^{0,38}$$

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

LUGAR : Cabo de Palos
 PARÁMETRO : Altura Significante SERIE ANALIZADA : Jul. 2006 - Nov. 2021
 PROFUNDIDAD : 230.0



De la rosa de oleaje siguiente, se puede concluir que **las direcciones predominantes coinciden con el régimen medio. La dirección Este (E) cuenta con mayor probabilidad (33%)**, a la que le siguen la dirección Sureste (SW) con un 27% y por último el Noroeste (NW) con un 20%.



6.4 Propagación del oleaje

Los datos obtenidos de Puertos del Estado muestran las características en aguas profundas, es por ello, que es necesario ver las características del oleaje a pie de dique. Para obtenerlo, se puede emplear tanto la formulación analítica como el ábaco de asomeramiento y refracción propuesto por el SPM en 1984.

Respecto al posible oleaje incidente en la costa, la boya al situarse en mar abierto recoge oleaje proveniente de todas las direcciones. Sin embargo, la zona de actuación limita a ciertas direcciones. De este modo, las direcciones de las que puede llegar el oleaje provienen del siguiente rango: Sureste (SE) 133° y Suroeste (SW) 216° , ángulos respecto al Norte.

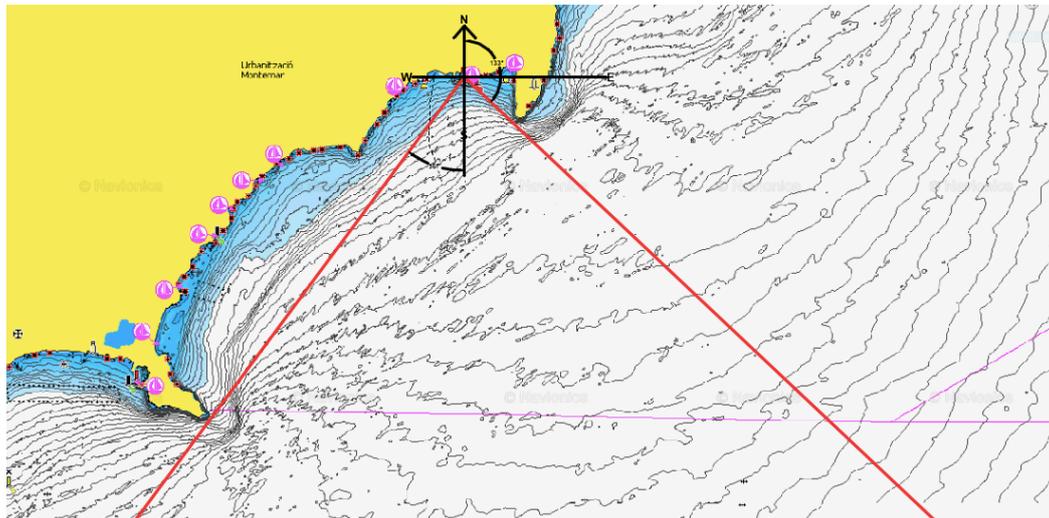


Figura 25. Oleaje incidente por la morfología de la costa. Fuente: Navionics

Por otro lado, el oleaje incidente es necesario referenciarlo respecto a la perpendicular de la traza batimétrica a pie de dique, para poder calcular la refracción. Las figuras siguientes representan: en color azul la línea batimétrica con la que se desarrolla de forma casi paralela a la línea de playa, en color rojo los límites propios de la costa por su morfología, en color verde las direcciones principales de oleaje y en color amarillo la línea de máxima pendiente.

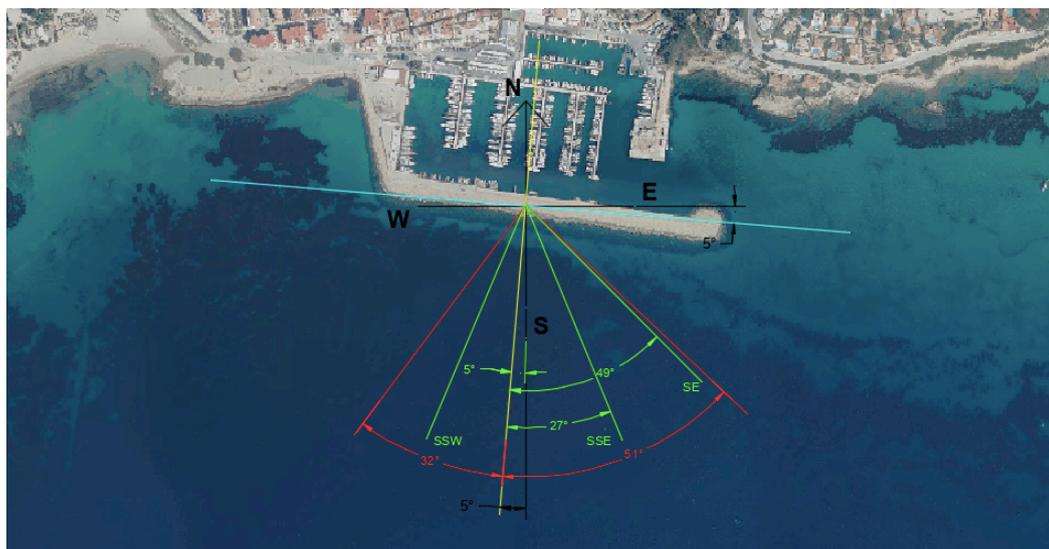


Figura 26. Esquema de las posibles direcciones de oleaje respecto de la perpendicular al dique. Fuente: Elaboración propia

Con anterioridad a cualquier cálculo, se debe comprobar que la boya de Cabo de Palos se encuentre en aguas profundas. Esto viene demostrado por el cociente entre la profundidad de la boya y la distancia a la costa. Para ello se calcula la longitud de onda mediante la relación de dispersión lineal y sustituyendo los datos proporcionados por Puertos del Estado obtenemos:

$$L = \frac{g \times T^2}{2\pi} \times \tanh\left(\frac{2\pi L}{d}\right) = \frac{9,81 \times 10,56^2}{2\pi} \times \tanh\left(\frac{2\pi L}{230}\right)$$

Resolviendo la ecuación se tiene un valor de longitud de onda en aguas profundas (L) igual a 173,96 metros. Una vez conocido este valor, se comprueba si se cumple la condición de aguas profundas:

$$\frac{h_{\text{boya Cabo de palos}}}{L} = \frac{230}{173,96} = 1,32$$

Como $1,32 > 0,5$.Se cumple la condición de aguas profundas.

El conocimiento del emplazamiento del dique es necesario para el diseño, si este se encuentra en aguas profundas, la rotura del oleaje se produce al chocar con el manto del dique. Por otra parte, si el dique está en aguas reducidas, la rotura se produce por fondo, es decir, el oleaje rompe antes de llegar a la infraestructura. Esto se traduce en una mayor cantidad de energía, lo que afectaría a la estabilidad del manto.

Para determinar en qué situación está el dique, se calcula la profundidad a la que se lleva a cabo la rotura por fondo, que se producirá al alcanzarse el 80% de la cota a pie de dique, siendo esta de 8 metros:

$$H_{\text{rotura}} = 0,8 \times d = 0,8 \times 8 = 6,4 \text{ metros}$$

Seguidamente, es necesario la obtención de oleaje en aguas definidas y tener en cuenta procesos de transformación del oleaje: refracción y asomeramiento.

El análisis se lleva a cabo mediante las expresiones de Airy, que muestra una solución lineal a la teoría de ondas. Estos cálculos se han llevado a cabo mediante la herramienta Excel, una hoja de cálculo programada personalmente donde se introducen las ecuaciones, fórmulas detalladas posteriormente y las características del oleaje proveniente de cada dirección.

El primer cálculo realizado es el de la longitud de onda propia de cada profundidad (d), se ha usado la herramienta *Solver* del software Excel para resolver la siguiente ecuación acorde a la variación de la profundidad.

$$L = \frac{g \times T^2}{2\pi} \times \tanh\left(\frac{2\pi L}{d}\right)$$

Donde:

- T : Periodo del pico [s]
- g : Aceleración de la gravedad [m/s²]
- L : Longitud de onda [m]
- d : Profundidad [m]

La refracción varía la dirección con a que se propaga el oleaje y consecuentemente hace variar también la altura de la ola. Este suceso depende de la batimetría de la zona y del periodo característico con el que se transmite el oleaje. Para el cálculo **suponemos una batimetría paralela a la costa que facilita las operaciones y el planteamiento**. La siguiente figura simula la propagación de dos ortogonales con separación inicial $\cos(\alpha)$, que corresponde a un oleaje con una profundidad inicial d_1 . Seguidamente esta se reduce a una menor, d_2 . La celeridad del frente de ola disminuye conforme lo hace la profundidad, lo que produce el giro.

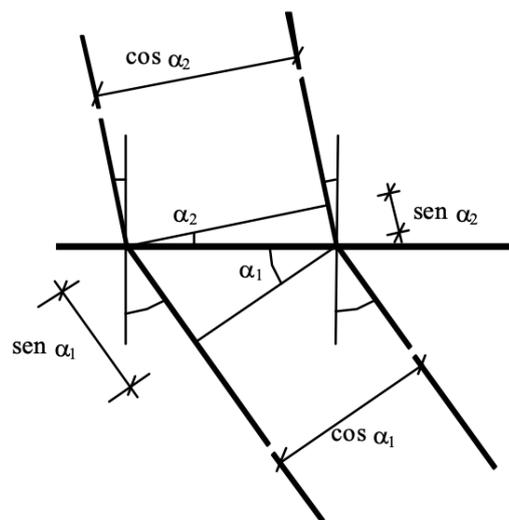


Figura 27. Esquema del proceso de refracción. Fuente: Flores

La Ley de Snell permite conocer el ángulo de salida al cambiar las condiciones del medio, viene dado por la siguiente expresión;

$$t = \frac{\text{seno}(\alpha_1)}{C_1} = \frac{\text{sen}(\alpha_2)}{C_2}$$

Donde C es la celeridad que varía según la longitud de onda propia de cada cota batimétrica:

$$C = \frac{L}{T} = \frac{\frac{g \times T^2}{2\pi}}{T}$$

El coeficiente de refracción será de valor igual o menor a 1 y viene descrito por:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha)}{\cos(\alpha_2)}}$$

El coeficiente de asomeramiento viene dado por:

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{\tanh\left(\frac{2 \times \pi \times d}{L}\right)} \times \frac{1}{1 + \frac{4 \times \pi \times \frac{d}{L}}{\sinh\left(4 \times \pi \times \frac{d}{L}\right)}}$$

Por último, la altura de la ola de la ola surge de la multiplicación de la altura de ola en aguas profundas por los coeficientes de refracción (K_r) y asomeramiento (K_s).

$$H = H_s \times K_r \times K_s$$

Las siguientes tablas muestran la propagación del oleaje conforme avanza hacia la costa, donde **se ha calculado para un nivel del mar correspondiente con el cero del puerto**. Destaca en color azul la profundidad correspondiente a la que se tiene en los pies del dique.

▪ **Dirección margen izquierdo:**

- g: 9,8 m/s²
- T: 10,56 seg
- Hs: 7,8 metros
- Alfa: 32°
- Long aguas profundas: 173,96 metros
- Celeridad: 16,47 seg
- Celeridad de grupo: 8,24 seg

d	L [m]	Fórmula	C	alfa 2 [°]	Ks	Kr	H corregida [m]	H rotura [m]	Rotura
12,00	101,19	0,01	9,58	18,38	1,09	0,95	8,07	9,60	NO ROMPE
11,00	97,58	0,01	9,24	17,72	1,08	0,94	7,95	8,80	NO ROMPE
10,00	93,69	0,00	8,87	17,02	1,06	0,94	7,82	8,00	NO ROMPE
9,00	89,51	0,00	8,48	16,26	1,05	0,94	7,69	7,20	ROMPE
8,00	84,98	0,00	8,05	15,43	1,03	0,94	7,54	6,40	ROMPE

Tabla 8. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia

▪ **Dirección Sur Suroeste (SSW):**

- g: 9,8 m/s²
- T: 10,56 seg
- Hs: 7,8 metros

- Alfa: 18°
- Long aguas profundas: 173,96 metros
- Celeridad: 16,47 seg
- Celeridad de grupo: 8,24 seg

d	L [m]	Fórmula	C	alfa 2 [°]	Ks	Kr	H corregida [m]	H rotura [m]	Rotura
12,00	101,19	0,01	9,58	25,03	1,09	1,02	8,74	9,60	NO ROMPE
11,00	97,58	0,01	9,24	24,13	1,08	1,02	8,60	8,80	NO ROMPE
10,00	93,69	0,00	8,87	23,17	1,06	1,02	8,45	8,00	ROMPE
9,00	89,51	0,00	8,48	22,14	1,05	1,01	8,29	7,20	ROMPE
8,00	84,98	0,00	8,05	21,02	1,03	1,01	8,12	6,40	ROMPE

▪ **Dirección Sur (S):**

- g: 9,8 m/s²
- T: 10,56 seg
- Hs: 7,8 metros
- Alfa: 5°
- Long aguas profundas: 173,96 metros
- Celeridad: 16,47 seg
- Celeridad de grupo: 8,24 seg

d	L [m]	Fórmula	C	alfa 2 [°]	Ks	Kr	H corregida [m]	H rotura [m]	Rotura
12,00	101,19	0,01	9,58	31,96	1,09	1,08	9,25	9,60	NO ROMPE
11,00	97,58	0,01	9,24	30,82	1,08	1,08	9,07	8,80	ROMPE
10,00	93,69	0,00	8,87	29,59	1,06	1,07	8,89	8,00	ROMPE
9,00	89,51	0,00	8,48	28,27	1,05	1,06	8,70	7,20	ROMPE
8,00	84,98	0,00	8,05	26,84	1,03	1,06	8,50	6,40	ROMPE

Tabla 9. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia

▪ **Dirección Sur sureste (SSE):**

- g: 8,9 m/s²
- T: 10,56 seg
- Hs: 7,8 metros
- Alfa: 27°
- Long aguas profundas: 173,96 metros
- Celeridad: 16,47 seg
- Celeridad de grupo: 8,24 seg

d	L [m]	Fórmula	C	alfa 2 [°]	Ks	Kr	H corregida [m]	H rotura [m]	Rotura
12,00	101,19	0,01	9,58	31,87	1,09	1,02	8,74	9,60	NO ROMPE
11,00	97,58	0,01	9,24	30,74	1,08	1,02	8,57	8,80	NO ROMPE
10,00	93,69	0,00	8,87	29,51	1,06	1,01	8,40	8,00	ROMPE
9,00	89,51	0,00	8,48	28,20	1,05	1,01	8,22	7,20	ROMPE
8,00	84,98	0,00	8,05	26,77	1,03	1,00	8,03	6,40	ROMPE

Tabla 10. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia

- **Dirección Sureste (SE):**
 - g: 9,8 m/s²
 - T: 10,56 seg
 - Hs: 7,8 metros
 - Alfa: 49°
 - Long aguas profundas: 173,96 metros
 - Celeridad: 16,47 seg
 - Celeridad de grupo: 8,24 seg

d	L [m]	Fórmula	C	alfa 2 [°]	Ks	Kr	H corregida [m]	H rotura [m]	Rotura
12,00	101,19	0,01	9,58	31,79	1,09	0,88	7,50	9,60	NO ROMPE
11,00	97,58	0,01	9,24	30,65	1,08	0,87	7,35	8,80	NO ROMPE
10,00	93,69	0,00	8,87	29,43	1,06	0,87	7,21	8,00	NO ROMPE
9,00	89,51	0,00	8,48	28,12	1,05	0,86	7,05	7,20	NO ROMPE
8,00	84,98	0,00	8,05	26,70	1,03	0,86	6,89	6,40	ROMPE

Tabla 11. Propagación del oleaje. Fuente: Elaboración propia

Para la comprobación de la veracidad y exactitud de los cálculos, se ha comprobado mediante la página web <http://www.cress.nl/Regel.aspx>. Este servidor permite realizar los cálculos de una manera más sencilla y rápida, para ello se deben introducir los siguientes parámetros extraídos del régimen extremal. Se muestra el procedimiento para una dirección Suroeste correspondiente con la mayor probabilidad de ocurrencia.

- Profundidad a pie de dique (h): 8 metros
- Periodo del oleaje (T): 10,56 segundos
- Altura de ola significativa (Hs): 7,8 metros
- Ángulo de incidencia (θ): 49°

A12.1 Refraction parallel contourlines [2.0]			Coastal and River Engineering Support System		
Parameters	Graphic	Help			
Input					
<input type="radio"/> h	6,00	- +	m		
<input type="radio"/> T _m	10,56	- +	s		
<input type="radio"/> H ₀	7,80	- +	m		
<input type="radio"/> θ_0	49,00	- +	°		
<input checked="" type="radio"/> H	7,13	- +	m		
Output					
	K _r	0,84	- +		
	K _s	1,09	- +		
	U	201,09	- +		
	L	78,05	- +	m	
	Commentary	Lin. theory wrong			
	Commentary	broken wave			
Input					
y	0,00	- +			
Output					
	L _{op}	173,96	- +	m	

Figura 28. Fuente: Cress.nl

El software proporciona los siguientes resultados:

- Coeficiente de refracción: 0,84
- Coeficiente de asomeramiento: 1,04
- Altura de ola corregida a pie de dique (H): 6,83 metros

Del mismo modo, se calcula la altura de ola para las direcciones restantes, obteniéndose:

OLEAJE	Margen izq	Sur Suroeste	Sur	Sur sureste	Sureste
Dirección [°]	212	198	180	162,5	135
Ángulo de incidencia [°]	32	18	5	27	49
Ks	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Kr	0,94	0,98	1	0,96	0,84
H corregida [m]	7,6	7,94	8,08	7,75	6,93

Tabla 12. Altura de oleaje corregida mediante servidor Cress.nl. Fuente. Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla anterior, **los datos obtenidos por el software cress.nl y los calculados manualmente concuerdan**, teniendo unos coeficientes de refracción y asomeramiento muy similares en ambos modelos. De los resultados hay que destacar que la dirección Suroeste y Sur-Suroeste cuenta con la mayor probabilidad de ocurrencia, sin embargo, los oleajes provenientes del Sur cuentan con una altura de ola mayor debido a que sufren menos alteraciones por sucesos de refracción.

En resumen, se consideran correctos los resultados y se empleará como altura de ola significativa la más desfavorable, por lo que Hs es igual a 8,08 metros.

Por último y como información adicional a este apartado, se han hecho los mismos cálculos para otros dos niveles del mar con el objetivo de ver como se desarrolla el oleaje. Estos niveles son la plenamar (PM) que cuenta con un ascenso de 0,63 metros y la bajamar (BM), con un descenso de 0,35 metros. Aplicando la misma metodología se obtiene la Tabla 13 y la Tabla 14.

Dirección	Margen izq	Sur Suroeste	Sur	Sur Sureste	Sureste
d [m]	H corregida [m]				
11,65	8,19	8,89	9,43	8,91	7,64
10,65	8,06	8,73	9,23	8,73	7,49
9,65	7,92	8,56	9,03	8,54	7,32
8,65	7,77	8,39	8,82	8,34	7,15
7,65	7,61	8,20	8,60	8,13	6,97

Tabla 13. Altura corregida contando con la bajamar. Fuente: Elaboración propia

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

Dirección	Margen izq	Sur Suroeste	Sur	Sur Sureste	Sureste
d [m]	H corregida [m]				
12,65	8,31	9,04	9,62	9,09	7,80
11,65	8,19	8,89	9,43	8,91	7,64
10,65	8,01	8,72	9,26	8,74	7,42
9,65	7,92	8,56	9,03	8,54	7,32
8,65	7,77	8,39	8,82	8,34	7,15

Tabla 14. Altura corregida contando con la pleamar. Fuente: Elaboración propia

ANEJO N°6. MODOS DE FALLO

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Clasificación de los escenarios estudiados.....	5
2	Rotura del oleaje.....	5
2.1	Rotura del oleaje por peralte	5
2.2	Rotura del oleaje por limitación de fondo.....	6
3	Materiales y dimensiones geométricas del dique	7
4	Rebase de la estructura	8
4.1	Valores máximos de rebase	9
4.2	Cuantificación del rebase	11
4.2.1	Rebase del tramo 2 (secciones 1 y 2).....	12
4.2.2	Rebase tramo 3 (sección 3 y 4)	14
4.2.3	Rebase Tramo 1.....	14
5	Inestabilidad del espaldón	15
5.1	Estabilidad frente a deslizamiento:.....	24
5.2	Estabilidad frente a vuelco:.....	24
6	Comprobación de la estabilidad del manto	25
6.1	Comprobación de la estabilidad del tronco	26
6.2	Comprobación de la estabilidad del morro	27
7	Asientos de la estructura	28
7.1	Asientos producidos por el espaldón	29
8	Pérdida de estabilidad global.....	31
8.1	Acciones consideradas en el cálculo de estabilidad global	32
8.2	Cálculo del coeficiente de estabilidad global	34
9	Resumen de los modos de fallo	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Separación de la obra de abrigo por tramos. Fuente: Elaboración propia	8
Figura 2. Referencias geométricas del dique sin contar el aumento por pleamar. Fuente: Elaboración propia.....	8
Figura 3. Superposición de secciones 1 y 3. Fuente: Elaboración propia	11

Figura 4. Constantes para cuantificar el rebase. Fuente: “Molines et al. (2016)”	12
Figura 5. Valores landa. Fuente: Elaboración propia	12
Figura 6. Gráfica del caudal de rebase	13
Figura 7. Mapa de calor de las zonas más frágiles al rebase. Fuente: Elaboración propia	15
Figura 8. Variables empleadas por Molines (2018). Fuente: “Molines et al. (2018)”	16
Figura 9. Fuerzas adicionales sobre el espaldón. Fuente: Elaboración propia	19
Figura 10. Características del espaldón. Fuente: Elaboración propia	21
Figura 11. Esfuerzos sobre el espaldón. Fuente: Elaboración propia	23
Figura 12. Coeficientes de estabilidad hidráulica Kd. Fuente: The Shore Protection Manual 1984	26
Figura 13. Croquis de la incidencia del oleaje sobre el morro. Fuente: TFG	28
Figura 14. Croquis pérdida de estabilidad global. Fuente: ROM 0.5-05	32
Figura 15. Configuración cargas hidrostáticas. Fuente: SLIDE2	33
Figura 16. Leyenda software Slide2	35
Figura 17. Resultados para combinación fundamental. Fuente: Elaboración propia	35
Figura 18. Resultados para cuasi permanente. Fuente: Elaboración propia	36
Figura 19. Resultados para combinación sísmica. Fuente: Elaboración propia	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aumento del nivel del mar para los escenarios. Fuente: Elaboración propia	5
Tabla 2. Características según la dirección del oleaje. Fuente: Elaboración propia	6
Tabla 3. Características de los materiales que componen el dique. fuente: Elaboración propia	7
Tabla 4. Datos geométricos del dique. Fuente: Elaboración propia	8
Tabla 5. Límites máximos para propiedades. Fuente: Eurotop2018	9
Tabla 6. Límites de rebases para vehículos y personas. Fuente: Eurotop2018	10
Tabla 7. Límites de rebase EuroTop 2007	10
Tabla 8. Resumen de los límites de rebase clasificados por tramos. Fuente: Elaboración propia	11
Tabla 9. Coeficiente de rugosidad. Fuente: Eurotop	12
Tabla 10. Caudal de rebase en distintos escenarios. Fuente: Elaboración propia	13
Tabla 11. Cuantificación del rebase en tramo 3. Fuente: Elaboración propia	14
Tabla 12. Características geométricas. Fuente: Elaboración propia	17
Tabla 13. Comparación de resultados Pedersen y “Molines (2018)”. Fuente: “Molines et al. (2018)”	17
Tabla 14. tabla resumen de los empujes activos. Fuente: Elaboración propia	20
Tabla 15. Tabla resumen de empujes pasivos. Fuente: Elaboración propia	21

Tabla 16. Datos geométricos. Fuente: Elaboración propia	22
Tabla 17. Coeficientes de compatibilidad. Fuente: ROM 05-0.5.....	22
Tabla 18. Coeficientes de compatibilidad. Fuente: ROM 05-0.5.....	22
Tabla 19. Características del espaldón. Fuente: Elaboración propia	22
Tabla 20. Esfuerzos sobre el dique. Fuente: Elaboración propia	23
Tabla 21. Coeficientes de seguridad. Fuente: ROM 05-0.5.....	25
Tabla 22. Resultado de las estabildades según el escenario para la combinación característica. Fuente: Elaboración propia	25
Tabla 23. Estabilidad del manto. Fuente: Elaboración propia	27
Tabla 24. Estabilidad del morro. Fuente: Elaboración propia.....	28
Tabla 25. Factor de seguridad frente a hundimiento. Fuente: elaboración propia	31
Tabla 26. Características de los materiales que componen el dique. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 27. Combinación de acciones. fuente. Elaboración propia	34
Tabla 28. Coeficientes de seguridad. Fuente: ROM.....	34
Tabla 29. Coeficientes de seguridad mínimos ante pérdida de estabilidad global. Fuente: Elaboración propia.....	36
Tabla 30. Resumen de las comprobaciones de los modos de fallo. Fuente: Elaboración propia.....	37



La estabilidad y seguridad en los diques de abrigo es un tema ampliamente estudiado a lo largo de los años por diferentes autores. “Bruun (1979)” realizó un análisis de estos fallos aplicados a los diques en talud y los resumió en 11 tipos:

1. Extracción de las piezas del manto principal en el recorrido del ascenso del agua, lo que provoca cambios en las orientaciones de las piezas respecto su posición inicial.
2. Extracción de las piezas del manto principal en el recorrido de descenso del agua.
3. Averías en la zona abrigada del dique causadas por el caudal que rebasa la coronación.
4. Daño de las piezas por fatiga.
5. Estabilidad del espaldón debido a fuerzas causadas por el oleaje, subpresiones y presiones activas del terreno.
6. Inestabilidad global del manto principal a falta de fricción entre las capas adyacentes.
7. Asientos del terreno causados por la estructura o espaldón.
8. Defectos constructivos.
9. Desgaste y pérdida de las características de los materiales.
10. Erosión del pie del dique por el oleaje provocando el descalce de la estructura aumentando su inestabilidad.
11. Fuerzas verticales debidas a flujos ascendentes causados por la transmisión de energía del núcleo al exterior.

A continuación, **se ha estudiado la situación actual y a largo plazo**, todas ellas **respecto a los diferentes escenarios posibles bajo la influencia del cambio climático** enumerados anteriormente en el apartado “*Cambio climático*” (acudir al Anejo N^o3). Concretamente estos 4 escenarios propuestos por el IPCC (**SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP3-7.0**) sugieren que de cara al año 2100, con un nivel continuo y creciente de emisiones, podría llevar a aumentos del nivel del mar que oscilarían entre los 60 y 110 centímetros.

Tras evaluar las características del dique y las acciones ante las que está expuesto, se ha reducido el número de modos de fallo a 5 y se ha realizado el análisis de cada uno de ellos:

- Rebase del espaldón
- Inestabilidad del espaldón
- Rotura del manto principal
- Asientos producidos por el espaldón y el dique
- Estabilidad de las piezas del manto

1 Clasificación de los escenarios estudiados

Para el cálculo de los modos de fallo que producirían la rotura de la estructura se han tenido en cuenta tres posibles escenarios:

- **Escenario 0.** Hace referencia al clima marítimo durante el actual año (2023).
- **Escenario 1.** En segundo lugar, se analiza las cargas correspondientes al **año 2050**, del que faltan 27 años para su cumplimiento y entraría dentro de un periodo corto de tiempo.
- **Escenario 2.** Por último, se estudia la situación en el **año 2100**, año que se ha detallado anteriormente y sería clasificado como catástrofe de cumplirse algunos de los escenarios extremos del IPCC.

Del lado de la seguridad se toman los siguientes niveles del mar para el cálculo de los estados límite. Para los escenarios 1 (año 2050) y escenario 2 (año 2100) se han pronosticado 4 posibles sucesos con el objetivo de obtener el mayor número de datos posibles. Un aumento de 20, 25, 30 y 35 centímetros para mitad de siglo y 45, 55, 67 y 75 centímetros para el año 2100. La tabla siguiente recoge los datos:

Año	2050				2100			
Escenario	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Nivel del mar [m]	0,2	0,25	0,3	0,33	0,45	0,55	0,67	0,75
Temperatura [°]	2,1	2,3	2,8	3,2	2,2	3,2	4	6

Tabla 1. Aumento del nivel del mar para los escenarios. Fuente: Elaboración propia

2 Rotura del oleaje

Una vez definidos los escenarios, es necesario, tal y como se ha hecho anteriormente en el apartado "Propagación del oleaje" (véase en el Anejo N°5), definir si el dique se encuentra dentro de la posición de la rotura del oleaje para los próximos años, acorde al aumento del nivel del mar y **es necesario definir la altura de ola de cálculo necesaria para comprobar y dimensionar los modos de fallo**. Este factor es necesario conocerlo para el cálculo de rebases y fuerzas sobre el espaldón. Tradicionalmente se clasifica en dos tipos:

- Rotura por peralte
- Rotura por limitación de fondo

2.1 Rotura del oleaje por peralte

Se produce este fenómeno cuando las olas se vuelven inestables produciéndose su rotura antes de alcanzar la rotura por fondo. Este fenómeno se basa en los estudios de

Stokes (1849) y Mitchell (1893). De los ensayos se obtuvo el peralte de la cresta previo a la rotura suponiendo un ángulo de 120º es estado estacionario.

2.2 Rotura del oleaje por limitación de fondo

Se ha definido previamente, que la altura de rotura del oleaje se produce una vez alcanzado el 80% de la profundidad ($H_{rotura} = 0,8 \times d$), por lo que para cada escenario se ha obtenido la altura corregida (H_{m0}) con los efectos de asomeramiento y refracción. Si esta altura es mayor a la profundidad de rotura ($H_{rotura} > H_{m0}$), el oleaje llega al dique en situación de rotura. **Importante añadir a la profundidad el aumento del nivel del mar causado por la pleamar (+0,63 metros) y por el cambio climático, por lo que:**

$$\text{Nivel del mar} = \text{Profundidad (8m)} + \text{Subida por C. Climático} + \text{Pleamar (0,63m)}$$

La Tabla 2 recoge el estado del oleaje a pie de dique como se acaba de explicar:

Año	2050				2100			
Escenario	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Subida mar por C. Climático [m]	0,2	0,25	0,3	0,33	0,45	0,55	0,67	0,75
Pleamar [m]	0,63							
Nivel del mar total	8,83	8,88	8,93	8,96	9,08	9,18	9,3	9,38
Áng de incidencia [º]	5							
H corregida [m]	8,38	8,37	8,36	8,35	8,33	8,31	8,29	8,28
Rotura por fondo [m]	7,57	7,61	7,65	7,67	7,77	7,85	7,94	8,01
ROTURA	Rotura	Rotura	Rotura	Rotura	Rotura	Rotura	Rotura	Rotura

Tabla 2. Características según la dirección del oleaje. Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior muestra de forma resumida las características de la dirección principal asociada al oleaje de cálculo para los años 2050 y 2100. Se aprecia un ligero descenso en la altura de ola a pie de dique una vez efectuadas las correcciones de refracción y asomeramiento. Esto se produce por el aumento de la profundidad a pie de dique que aumenta de 8 a 8,75 metros para los escenarios. Estas variaciones de altura de ola son mínimas y negativas.

Respecto a la altura de ola significativa, al localizarse el dique en zona de rotura se ha tomado el valor mínimo entre 0,55*profundidad y la altura de cálculo $H_{m,0}$. La dirección para el cálculo de los coeficientes es aquella que cuenta con mayor altura de ola asociada, la dirección Sur (180ºN). Se muestra un ejemplo correspondiente a la altura de la ola de cálculo para el año 2023:

$$H_{\text{cálculo},2023} = \min\{0,55 \times \text{profundidad}; H_{m,0}\} = \min\{0,55 \times 8,65; 8,08\} = 4,7575 \text{ metros}$$

3 Materiales y dimensiones geométricas del dique

Antes del comienzo de los cálculos es importante caracterizar los materiales con los que se va a estudiar el comportamiento de una estructura. Esto se debe a la resistencia, durabilidad, eficiencia y criterios con el cumplimiento de la normativa y coeficientes de seguridad. El dique, como se ha comentado con anterioridad en el *“Estado actual de la obra de abrigo” (acudir al Anejo N°4)*, está compuesto por varias capas de materiales: Escollera para el manto principal y secundario, material Todo Uno para el núcleo, Hormigón para el espaldón y se ha supuesto, conforme lo visto en el apartado *“Geología regional” (Anejo N°5)* un estrato de arena sobre la que se apoya la estructura.

Ante la falta de estudios de laboratorio donde se detallen las características propias de cada uno, se han supuesto los valores guiándose mediante tablas características como el documento *“CIRIA-CUR – Rock Manual”*. La Tabla 3 recoge los datos:

Material/Características	P.Específico [KN/m3]	Cohesión	Áng. roz. Interno [°]
Escollera	26	0	40
Todo uno	18	0	37
Hormigón	25	0	40
Arena	21	0	30

Tabla 3. Características de los materiales que componen el dique. fuente: Elaboración propia

El uso de las características de estos materiales se ha llevado a cabo en los apartados siguientes: *“Asientos producidos por el espaldón”* y *“Pérdida de estabilidad global”*.

Se ha diferenciado el dique en tres tramos para poder analizar mejor el comportamiento de cada parte. Esto se debe a que las direcciones con respecto al oleaje incidente de cálculo no son las mismas en todas las zonas.

- **Primer tramo:** Arranca desde tierra y se prolonga mar adentro. Su profundidad va aumentando conforme se aleja de la costa hasta alcanzar los 8 metros donde enlaza mediante un codo el segundo tramo.
- **Segundo tramo:** Se sitúa de forma paralela a la costa y a la batimetría. La profundidad es constante y es igual a 8 metros. Destaca por ser el único tramo en contar con espaldón y su altura de coronación es de 3,37 metro respecto a la pleamar (PM).
- **Tercer tramo:** Es la continuación del tramo anterior y es el de mayor longitud. A diferencia del tramo dos, este no tiene espaldón por lo que la cota de coronación es medio metro inferior.
- **Morro:** Última zona que compone el dique.

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

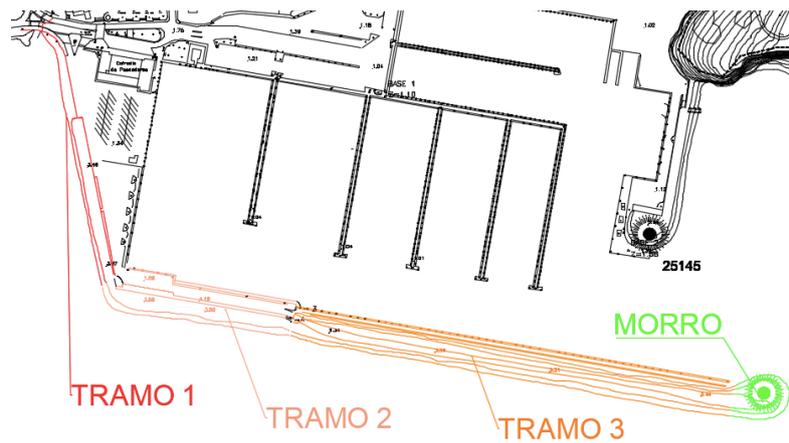


Figura 1. Separación de la obra de abrigo por tramos. Fuente: Elaboración propia

Por último, se complementa esta información con un resumen de los datos geométricos más importantes dependiendo de la sección del dique en relación con los posibles escenarios sin tener en cuenta el aumento por pleamar: altura del espaldón, altura de la escollera, ancho de la parte superior del manto delante del espaldón:

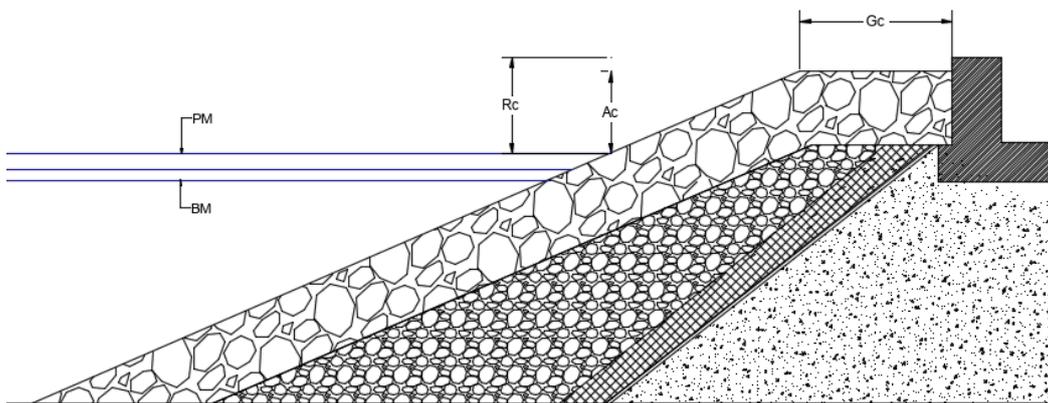


Figura 2. Referencias geométricas del dique sin contar el aumento por pleamar. Fuente: Elaboración propia

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Nivel del mar [m]	8	8,2	8,25	8,3	8,33	8,45	8,55	8,67	8,75
Gc [m]		5,3							
Rc [m]	4	3,80	3,75	3,70	3,67	3,55	3,45	3,33	3,25
Ac [m]	3,5	3,30	3,25	3,20	3,17	3,05	2,95	2,83	2,75

Tabla 4. Datos geométricos del dique. Fuente: Elaboración propia

4 Rebase de la estructura

El rebase es un proceso físico por el cual el oleaje supera la cota de coronación de una obra de abrigo. Se determina principalmente por: la geometría de la estructura, el clima marítimo de la zona y el nivel del mar. Un mal dimensionamiento puede causar los siguientes efectos:

- Mayor rapidez en el deterioro de la estructura.
- Daños materiales y humanos en la zona abrigada. El paso del agua puede provocar un daño directo sobre ciclistas, peatones, vehículos o embarcaciones.
- Pérdidas sobre la propiedad.

Junto con el rebase, se ligan dos parámetros importantes que justificarán la eficiencia de la estructura, como son:

- Volumen de rebase: Cantidad de agua [m³] que supera la parte más alta de una estructura de abrigo por la acción de una ola sobre ella.
- Tasa de rebase: Volumen de agua por unidad de tiempo que supera la coronación de una estructura. Se mide en caudal por metro lineal de estructura [m³/t*m].

4.1 Valores máximos de rebase

Para el estudio del rebase se ha usado el Eurotop 2007 y 2018, que proporciona toda la información necesaria. Toda la formulación empleada en el cálculo del rebase de una estructura de obra marítima cuentan con una configuración similar, se usa una función de tipo exponencial para calcular el volumen de agua que superará la coronación del dique. Esto se debe, a que la cantidad de agua aumentará conforme disminuya la altura de coronación o cuanto mayor sea la altura del oleaje. Los distintos límites según su clasificación aparecen en las siguientes tablas:

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H _{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H _{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Tabla 5. Límites máximos para propiedades. Fuente: Eurotop2018

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
People at structures with possible violent overtopping, mostly vertical structures	No access for any predicted overtopping	No access for any predicted overtopping
People at seawall / dike crest. Clear view of the sea. H _{m0} = 3 m H _{m0} = 2 m H _{m0} = 1 m H _{m0} < 0.5 m	0.3 1 10-20 No limit	600 600 600 No limit
Cars on seawall / dike crest, or railway close behind crest H _{m0} = 3 m H _{m0} = 2 m H _{m0} = 1 m	<5 10-20 <75	2000 2000 2000
Highways and roads, fast traffic	Close before debris in spray becomes dangerous	Close before debris in spray becomes dangerous

Tabla 6. Límites de rebases para vehículos y personas. Fuente: Eurotop2018

Hazard type and reason	Mean discharge
	q (l/s/m)
Embankment seawalls/sea dikes	
No damage if crest and rear slope are well protected	50–200
No damage to crest and rear face of grass covered embankment of clay	1–10
No damage to crest and rear face of embankment if not protected	0.1
Promenade or revetment seawalls	
Damage to paved or armoured promenade behind seawall	200
Damage to grassed or lightly protected promenade or reclamation cover	50

Tabla 7. Límites de rebase EuroTop 2007

Consultando la información del Eurotop 2007 y 2018, se proporcionan los límites de rebase de la estructura atendiendo a tres clasificaciones: límites de rebase para vehículos y personas, los límites de rebase para embarcaciones tras la defensa y límites para no sufrir daños en el pavimento.

Se recuerda que esta obra de abrigo tiene varias secciones claramente diferenciadas y que en el trasdós del dique se encuentra un aparcamiento pavimentado de vehículos, paseo de peatones y amarres de embarcaciones. **Es por ello por lo que se usará dos valores límite. Para el tramo pavimentado y que tiene espaldón se limite el rebase a 200 l/s/m atendiendo a la limitación para evitar daños en el pavimento. Para el resto del dique donde solo hay amarres se limita a 5 l/s·m, como se puede observar en la Tabla 8. Quedan resumido los valores en la siguiente tabla:**

Caudal límite [l/s/m]	Clasificación	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Morro
		Límites para propiedades	200	200	
	Límites para evitar daños en el pavimento	5	5	5	5

Tabla 8. Resumen de los límites de rebase clasificados por tramos. Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el volumen de rebase, y si es superior a los valores anteriores, será necesario llevar a cabo una modificación del dique para alcanzar unos valores aceptables

4.2 Cuantificación del rebase

Se recuerda que el dique está formado por 4 secciones claramente diferenciadas por sus componentes y geometría, siendo la primera y segunda las que cuentan con espaldón y la tercera y la cuarta las compuestas por un manto de escollera únicamente (véase en el Anejo N°4). En la Figura 3 se muestra una superposición de las secciones 1 y 3 donde se aprecia que la altura que aporta el espaldón a la estructura es de 0,5 metros. Es por eso por lo que se ha analizado el rebase para todas las secciones y poder ver cómo influye la existencia

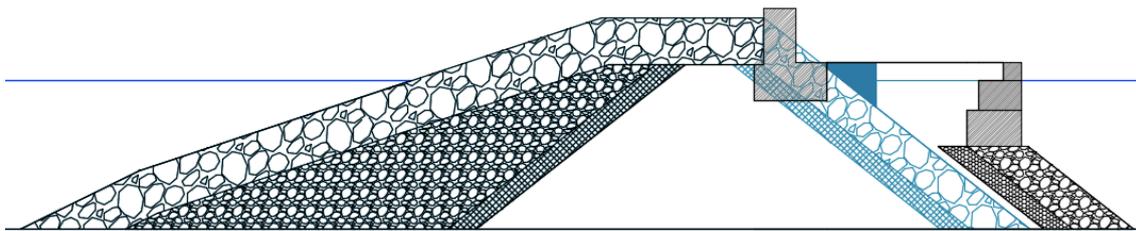


Figura 3. Superposición de secciones 1 y 3. Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo una clasificación del dique se ha usado la siguiente fórmula del estudio "Explicit Wave-Overtopping Formula for Mound Breakwaters with Crown Walls Using CLASH Neural Network-Derived Data" realizado por Molines et al.(2016) que relaciona los valores de: altura de coronación (R_c), anchura del manto en la coronación (G_c), la altura de la ola de cálculo ($H_{m0}=0,55 \cdot \text{profundidad}$), tasa de rebase (q), el factor de rugosidad de la estructura (γ_f) y el facto de oblicuidad del oleaje (γ_B). Esta fórmula se emplea concretamente para oleajes de rotura por fondo, como es este caso.

$$Q = \frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} = Q6 = \exp(\lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \cdot \lambda_5 \cdot \lambda_6 \cdot \left[a_1 + b_1 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \times \frac{1}{\gamma_f \times \gamma_B} \right])$$

Donde los parámetros λ son:

- $\lambda_2 = a_2 + b_2 \cdot Ir \cdot \sqrt{\frac{R_c}{H_{m0}}}$
- $\lambda_3 = a_3 + b_3 \cdot \exp(c_3 \cdot \frac{R_c}{h})$

$$\begin{aligned}
 - \lambda_4 &= \max \left[c_4; \left(a_4 + b_4 \cdot \frac{Gc}{H_{m0}} \right) \right] \\
 - \lambda_5 &= a_5 + b_5 \cdot \frac{Ac}{Rc} \\
 - \lambda_6 &= \begin{cases} \max \left[c_6; \left(a_6 + b_6 \cdot \frac{Rc}{h} \right) \right] & \text{si } B_t > 0 \\ d_6 & \text{si } B_t = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

Se comienza calculando los múltiples valores para el parámetro λ donde se usan datos geométricos (R_c , A_c y G_c) y valores constantes del artículo de “Molines et al. (2016)” que se adjuntan en la siguiente tabla:

Parámetro	a	b	c	d
1	-1,6	-2,6		
2	1,2	-0,05		
3	1	2	-35	
4	0,85	0,13	0,95	
5	0,85	0,15		
6	1,2	-0,5	1	1

Figura 4. Constantes para cuantificar el rebase. Fuente: “Molines et al. (2016)”

4.2.1 Rebase del tramo 2 (secciones 1 y 2)

Sustituyendo se obtiene los valores λ para los 9 escenarios:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
λ_2	1,130	1,112	1,113	1,114	1,115	1,117	1,119	1,122	1,123
λ_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
λ_4	0,995	0,992	0,991	0,990	0,990	0,988	0,986	0,985	0,984
λ_5	0,955	0,953	0,952	0,951	0,951	0,949	0,947	0,944	0,943
λ_6	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Figura 5. Valores lambda. Fuente: Elaboración propia

El manto principal está compuesto por material de escollera y la forma de colocación es irregular y aleatoria. El coeficiente de rozamiento se puede definir a través de la siguiente tabla, por lo que el material de escollera poseerá un coeficiente de rugosidad (γ_f) igual a 0,5.

Armor type	γ_f		
Smooth	1.00	Accropode™ (1L)	0.44
Rock (2L)	0.50	Core-Loc™ (1L)	0.47
Cube (2L, random)	0.50	Xbloc ^R (1L)	0.49
Antifer (2L)	0.50	Dolos (2L)	0.43
Haro ^R (2L)	0.47	Cubipod ^R (2L)	0.44
Tetrapod (2L)	0.40	Cubipod ^R (1L)	0.46

Tabla 9. Coeficiente de rugosidad. Fuente: Eurotop

Para obtener el factor de oblicuidad del oleaje, es necesario el ángulo β formado por la dirección principal del oleaje y la perpendicular al dique. Este se ha estudiado con anterioridad en el apartado “***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***”. Se establece, por tanto, que la dirección que se caracteriza con la mayor altura de ola es la proveniente del sur (180°).

Se ha tomado una dirección del dique igual a 95° respecto el Norte, por lo tanto, para calcular el facto de oblicuidad se usa la siguiente expresión:

$$\beta = 95^\circ + 90^\circ - 180^\circ = 5^\circ$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0077 \times 5 = 1 - 0,0077 \times 5 = 0,9615$$

Una vez conocidos todos los datos, se introducen en la ecuación y se obtienen los resultados de la Tabla 10. Se puede observar que el rebase cumple en todos los casos con la limitación de 200 l/s/m que marca la normativa para evitar daños en el pavimento. Sin embargo, los resultados del año 2100 no cumplen con la limitación de 5 l/s/m referente al daño sobre embarcaciones y propiedades.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
q [m3/s/m.l]	0,0025	0,0036	0,0039	0,0042	0,0045	0,0054	0,0064	0,0077	0,0087

Tabla 10. Caudal de rebase en distintos escenarios. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, el rebase calculado para la sección con mayor altura de coronación (*sección 1*) cumple en el escenario 0 y 1.

Para el año actual se calcula un rebase de 0,0028 m3/s/m, es decir, el equivalente a 2,8 litros/s/m. Seguidamente, para el resto de los escenarios el rebase aumenta considerablemente al tratarse de una función exponencial y **los resultados del escenario 2 (año 2100) no cumplen** con el caudal máximo.

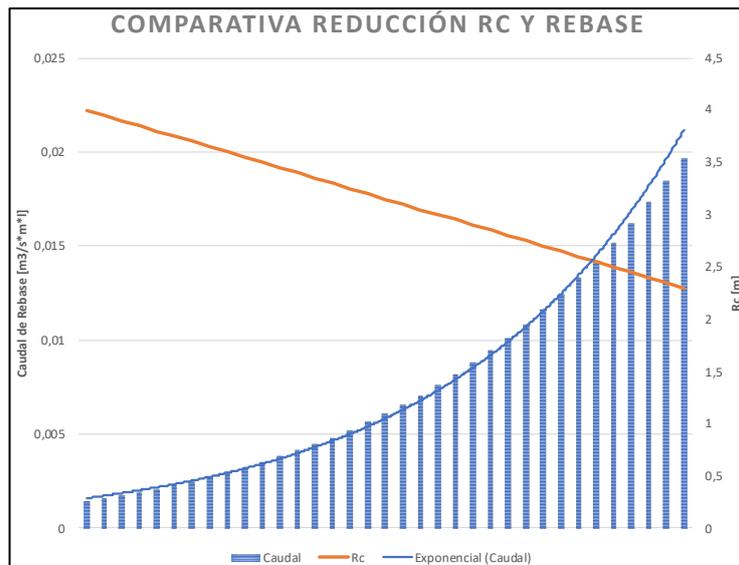


Figura 6. Gráfica del caudal de rebase

La figura anterior refleja el efecto que produce la disminución de la altura de coronación (R_c), provocando que con ligeros cambios los niveles de rebase se eleven gravemente.

4.2.2 Rebase tramo 3 (sección 3 y 4)

Para esta sección, se ha realizado el mismo procedimiento y formulación que anteriormente. El dato que altera los resultados es la reducción de “ R_c ” que, al no haber espaldón, la altura máxima de coronación es la de la escollera. Esto supone que $A_c = R_c$. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Nivel del mar [m]	8,63	8,83	8,88	8,93	8,96	9,08	9,18	9,3	9,38
Hm0 [m]	4,75	4,86	4,88	4,91	4,93	4,99	5,05	5,12	5,16
Ir	2,18	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,16	2,16	2,16
Periodo pico [s]	8,75	8,82	8,84	8,86	8,87	8,92	8,95	9,00	9,03
Long onda [m]	119,40	121,50	122,02	122,54	122,85	124,10	125,14	126,38	127,21
Gc [m]	6,00								
Rc [m]	2,87	2,67	2,62	2,57	2,54	2,42	2,32	2,20	2,12
γ_f Ac [m]	2,87	2,67	2,62	2,57	2,54	2,42	2,32	2,20	2,12
γ_β	0,50								
λ_2	0,96								
λ_3	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13
λ_4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ_5	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00
λ_6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
q [m3/s/m.l]	0,0040	0,0057	0,0061	0,0067	0,0070	0,0084	0,0098	0,0117	0,0132

Tabla 11. Cuantificación del rebase en tramo 3. Fuente: Elaboración propia

Los rebases en el año actual son de 4 l/s·m, es decir, cumple con la normativa. Sin embargo, para el resto de los escenarios de los años 2050 y 2100, el caudal es superior

en todos los casos a 5 l/s-m, por lo tanto, no cumple las restricciones de rebase propuestas por el Eurotop 2018 y es necesaria una modificación de la estructura del dique de cara al futuro. La Figura 7 es un mapa de calor que simula las zonas donde más frágil es la estructura al rebase.

4.2.3 Rebase Tramo 1

Para el cálculo en este tramo se ha tenido en cuenta la diferencia en la cota de profundidad. El valor que hace variar los resultados de los anteriores es fundamentalmente, el parámetro γ_β . Se ha escogido como dirección del dique 170° por lo que:

$$\beta = 170 + 90 - 180 = 80^\circ$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0077 \times 80 = 0,384$$

Profundidad / Escenarios	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
8	4,75654E-05	9,92194E-05	0,00011867	0,00014166	0,0001574	0,00023836	0,00033424	0,00049698	0,00064401
7	1,77821E-05	4,13855E-05	5,0801E-05	6,2209E-05	7,017E-05	0,00011265	0,00016549	0,0002596	0,00034814
6	5,01596E-06	1,35222E-05	1,7185E-05	2,177E-05	2,5051E-05	4,345E-05	6,7871E-05	0,0001142	0,00016016
5	9,44263E-07	3,12472E-06	4,1663E-06	5,5308E-06	6,542E-06	1,2615E-05	2,1422E-05	3,9634E-05	5,9037E-05
4	9,40071E-08	4,214E-07	6,0282E-07	8,5681E-07	1,0548E-06	2,371E-06	4,5388E-06	9,6118E-06	1,5589E-05
3	3,20384E-09	2,33737E-08	3,7371E-08	5,9138E-08	7,7515E-08	2,2104E-07	5,086E-07	1,3221E-06	2,4369E-06
2	1,36941E-11	2,42974E-10	4,7378E-10	9,0666E-10	1,3268E-09	5,7209E-09	1,8023E-08	6,6125E-08	1,5065E-07
1	4,71122E-16	6,19484E-14	1,8578E-13	5,3373E-13	9,8589E-13	1,0019E-11	5,9473E-11	4,2934E-10	1,4692E-09

Se ha estudiado para todas la profundidades y escenarios posibles, obteniéndose como resultado la tabla anterior que muestra que el rebase para este tramo es admisible en cualquier combinación, destacando que a mayores profundidades el rebase crecerá más con el nivel del mar. Esto se ve claramente con la siguiente imagen:

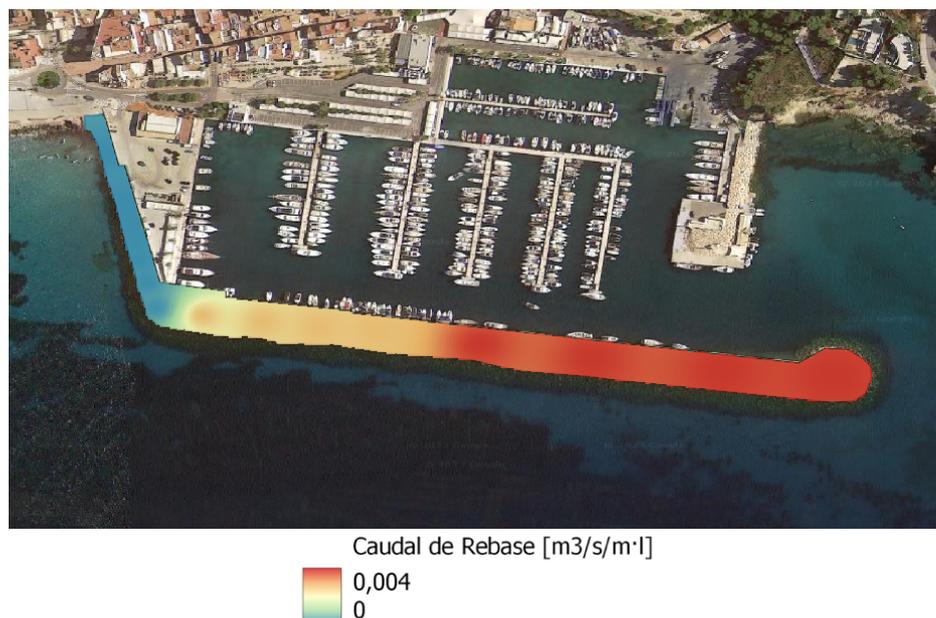


Figura 7. Mapa de calor de las zonas más frágiles al rebase. Fuente: Elaboración propia

5 Inestabilidad del espaldón

Dentro de las comprobaciones de fallo es necesario estudiar el efecto de las fuerzas que actúan sobre el espaldón. La acción del oleaje produce una serie de fuerzas verticales y horizontales que, al actuar con cierta excentricidad respecto al centro de gravedad del espaldón, producen momentos desestabilizadores que originan el fallo.

Por otro lado, el peso de la estructura aporta estabilidad. Se considera que no se producen sucesos de vuelco ni deslizamiento si se cumple lo siguiente:

$$F_{\text{deslizamiento}} < \frac{F_{\text{estabilizadoras}}}{F_{\text{desestabilizadoras}}}$$

$$F_{\text{vuelco}} < \frac{M_{\text{estabilizadores}}}{M_{\text{desestabilizadores}}}$$

En el estudio realizado por Negro et al. (2012) se realizó una comparativa de la formulación publicada entre finales del siglo pasado y comienzos del actual. Se desarrollan las formulaciones de autores como: Pedersen (1966), Martin et al. (1995-1999), Berenguer and Baonza (2006) y Norgaard et al. (2013). Del estudio se concluye la disparidad de resultados debidos en parte al desarrollo de la formulación para geometrías diferentes en cada caso.

Para estudiar cómo se comporta el espaldón frente a estas fuerzas, se va a emplear la formulación propia del artículo “Estimations of wave forces on crown walls based on wave overtopping rates” desarrollado por Jorge Molines, María P.Herrera y Josep R.Medina (2018). Los autores propusieron un método para calcular las fuerzas producidas por el oleaje que rompe por fondo y colisiona posteriormente contra la estructura. En el estudio se emplearon 7 variables a través de las cuales se cuantificaron las acciones.

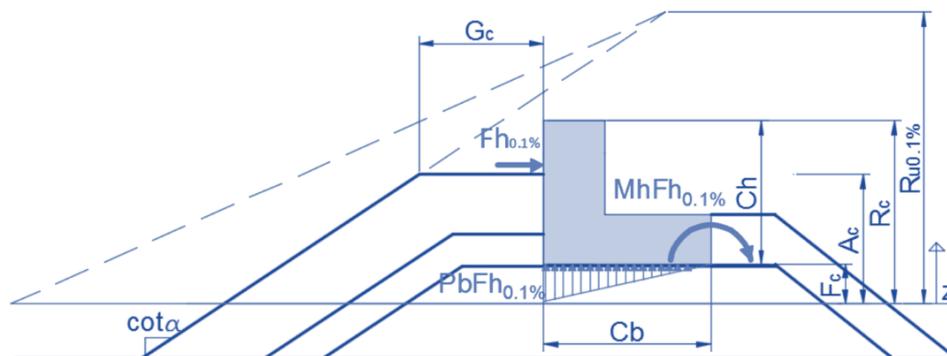


Figura 8. Variables empleadas por Molines (2018). Fuente: “Molines et al. (2018)”

“Molines (2018)” propone las siguientes variables, donde emplea la ecuación de Pedersen para calcular los momentos causados por fuerzas horizontales y una

distribución lineal para fuerzas producidas por supresiones. La formulación es la siguiente:

$$\frac{Fh_{0,1\%}}{(0,5 \times p \times g \times C_h^2)} = \left(-1,29 + 1,8 \times \frac{\gamma_f \times R_{u0,1\%}}{Rc} + 0,93 \times \frac{(R_c - A_c)}{Ch} + 0,16 \times \sqrt{\frac{L_m}{G_c}} \right)^2$$

$$\frac{P_b \times Fh_{0,1\%}}{(0,5 \times p \times g \times C_h^2)} = \frac{1}{0,5} \times \left(-0,86 + 0,75 \times \frac{\gamma_f \times R_{u0,1\%}}{Rc} + 0,41 \times \frac{(R_c - A_c)}{Ch} + 0,17 \times \sqrt{\frac{L_m}{G_c}} - 0,9 \times \frac{F_c}{C_h} \right)^2$$

Donde las anteriores variables equivalen a:

- p : densidad del agua
- g : aceleración de la gravedad
- γ_f : coeficiente de rugosidad
- $R_{u0,1\%}$: ola virtual
- L : periodo en aguas profundas
- $R_c, A_c, G_c, F_c, Ch, C_b$: datos geométricos

La Tabla 12 y Tabla 13 recogen los datos a introducir y los resultados obtenidos de la relación entre algunas de las variables en 3 estudios: 111 test realizados por Pedersen, 163 test por “Molines (2018)” y la última columna que refleja la situación actual del Puerto de Moraira.

Moraira	
2023	
Gc [m]	5,30
Rc [m]	4,00
Ac [m]	3,50
Hm0 [m]	4,76
γ_f	0,50
Tm [s]	8,75
Eom	5,02
Lp [m]	119,57
Lm [s]	41,70
Fc [m]	1,10
alfa [°]	23,50
Ch [m]	5,10
Ru0,1%	4,00
q [m3/s/m.l]	0,0028
Q [m3/s/m.l]	8,6194E-05

Tabla 12. Características geométricas. Fuente: Elaboración propia

Variable	Pedersen [2] tests: 111	Molines [8] tests: 163	Moraira
[Min., Max.]	[Min., Max.]	[Min., Max.]	2023
Rc/J(Yf*Hmo)	[1.671, 5.555]	[2.634, 6.547]	1,682
Eom	[1.386, 5.744]	[2.645, 7.766]	5,023
Yf*Ru0.1%/Rc	[0.438, 1.410]	[0.355, 0.938]	0,500
(Rc-Ac)/Ch	[0.000, 0.545]	[0.067, 0.589]	0,098
raiz(Lm/Gc)	[2.638, 4.551]	[3.399, 6.539]	2,805
Fc/Lop	[0.000, 0.013]	[0.000, 0.030]	0,009
Log Q	[(-5.611), (-2.786)]	[(-6.000), (-2.956)]	-4,065

Tabla 13. Comparación de resultados Pedersen y "Molines (2018)". Fuente: "Molines et al. (2018)"

En la anterior se puede observar una comparación entre los resultados obtenidos por "Pedersen (año)" y "Molines (2018)" empleando las fórmulas usadas en el estudio citado anteriormente. La tercera columna muestra los resultados de las relaciones entre parámetros aplicadas al dique de Moraira. Como se observan los resultados obtenidos se asemejan y entran dentro de los intervalos de los cálculos de los estudios ya realizados. De tal forma que las conclusiones del estudio se pueden aplicar a este trabajo.

En el artículo "Molines et al. (2018)", se analizan los datos experimentales y se aproxima a una relación lineal de carácter logarítmico (log(Q)). Como resultado se empleará la siguiente formulación:

- **Fuerza horizontal** producida por el impacto directo del oleaje:

$$\frac{Fh}{0,5 \times p \times g \times Ch^2} = 3,6 + 0,6 \times \log \left(\frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} \right)$$

- **Fuerza vertical del oleaje.** La fórmula desarrollada en el estudio es la siguiente, donde en primer lugar se calcula la presión ejercida sobre la base:

$$\frac{PbF}{0,5 \times p \times g \times Ch^2} = 0,02 \times \left(\frac{Fc}{\frac{g \times Tp}{2 \times \pi}} \right)^{0,5}$$

$$Fv = Pbf \times 0,5 \times Cb$$

- **Momento horizontal** producido por fuerzas del oleaje. Se calcula en el talón del espaldón:

$$\frac{Mhf}{p \times g \times Ch^2} = 1,08 + 0,18 \times \log \left(\frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} \right)$$

- **Momento vertical** por fuerzas del oleaje. Consiste en hallar la resultante del triángulo de presiones de la cara inferior del espaldón y de igual manera se referencia frente al talón del espaldón:

$$Mv = \frac{2}{3} \times Fv \times Cb$$

Al momento producido por la suma de estas fuerzas deberá ser añadido al momento generado por el empuje del terreno (escollera y material del núcleo) y por la presión hidrostática derivada de tener la cota del nivel del mar por encima de la cota base del espaldón.

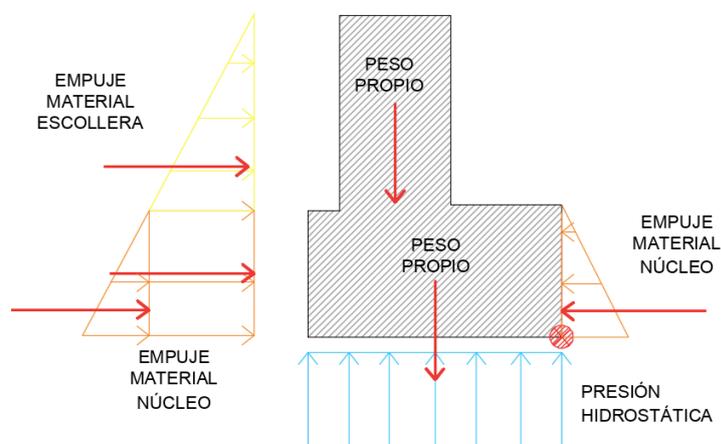


Figura 9. Fuerzas adicionales sobre el espaldón. Fuente: Elaboración propia

- **Fuerza ejercida por el terreno.** Es aquella que realiza el material situado en lugares adyacentes al espaldón y se calcula como una presión activa y/o pasiva según la teoría de Rankine. Se trata de un común en muros que cuentan con la coronación libre, sin tener el movimiento coartado. Para calcularlo se obtiene el empuje mediante el cálculo del coeficiente de empuje (K_a o K_p) que se relaciona con los valores de tensiones efectivas y cohesión:

$$\sigma_{a'} = \sigma' \times K_a - 2 \times c' \times \sqrt{K_a}$$

$$\sigma_{p'} = \sigma' \times K_p - 2 \times c' \times \sqrt{K_p}$$

Donde:

$$K_a = \cos(i) \times \left(\frac{\cos(i) - \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}}{\cos(i) + \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}} \right)$$

$$K_p = \cos(i) \times \left(\frac{\cos(i) + \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}}{\cos(i) - \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}} \right)$$

Siendo:

- i : La inclinación del terreno en el trasdós
- θ : El ángulo de rozamiento interno del material

$$\sigma' = \sigma - u \quad \begin{cases} \sigma = \gamma \times Z \\ u = 0 \end{cases}$$

Para el cálculo se ha supuesto que tanto el material del núcleo como el del manto principal, al tratarse ambos de materiales granulares, su cohesión es nula. La característica más importante de la que dependerá el empuje será el ángulo de rozamiento interno.

Empujes activos

(0 < Z < 2,6) metros

$$\sigma' = \sigma - u = 26 \times Z \text{ KN/m}^2$$

$$K_{a,Escollera} = \cos(i) \times \left(\frac{\cos(i) - \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}}{\cos(i) + \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}} \right) = 0,22$$

$$\sigma_{a'} = \sigma' \times K_a - 2 \times c' \times \sqrt{K_a} = 5,72 \times Z \text{ KN/m}^2$$

$$Z=0$$

$$\sigma_{a'} = 5,72 \times Z = 0$$

$$Z=2,6$$

$$\sigma_{a'} = 5,72 \times Z = 14,872 \text{ kN/m}^2$$

(2,5 < Z < 4,6) metros

$$\sigma' = \sigma - u = 26 \times 2,6 + (Z - 2,6) \times 18 = 18 \times Z + 20,8 \text{ KN/m}^2$$

$$K_{a,TodoUno} = \cos(i) \times \left(\frac{\cos(i) - \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}}{\cos(i) + \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}} \right) = 0,25$$

$$\sigma_{a'} = \sigma' \times K_a - 2 \times c' \times \sqrt{K_a} = 4,5 \times Z + 5,2 \text{ KN/m}^2$$

$$Z=0 \text{ metros}$$

$$e_{a'} = 4,5 \times Z + 5,2 = 16,9 \text{ KN/m}^2$$

$$Z=2,6 \text{ metros}$$

$$e_{a'} = 4,5 \times Z + 5,2 = 25,9 \text{ KN/m}^2$$

Los empujes calculados por metro lineal son:

$$E_{1\text{ Escollera}} = 14,872 \times 2,6 \times 0,5 = 19,33 \text{ KN/m}$$

$$E_{2\text{ TodoUno}} = (25,9 - 16,9) \times 2 = 18 \text{ KN/m}$$

$$E_{3\text{ TodoUno}} = (25,9 - 16,9) \times 2 \times 0,5 = 9 \text{ KN/m}$$

Material	Z [m]	e' [KN/m2]	e' [KN/m2]	Empuje activo [KN/m]
Escollera	2,60	5,72·Z	14,872	19,3336
Todo uno	2,60	4,5·Z+5,2	16,9	18
	4,60	4,5·Z+5,3	25,9	9

Tabla 14. Tabla resumen de los empujes activos. Fuente: Elaboración propia

Empujes pasivos:

(0<Z<2) metros

$$\sigma' = \sigma - u = 18 \times Z \text{ KN/m}^2$$

$$K_p = \cos(i) \times \left(\frac{\cos(i) + \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}}{\cos(i) - \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}} \right) = 4,02$$

(0<Z<2) metros

$$e_{a'} = \sigma' \times K_p - 2 \times c' \times \sqrt{K_a} = 72,36 \times Z \text{ KN/m}^2$$

$$Z=0 \text{ m}$$

$$e_{p'} = 72,36 \times Z = 0 \text{ KN/m}^2$$

$$Z=2 \text{ m}$$

$$e_{p'} = 72,36 \times Z = 144,72 \text{ KN/m}^2$$

Empuje por metro lineal:

$$E_4 = 144,72 \times 2 \times 0,5 \times 1 = 144,72 \text{ KN}$$

Material	Z [m]	e' [KN/m2]	e' [KN/m2]	Empuje pasivo [KN/m]
Todo uno	2,00	72,36·Z	144,72	144,72

Tabla 15. Tabla resumen de empujes pasivos. Fuente: Elaboración propia.

- **Presión hidrostática.** En el caso del dique del puerto de Moraira, el espaldón se encuentra sumergido 1,1 metros bajo la lámina de agua, es por ello por lo que se ha calculado adicionalmente una presión hidrostática plana en toda la base del espaldón.

$$Pbf = \rho \times g \times h$$

Respecto a momentos estabilizadores, la única fuerza que genera disminuye el vuelco la produce el peso propio del espaldón. Actualmente cuenta con la siguiente geometría:

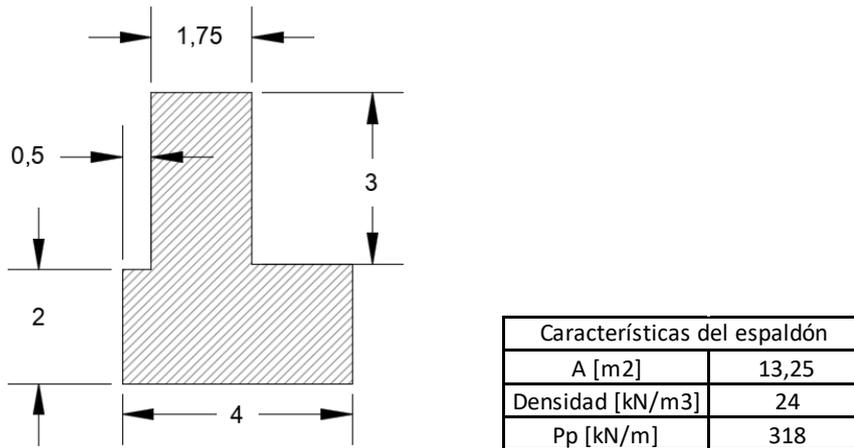


Figura 10. Características del espaldón. Fuente: Elaboración propia

Se introducen los siguientes datos:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Nivel del mar + Pleamar [m]	8,63	8,83	8,88	8,93	8,96	9,08	9,18	9,30	9,38
Gc [m]	5,3								
Rc [m]	3,37	3,17	3,12	3,07	3,04	2,92	2,82	2,70	2,62
Ac [m]	2,87	2,67	2,62	2,57	2,54	2,42	2,32	2,20	2,12
Hm0 [m]	4,75	4,86	4,88	4,91	4,93	4,99	5,05	5,12	5,16
q [m3/s/m.l]	0,0028	0,0040	0,0043	0,0047	0,0049	0,0060	0,0070	0,0084	0,0094
Tp [s]	8,75	8,82	8,84	8,86	8,87	8,92	8,95	9,00	9,03
Ch [m]	5,1								
Cb [m]	4								
Fc [m]	1,73	1,93	1,98	2,03	2,06	2,18	2,28	2,40	2,48
p [kg/m3]	1025								
g [m/s2]	9,81								

Tabla 16. Datos geométricos. Fuente: Elaboración propia

- Combinación característica o fundamental:

$$\gamma_G \times G + \gamma_{Q,0} \times Q_1 + \sum \psi_{0,i} \times \gamma_{q,i} \times Q_i$$

Y los coeficientes:

Tipo de combinación	Fundamental	Frecuente
Origen	ψ_0	ψ_1
Gravitatorio	1	1
Medio fisico	1	0,3
Terreno	1	1
Uso y explotación del Material	1	0,6
Construcción	1	1

Tabla 17. Coeficientes de compatibilidad. Fuente: ROM 05-0.5

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

Carga	Tipo	EQU
Carga permanente	Desfavorable	1,1
	Favorable	0,9
Carga variable	Desfavorable	1,5
	Favorable	0

Tabla 18. Coeficientes de compatibilidad. Fuente: ROM 05-0.5

Espaldón				
Combinación	A [m2]	Densidad [KN/m3]	PP [KN/m]	M [KN*m]
No ponderado	13,25	24	318	744531,25
Característica	13,25	24	286,2	670078,125

Tabla 19. Características del espaldón. Fuente: Elaboración propia

Sustituyendo y aplicando las fórmulas anteriores se obtiene lo siguiente:

Combinación	Año	2023	2050				2100			
	Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
No ponderada	Fh [N]	142143,1	153329,0	156044,1	158727,9	160323,4	166596,9	171696,2	177666,8	181560,1
	Empuje activo terreno [N/m]	46333,6								
	Empuje pasivo terreno 2 [N/m]	144720,0								
	Presión hidrostática [Pa] [N/m]	16954,0	18914,0	19404,0	19894,0	20188,0	21364,0	22344,0	23520,0	24304,0
	Pbf [Pa] [N/m]	930,6	978,7	990,2	1001,6	1008,3	1034,6	1055,9	1080,6	1096,7
	Fv [N]	1861,2	1957,3	1980,4	2003,1	2016,6	2069,2	2111,8	2161,3	2193,4
	Mh [N*m/m]	14258,1	20273,9	21731,5	23171,2	24026,6	27386,5	30113,3	33301,1	35376,7
	Mv [N*m/m]	4963,3	5219,5	5281,0	5341,6	5377,5	5517,9	5631,4	5763,4	5849,2
Caacterística	Fh [N]	142143,1	153329,0	156044,1	158727,9	160323,4	166596,9	171696,2	177666,8	181560,1
	Empuje activo terreno [N/m]	50967,0								
	Empuje pasivo terreno 2 [N/m]	130248,0								
	Presión hidrostática [Pa] [N/m]	18649,4	20805,4	21344,4	21883,4	22206,8	23500,4	24578,4	25872,0	26734,4
	Pbf [Pa] [N/m]	930,6	978,7	990,2	1001,6	1008,3	1034,6	1055,9	1080,6	1096,7
	Fv [N]	1861,2	1957,3	1980,4	2003,1	2016,6	2069,2	2111,8	2161,3	2193,4
	Mh [N*m/m]	14258,1	20273,9	21731,5	23171,2	24026,6	27386,5	30113,3	33301,1	35376,7
	Mv [N*m/m]	4963,3	5219,5	5281,0	5341,6	5377,5	5517,9	5631,4	5763,4	5849,2

Tabla 20. Esfuerzos sobre el dique. Fuente: Elaboración propia

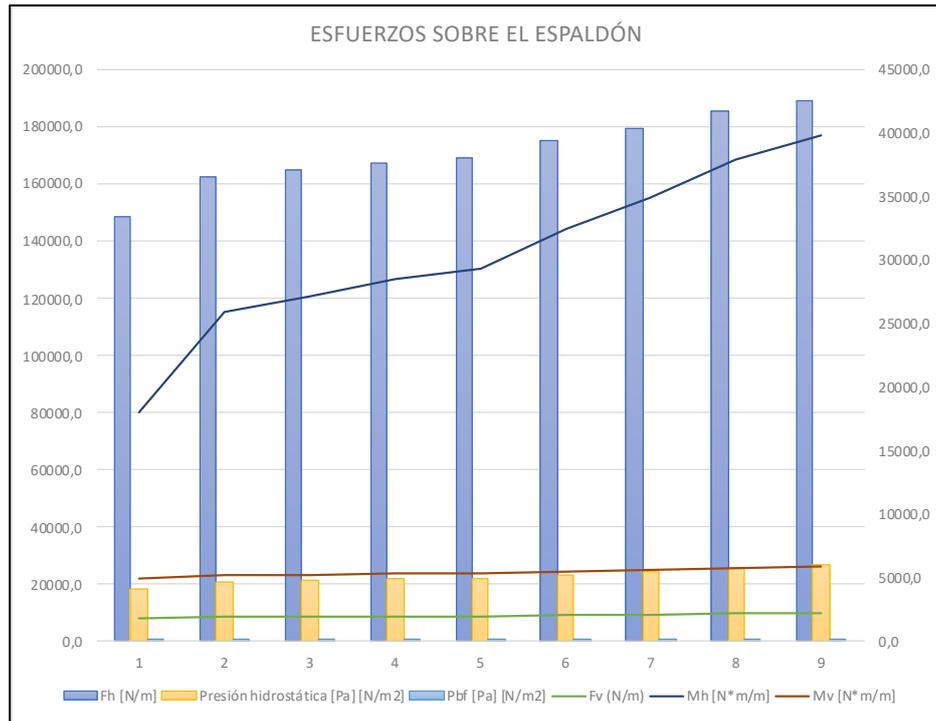


Figura 11. Esfuerzos sobre el espaldón. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica anterior, al aumentar el nivel del mar, aumentar la altura de ola a pie de dique y reducirse las distancias a las cotas del espaldón, todos los valores crecen de cara al año 2100. Para finalizar este apartado y comprobar si está bien dimensionado, calculamos la estabilidad del espaldón a deslizamiento y vuelco. Se usan los resultados de la tabla anterior y las siguientes fórmulas:

5.1 Estabilidad frente a deslizamiento:

$$F_{deslizamiento} < \frac{\sum F_{estabilizadoras}}{\sum F_{desestabilizadoras}} = \frac{PP - Fv}{Fh}$$

5.2 Estabilidad frente a vuelco:

Hay que destacar que el tipo de vuelco que se produce es plástico, ya que por la propia geometría se descarta un vuelco rígido con centro en el talón del espaldón. La Rom 05-0.5 define como vuelco plástico aquel que se produce cuando se plastifica el terreno adyacente, provocando que la estructura se incline pudiendo llegar a volcar.

El coeficiente de seguridad a vuelco plástico es aquel por el que se deben multiplicar las fuerzas horizontales y que plastificaría el terreno. Se define como:

$$F = \frac{H_{Rotura}}{H} = \frac{tang\delta_{rot}}{tang\delta} = tang\delta \times \frac{V}{H}$$

El proceso seguido para calcularlo es el indicado en la Rom 05-0.5 y que emplea la fórmula de Brinch-Hansen para, mediante una serie de hipótesis y tanteos, alcanzar el valor F! más concreto. Se necesita en primer lugar las resultantes de las componentes vertical y horizontal:

- Componente vertical = V
- Componente horizontal = H*F!

Se calcula el momento respecto al borde que se define como:

$$M = V \times a - F! \times H \times h$$

Se calcula la distancia entre el borde de la cimentación y la resultante:

$$d_0 = \frac{M}{V}$$

Se calcula el ángulo respecto a la horizontal y la anchura efectiva:

$$tg(\delta) = F! \times \frac{H}{V} \quad \gamma \quad B^* = 2 \times d_0$$

Se calcula la presión vertical y se compara con la presión vertical de hundimiento calculada con la fórmula polinómica de Brinch-Hansen.

$$pp = \frac{V}{B^*}$$

F! [Factor seguridad]	7,00	7,08	7,16	7,24	7,32	7,40	7,48	7,56
Fh [N/m]	306297,05	309797,59	313298,13	316798,67	320299,20	323799,74	327300,28	330800,82
Fv [N/m]	299350,60	297194,60	296655,60	296116,60	295793,20	294499,60	293421,60	292128,00
M [N·m]	88206,11	78059,88	71147,65	64235,42	57754,39	49332,97	41342,74	32921,31
do [m]	0,29	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11
tg	1,02	7,30	7,48	7,66	7,84	8,05	8,25	8,47
B* [m]	0,59	0,53	0,48	0,43	0,39	0,34	0,28	0,23
pp	507962,42	565749,18	618464,14	682528,70	757462,85	879026,98	1041249,86	1.296.102,42
pvh [N/m ²]	1279000,00	1279000,00	1279000,00	1279000,00	1279000,00	1279000,00	1279000,00	1.279.000,00

Figura 12. Cálculo del coeficiente de estabilidad a vuelco plástico para el año actual. Fuente: Elaboración propia

- Coeficientes de seguridad según la Rom 05-0.5:

Coeficiente de seguridad mínimo	Coef de seguridad a vuelco y deslizamiento	Estabilidad vuelco
	1,2	1,2

Tabla 21. Coeficientes de seguridad. Fuente: ROM 05-0.5

Operando se han obtenido los siguientes resultados:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad deslizamiento	3,34	2,71	2,59	2,48	2,41	2,18	2,01	1,84	1,73
Estabilidad vuelco	7,56	6,06	5,82	5,58	5,40	4,86	4,48	4,24	3,98

Tabla 22. Resultado de las estabildades según el escenario para la combinación característica. Fuente: Elaboración propia

Se confirma después de sumar todas las cargas, que **la estabilidad del espaldón a deslizamiento y vuelco es correcta conforme a los coeficientes de seguridad impuestos por la ROM debido a las excesivas subpresiones, si se calcula conforme la hipótesis de vuelco plástico.**

6 Comprobación de la estabilidad del manto

En este apartado se va a llevar a cabo la comprobación de si las piezas que componen el manto del dique están correctamente dimensionadas en cuanto a su tamaño. Para determinar el peso idóneo de las piezas se va a emplear la formulación desarrollada por Hudson (1959) que ha sido usada desde su aparición y actualmente se sigue empleando en el prediseño de diques de protección. La fórmula usa un coeficiente para reflejar la estabilidad hidráulica (K_D) de los bloques del manto, en este caso, escollera.

$$W = \frac{1}{K_D} \times \frac{H_d^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} \times \frac{\gamma_r}{\cot\alpha}$$

Donde:

- H_d : Altura de la ola sobre el manto
- Alfa: Talud del manto
- γ_w : Peso específico del agua
- γ_r : Peso específico de la escollera
- K_D : Coeficiente de estabilidad hidráulica del manto que depende de la colocación de las piezas, ángulo de ataque del oleaje, duración del temporal e irregularidad. Este coeficiente fue sugerido por Hudson y aparece en "The Shore Manual Protection 1984", donde se establecieron los siguientes valores.

Quarry Stone	Armor Unit (n)	Placement	Structured Trunk		Structured Head		
			K _D		K _D		Slope
			Breaking Wave	Non-breaking Wave	Breaking Wave	Non-breaking Wave	Cotθ
Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.6	3.2	1.4	2.3	
Rough angular	1	Random		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5
Rough angular	>3	Special	5.8	7.0	5.3	6.4	5

Figura 13. Coeficientes de estabilidad hidráulica K_d. Fuente: The Shore Protection Manual 1984

Como se observa en la tabla anterior, los valores (**K_d**) corresponden con 4,5 y 4,2 para el tronco y morro del dique respectivamente, en oleaje no rompiente. Como se ha visto en el apartado “Rotura del oleaje”, **en este dique sí se produce rotura por fondo. Por lo tanto, se le aplica un coeficiente reductor igual a 0,67.**

6.1 Comprobación de la estabilidad del tronco

El manto principal lo compone escollera con un peso específico de 2600 kg/m³, se usa una altura de ola de cálculo, como se ha visto en el apartado “Rotura del oleaje”, igual a 0,55*profundidad (teniendo en cuenta la pleamar), siendo esta de 4,74 metros para el escenario 0 (año 2023) y un talud del manto de 23,49°.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Profundidad + Pleamar [m]	8,63	8,83	8,88	8,93	8,96	9,08	9,18	9,30	9,38
Hd [m]	4,7465	4,8565	4,884	4,9115	4,928	4,994	5,049	5,115	5,159
K _d					3,69				
alfa [°]					23,49				
cota alfa					2,30				
γ _w [kg/m ³]					1029				
γ _r [kg/m ³]					2600				
W [kg]	9201,9	9856,6	10025,0	10195,3	10298,4	10717,8	11075,8	11515,9	11815,6

Tabla 23. Estabilidad del manto. Fuente: Elaboración propia

Aplicando la formulación de Hudson se obtiene un peso de las piezas de escollera que varía entre 9 toneladas para el año actual a 12 toneladas para el peor de los escenarios en el año 2100. **Teniendo en cuenta que el peso de la escollera del manto principal es de 5,5 toneladas, el manto no está correctamente diseñado para los próximos años.** Por lo que el manto no es adecuado para resistir acorde al cambio climático.

6.2 Comprobación de la estabilidad del morro

El oleaje incide sobre el morro de forma diferente que en el resto del cuerpo del dique. Esto se debe a que la acción del oleaje incide sobre sus diferentes partes con ángulos distintos. Mientras que, en el tronco, el empuje del oleaje produce movimientos de las piezas de escollera hacia dentro de la estructura, en el morro se producen efectos adicionales de refracción, reflexión, ascenso y rotura del oleaje... aumentando la inestabilidad y la rapidez con la que se avería. Por sus características, se clasifican cuatro sectores:

- **Sector 1.** Comprende el primer tramo entre los 15-30°. El oleaje incide prácticamente de forma perpendicular al talud del dique y su comportamiento es similar al tronco. Este sector es el más resistente.
- **Sector 2.** Entre los 30-90°, el oleaje va incidiendo con menor perpendicular. Se suele producir un peralte de la ola que sumado al efecto tangencial produce una rotura en voluta. Las componentes de las fuerzas tienen direcciones de ascenso y avance.
- **Sector 3.** Ángulos entre 90-130°, sector más crítico y con mayor avería. El oleaje se traduce en fuerzas de succión que pueden desmantelar el manto provocando la extracción.
- **Sector 4.** Ángulo mayor a 130°. El número de olas que golpean este sector tienen una probabilidad muy baja de incidencia

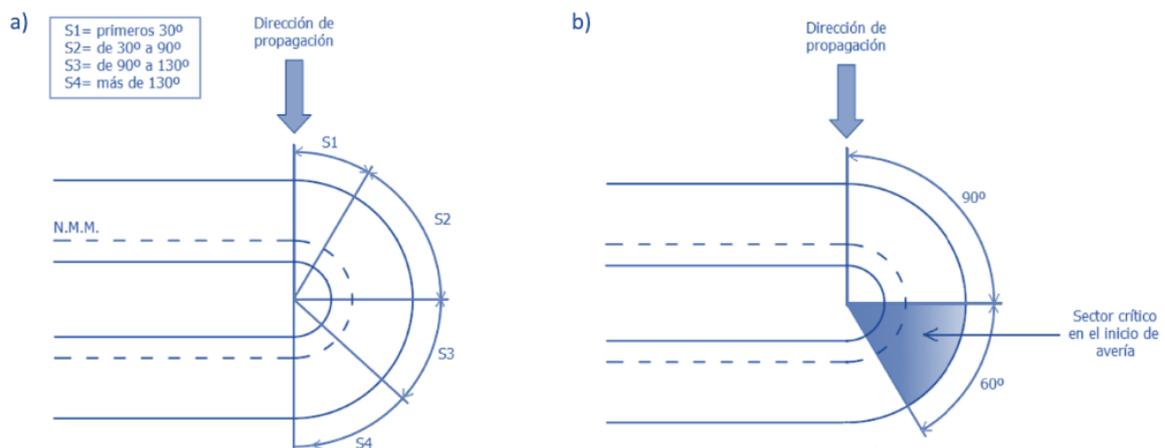


Figura 14. Croquis de la incidencia del oleaje sobre el morro. Fuente: TFG

El cálculo de la estabilidad del morro se ha realizado de la misma forma que en el tronco, el único valor que varía es el coeficiente de estabilidad hidráulica (K_D). Al ser una zona que recibe más frágil al daño, este coeficiente es menor del lado de la seguridad, para conseguir un sobredimensionamiento de los bloques. La Tabla 24 recoge los resultados:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Profundidad + Pleamar [m]	8,63	8,83	8,88	8,93	8,96	9,08	9,18	9,30	9,38
Hd [m]	4,7465	4,8565	4,884	4,9115	4,928	4,994	5,049	5,115	5,159
Kd	2,898								
alfa [°]	23,49								
delta alfa	2,30								
γ_r [kg/m3]	1029								
[kg/m3]	2600								
W [kg]	11716,8	12550,4	12764,8	12981,6	13112,9	13646,9	14102,7	14663,0	15044,7

Tabla 24. Estabilidad del morro. Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran, como se esperaba, un comportamiento más desfavorable en el morro que en el resto del cuerpo. Sin embargo, esta fatiga ya se tuvo en cuenta a la hora de la construcción del dique, por lo que se realizó con escollera de 8,5 toneladas. Se puede concluir que **el dique no está bien diseñado para resistir el oleaje y deberá ser reemplazado y dimensionado para aguantar el próximo siglo**. El motivo por el que todavía no se haya llevado a cabo la destrucción del manto se debe a que no ha llegado a producirse el temporal de cálculo.

7 Asientos de la estructura

Desde la construcción del dique en el año 1975, no se han llevado a cabo mejoras o reconstrucciones de la cimentación del dique y el terreno que lo rodea. Con el conocimiento de la geología de la zona, es muy posible que la cimentación se encuentre en estratos cercanos a roca dura, por lo que **se desprecian los asientos producidos por la estructura sobre el terreno**.

7.1 Asientos producidos por el espaldón

Se ha lleva a cabo la comprobación de si se han producido o se producirán asientos en la base del espaldón producido por su propio peso. La determinación teórica se realiza aplicando la teoría de la plasticidad, establecen las condiciones límite entre las fuerzas provocadas por una estructura y las desarrolladas por el terreno para contrarrestarlas. Para ello **se emplea la formulación propuesta por "Brinch-Hansen (1973)"** usada para determinar la capacidad de carga admisible en función de los parámetros del suelo y geometría de la estructura, donde se define la carga vertical de hundimiento como:

$$q_{vh} = q \cdot N_q \cdot S_q \cdot i_q \cdot d_q \cdot t_q \cdot r_q + c \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c \cdot d_c \cdot t_c \cdot r_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma \cdot t_\gamma \cdot r_\gamma$$

En la ecuación anterior los términos con subíndice representan factores de corrección de profundidad, forma e inclinación. Al no haber peso del terreno, la cohesión "c" y la sobrecarga del terreno "q" consideradas como nulas, se simplifica bastante:

$$q_{vh} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma \cdot t_\gamma \cdot r_\gamma$$

Donde:

- $\gamma =$ *Peso específico*
- $B^* = B - 2 \times$ *excentricidad*
 - B^* indica el ancho efectivo, para ello se ha calculado el centro de gravedad del espaldón y la excentricidad respecto al centro de la base:
 - $X_{cdg}=1,7596$ metros
 - $Y_{cdg}=1,22$ metros
 - $e = 2 - 2,7596 = 0,2404$ metros
- $N_\gamma = 2 \times (N_q - 1) \times tg\phi$
- $N_q = \frac{1+sen\phi}{1-sen\phi} \times e^{\pi \times tg\phi}$
- $i_\gamma = 1$
- $d_\gamma = 1$
- $t_\gamma = 1$
- $r_\gamma = 1$

Sustituyendo:

γ [KN/m3]	N_q	B^* [m]	N_γ	S	d, t, r	q_{vh} [KN/m2]
18,00	42,87	3,52	63,10	0,91	1	1828,19

El coeficiente de seguridad viene expresado como:

$$F_h = \frac{p_{vh}}{p_v}$$

La carga transmitida por el espaldón al núcleo, al no tratarse de una geometría simétrica, no se transmitirán por igual en toda la base debido a la excentricidad de la carga. Por ello se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{a \times b} + \frac{6 \times e \times N}{a \times b^2}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{a \times b} - \frac{6 \times e \times N}{a \times b^2}$$

Para ello se calculan los momentos que originan las cargas que actúan, todas respecto al centro del espaldón, para posteriormente calcular la excentricidad:

$$PP_1 = 3 \times 1,75 \times 24 = 126 \text{ KN/m}^2$$

$$PP_2 = 8 \times 24 = 192 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{pp1} = 126 \times \left(2 - \frac{1,75}{2}\right) = 141,75 \text{ KNm}$$

$$M_{E1} = 19,83 \times \left(2 + \frac{1}{3} \times 2,6\right) = 55,41 \text{ KNm}$$

$$M_{E2} = 18 \times 1 = 18 \text{ KNm}$$

$$M_{E3} = 9 \times \frac{1}{3} \times 2 = 6 \text{ KNm}$$

$$M_{E4} = 144,72 \times \left(\frac{1}{3} \times 2\right) = 96,48 \text{ KNm}$$

$$M_t = 124,68 \text{ KNm}$$

A continuación, se calcula la excentricidad:

$$e = \frac{M + V \cdot h}{N + P} = \frac{124,68}{126 + 192} = 0,39 \text{ m}$$

Sustituyendo en las fórmulas anteriores se calcula la tensión máxima y mínima:

$$\sigma_{\max} = \frac{318}{4 \times 1} + \frac{6 \times 0,39 \times 318}{1 \times 4^2} = 126 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \frac{318}{4 \times 1} - \frac{6 \times 0,39 \times 318}{1 \times 4^2} = 33 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto:

PP1 [KN/m]	126,00
PP2 [KN/m]	192,00
MPP1 [KN·m]	141,75
ME1 [KN·m]	55,42
ME2 [KN·m]	18,00
ME3 [KN·m]	6,00
ME4 [KN·m]	96,48
MT [KN·m]	158,81
N [KN]	318,00
e [m]	0,50
$\sigma_{m\acute{a}xima}$ [KN/m ²]	139,05
$\sigma_{m\acute{i}nima}$ [KN/m ²]	19,95
Factor de seguridad	13,15

Tabla 25. Factor de seguridad frente a hundimiento. Fuente: elaboración propia

8 Pérdida de estabilidad global

A continuación, se ha llevado a cabo una aproximación del estudio de los posibles modos de rotura del dique en conjunto, produciéndose una rotura del núcleo y del mato al mismo tiempo. Esto provocaría el fallo completo de la estructura y como resultado grandes pérdidas materiales y posibles pérdidas humanas. Este modo de fallo se refleja en la ROM 0.5-05 y se define como una rotura circular. Para hacer una aproximación real es necesario establecer unas características relacionadas con las propiedades de los materiales que conforman el dique, propiedades del suelo, y posibles cargas.

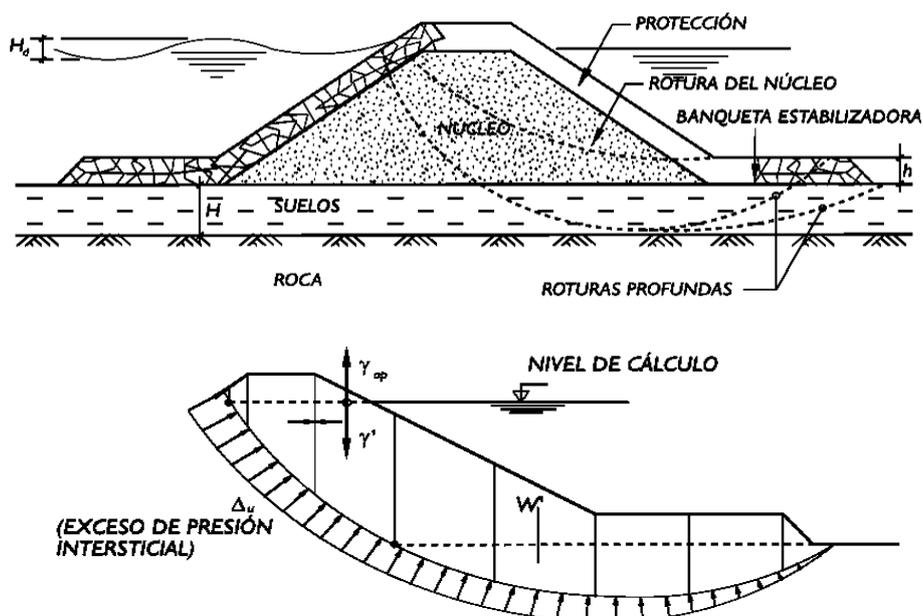


Figura 15. Croquis pérdida de estabilidad global. Fuente: ROM 0.5-05

En primer lugar, antes de realizar el análisis es necesario establecer las características de los materiales de la estructura, estas se han definido anteriormente en el apartado "Materiales y dimensiones geométricas del dique" y se recuerdan en la tabla siguiente:

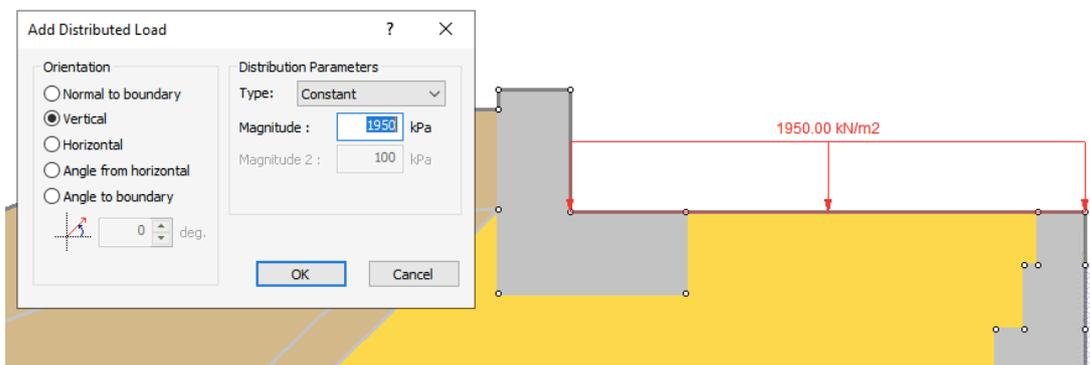
Material/Características	P.Específico [KN/m3]	Cohesión	Áng. roz. Interno [º]
Escollera	26	0	40
Todo uno	18	0	37
Hormigón	25	0	40
Arena	21	0	30

Tabla 26. Características de los materiales que componen el dique. Fuente: Elaboración propia

8.1 Acciones consideradas en el cálculo de estabilidad global

De acuerdo con la ROM 05-0.5 se tienen en cuenta las siguientes acciones:

- **Acciones permanentes (G).** Son aquellas que actúan durante toda la vida útil de la estructura, como lo son: el peso de los materiales, empujes, presiones...
- **Acciones variables (Q).** Se definen como cargas de uso. No actúan constantemente, pero son necesarias tenerlas en cuenta. Usando la Rom 0.2-90 se ha considerado una sobrecarga producida por el estacionamiento de vehículos en el trasdós del dique de 1500 Kg/m².



- **Acciones extraordinarias (A).** Se va a tener en cuenta la acción de un posible sismo. Las aceleraciones tomadas son las calculadas anteriormente en el apartado "Acciones sísmicas" (Anejo N^o5) de este estudio:
 - Aceleración sísmica básica: 0,08g
 - Aceleración sísmica de cálculo: 0,1245g
- **Cargas hidrostáticas.** Son aquellas producidas por el efecto del agua sobre la estructura y que se incrementan con la profundidad. La modelización de este

tipo de presiones a través de programas informáticos permite un mejor análisis que los cálculos realizados manualmente. **Se ha definido el agua mediante el cálculo del régimen permanente**, generando una malla con la que se introducido las cotas de agua.

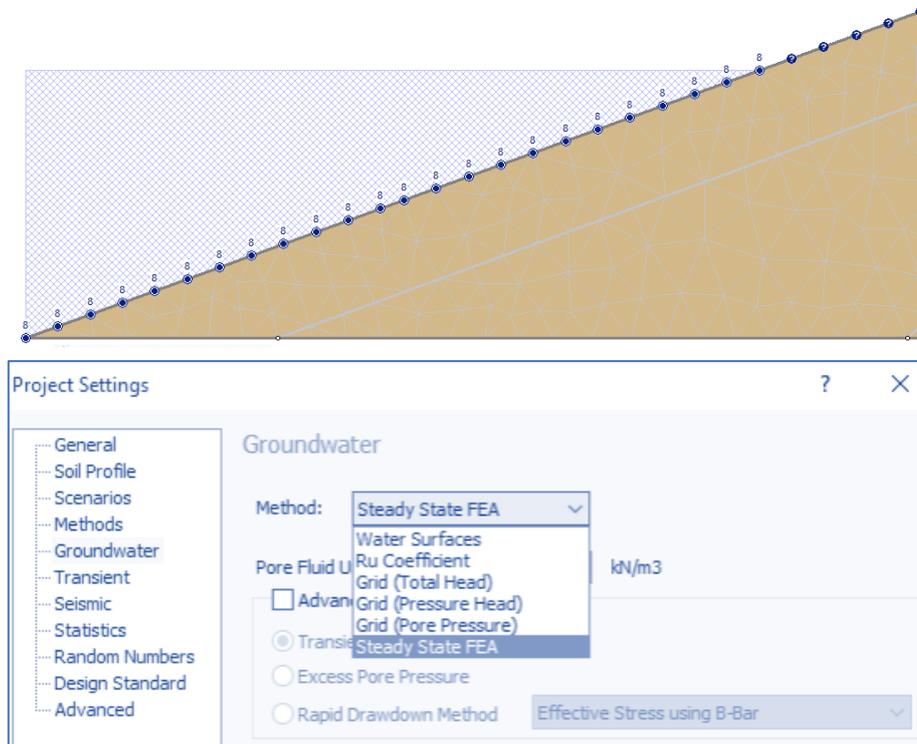


Figura 16. Configuración cargas hidrostáticas. Fuente: SLIDE2

Las cargas producidas por el oleaje no se han implementado ya que su acción se ha analizado en la estabilidad de las piezas, en el apartado “Comprobación de la estabilidad del manto”

Respecto a las combinaciones de acciones se van a producir 3: fundamental, accidental y sísmica. Los coeficientes de ponderación se han tomado de la tabla 3.3.2 de la ROM :

Combinaciones de cálculo	Acciones			
	Peso de los materiales	Sobrecarga de uso	Cargas sísmicas	Nivel
Combinación fundamental	1	1,3		NMM
Combinación cuasipermanente	1			NMM
Combinación sísmica	1		1	NMM

Tabla 27. Combinación de acciones. fuente. Elaboración propia

Por último, se definen los **coeficientes mínimos de seguridad** siguiendo la ROM 05-0.5, que corresponden a **1,3 , 1,1 y 1** para las combinaciones cuasi-permanentes, fundamental y sísmica, respectivamente.

Apartado donde se define el método de cálculo asociado	Estados Límite Últimos de rotura de tipo Geotécnico* (GEO)	Tipos de combinación		
		Cuasi-Permanentes, F ₁	Fundamentales o Características, F ₂	Accidentales o Sísmicas, F ₃
3.8.4.4	Deslizamiento superficial del manto	1,2	1,1	I
3.5.5 3.5.6 3.8.4.5 y 3.8.4.6	Pérdida de estabilidad del espaldón: deslizamiento, vuelco y estabilidad global	1,2	1,1	I
3.8.4.5 y 3.8.4.6	Pérdida de estabilidad de la berma	1,3	1,1	I
3.8.4.5 y 3.8.4.6	Pérdida de estabilidad global	1,3	1,1	I
–	Erosión interna	MP	MP	MP
3.8.4.5 y 3.8.4.6	Rotura del núcleo del dique	1,3	1,1	I
–	Socavación del fondo natural	MP	MP	MP

Tabla 28. Coeficientes de seguridad. Fuente: ROM

8.2 Cálculo del coeficiente de estabilidad global

El programa que se ha usado es SLIDE2D, un software de estabilidad de taludes mediante la aplicación del método de elementos finitos. Ha sido desarrollado por Roscience y es muy empleado en el ámbito de la geotecnia.

Para el análisis de la estabilidad global se han introducido manualmente las coordenadas, asignado las características a los materiales que lo componen y generando el agua mediante una red. El programa calcula automáticamente todos los posibles círculos de rotura mediante el **método Bishop-Simplificado y Janbu-simplificado**. Para una mejor comprensión de los datos se ha limitado a un rango de valores entre 1,5 y 3,5 y se muestra los círculos de rotura más desfavorables sumado a las presiones efectivas clasificados según la leyenda de la Figura 17 .Los resultados se resumen en la Tabla 29.

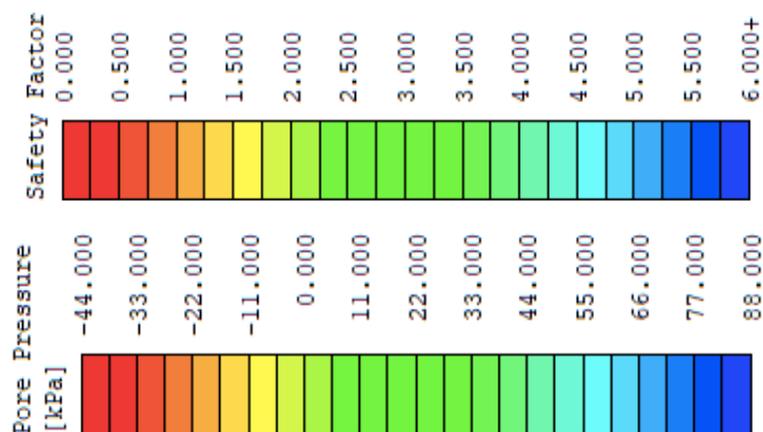


Figura 17. Leyenda software Slide2

- **Combinación Cuasi-Permanente.** Se emplean en el cálculo las acciones permanentes en la estructura, las cargas propias de los materiales. Se multiplican estos valores por un coeficiente de compatibilidad.

$$G + \sum \psi_{2,i} \times Q_i$$

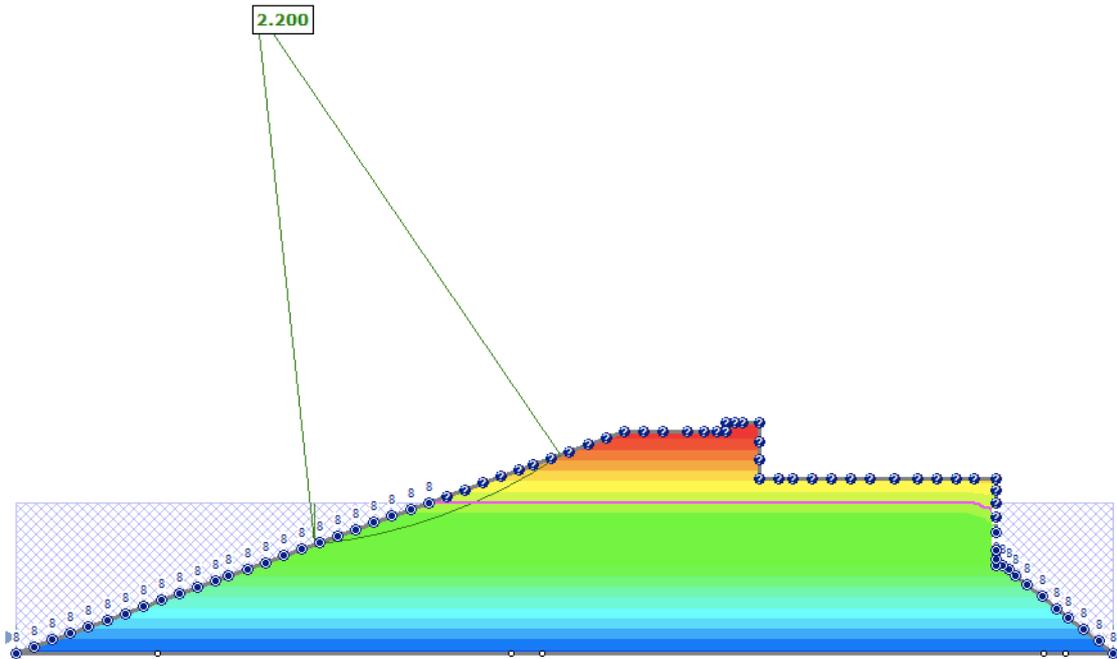


Figura 18. Resultados para combinación fundamental. Fuente: Elaboración propia

- **Combinación Fundamental.** Se considera que actúan al mismo tiempo varias acciones, peso propio de los materiales y una posible sobrecarga por estacionamiento de vehículos de 1500 KN/m² que es ponderada por un coeficiente establecido anteriormente.

$$\gamma_G \times G + \gamma_{Q,L} \times Q_L + \sum \psi_{0,i} \times \gamma_{q,i} \times Q_i$$

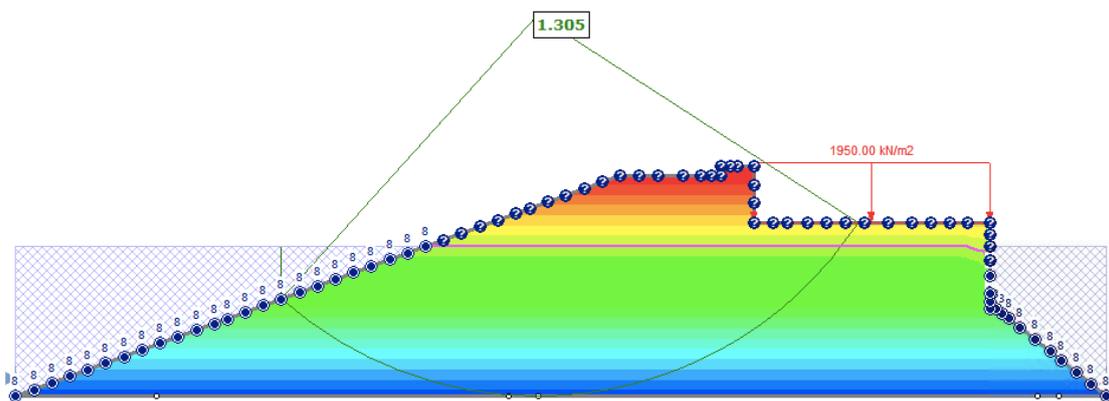


Figura 19. Resultados para cuasi permanente. Fuente: Elaboración propia

- **Combinación Sísmica:** Se tiene en cuenta el peso propio de los materiales y una posible aceleración vertical y transversal calculada anteriormente derivadas de la acción sísmica.

$$G + S + \sum \psi_{0,i} \times Q_i$$

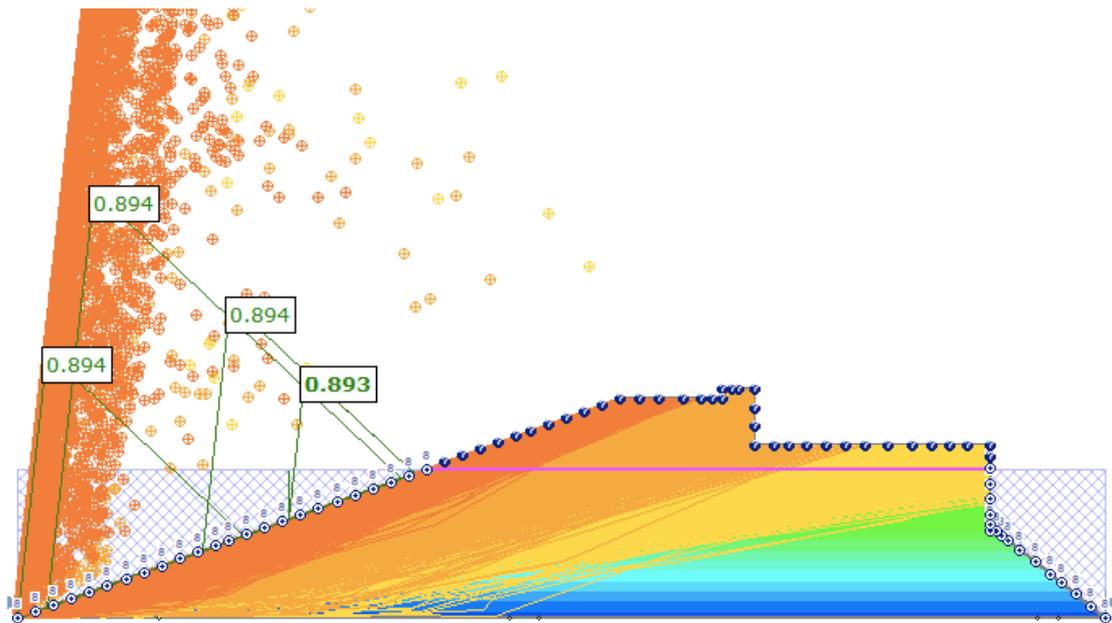


Figura 20. Resultados para combinación sísmica. Fuente: Elaboración propia

Se resumen los resultados en la siguiente tabla:

Combinación	Combinación fundamental	Combinación cuasipermanente	Combinación sísmica
Bishop-Simplified	1,304	2,2	0,894
Janbu-Simplified	1,16	2,14	0,892

Tabla 29. Coeficientes de seguridad mínimos ante pérdida de estabilidad global. Fuente: Elaboración propia

De los resultados anteriores se puede concluir que el factor de seguridad se reduce conforme aumentan las acciones, siendo la situación más desfavorable, la producida por el sismo.

Comparando los coeficientes de seguridad mínimos de deslizamiento del manto propuestos por la ROM 05-0.5 definidos en la Tabla 28, con los obtenidos en la Tabla 29, se afirma que la **combinación fundamental y cuasi permanente si cumplen**. Por otro lado, **la combinación sísmica resulta tener un coeficiente de 0,894 que es inferior a 1, por lo que no cumple**. Será necesario en la solución final aportarle estabilidad global a la estructura.

9 Resumen de los modos de fallo

A modo de síntesis, se resumen en este apartado todos los modos de fallo vistos anteriormente y se clasifican según si cumplen o no con la normativa aplicada para cada tipo.

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Rebase con espaldón	SI CUMPLE	NO CUMPLE							
Rebase sin espaldón	NO CUMPLE								
Estabilidad a deslizamiento	SI CUMPLE								
Estabilidad a vuelco	SI CUMPLE								
Estabilidad del manto del tronco	NO CUMPLE								
Estabilidad del manto del morro	NO CUMPLE								
Asiento del espaldón	SI CUMPLE								
Estabilidad global (C. Fundamental)	SI CUMPLE								
Estabilidad global (C. CuasiPermanente)	SI CUMPLE								
Estabilidad global (C. Sísmica)	NO CUMPLE								

Tabla 30. Resumen de las comprobaciones de los modos de fallo. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, teniendo en cuenta los resultados obtenidos tras aplicar la formulación adecuada, **se proponen soluciones a partir de aquellos puntos donde la estructura no presenta buen comportamiento ante los esfuerzos externos y no cumple con la normativa.** Estas propuestas se recogen en el Anejo N°7.

ANEJO N°7. ALTERNATIVAS

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Soluciones relacionadas con la mejora del espaldón.....	4
1.1	Alternativa 1. Aumento de la coronación del espaldón actual y prolongación sobre todo el dique	4
1.2	Alternativa 2. Nueva sección del espaldón para el Tramo 3	8
2	Soluciones relacionadas con la mejora del manto.....	12
2.1	Alternativa 3. Configuración del manto de escollera	13
2.2	Mejora de la estabilidad dimensionando los materiales.....	14
2.2.1	Alternativa 4a. Manto bicapa de cubos.	14
2.2.2	Alternativa 4b. Manto monocapa de cubípodos.....	15
2.2.3	Alternativa 4c. Manto monocapa de Xbloc.....	15
2.2.4	Selección del material del manto. Comparación de alternativas 4a , 4b , 4c.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Incremento de la coronación necesaria. Fuente: Elaboración propia	4
Figura 2. Planta del dique aumentando la longitud del espaldón sobre las zonas frágiles a rebase. Fuente: Elaboración propia	4
Figura 3. Nueva sección propuesta para el espaldón. Fuente: Elaboración propia	8
Figura 4. Efecto del botaolas sobre el rebase. Fuente: EuroTop	9
Figura 5. Cálculo del coeficiente K reductor del caudal. Fuente: EuroTop	9
Figura 6. Distancia de la pradera de Posidonia Oceánica a los pies del dique en el Tramo 3. Fuente: Google Earth.....	12
Figura 7. Talud necesario para el cumplimiento de la estabilidad del manto. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 8. Caudal derivado de cambiar el talud del manto. Fuente: Elaboración propia	14
Figura 9. Alternativa 3b. Fuente: Elaboración propia	15
Figura 10. Alternativa 3c. Fuente: Elaboración propia.....	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los modos de fallo a resolver mediante las alternativas. Fuente: Elaboración propia.....	3
Tabla 2. Incremento de la coronación necesaria. Fuente: Elaboración propia.....	6
Tabla 3. Incremento de la coronación necesaria. Fuente: Elaboración propia.....	6
Tabla 4. Repercusión de elevar la altura del espaldón en el modo de fallo de estabilidad. Fuente: Elaboración propia	7
Tabla 5. Repercusión de aumentar la altura del espaldón en el resto de modos de fallo. Fuente: Elaboración propia.....	10
Tabla 6. Resultados de la estabilidad de las piezas del tronco en el estado actual del dique. Fuente: Elaboración propia.....	12
Tabla 7. Talud necesario para el cumplimiento de la estabilidad del manto. Fuente: Elaboración propia.....	13
Tabla 8 . Características de los materiales propuestos. Fuente: Elaboración propia	16
Tabla 9. Comparación de resultados según la tipología de manto. Fuente: Elaboración propia.....	17
Tabla 10. Comparación de los espesores del manto para distintos espesores. Fuente: Elaboración propia.....	18
Tabla 11. Comparación en los resultados del caudal de rebase. Fuente: Elaboración propia.....	19
Tabla 12. Comparación de los costes. Fuente: Elaboración propia	20
Tabla 13. Comparación de los costes. Fuente: Elaboración propia	21



El objetivo de este anejo es desarrollar una serie de alternativas que mejoren las condiciones actuales del puerto de cara al cambio climático. Para el dimensionamiento de la nueva obra de abrigo se deben tener en cuenta cuatro especificaciones:

1. **Cumplimiento de los modos de fallo** vistos en el apartado anterior y que se recuerdan en la Tabla 1. Se ha tratado de buscar soluciones para resolver los modos de fallo relacionados con el rebase, inestabilidad del espaldón e inestabilidad del manto. Para ello, se han propuesto una serie de soluciones que buscan solventarlos individualmente cada uno, mediante propuestas como, por ejemplo, incremento de la altura del espaldón para reducir el rebase. Una vez calculadas estas soluciones individuales se ha estudiado su repercusión en el resto de los modos de fallo. Es decir, continuando con la propuesta de incrementar la altura del espaldón, se produce una relación con el modo de fallo de su estabilidad. Esta alternativa y el resto son explicadas detalladamente más adelante en siguientes apartados.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Rebase con espaldón	SI CUMPLE	NO CUMPLE							
Rebase sin espaldón	NO CUMPLE								
Estabilidad a deslizamiento	SI CUMPLE								
Estabilidad a vuelco	SI CUMPLE								
Estabilidad del manto del tronco	NO CUMPLE								
Estabilidad del manto del morro	NO CUMPLE								
Asiento del espaldón	SI CUMPLE								

Tabla 1. Resumen de los modos de fallo a resolver mediante las alternativas. Fuente: Elaboración propia

2. **Minimizar los impactos contra el ecosistema marino** que se encuentra próximo al dique. Para ello se tomará una distancia de separación mínima entre el pie del talud del dique y la pradera de Posidonia Oceánica, según lo visto en el apartado “Ecosistema marino” (véase en el Anejo N°3).
3. **Aumento del número de amarres para esloras de 15 metros** situados en la parte interna del dique, por lo que es necesario aumentar la anchura de la lámina de agua interior, para cumplir con la anchura mínima de canales de navegación.
4. **Escoger una alternativa que aparte de solucionar los problemas vistos en la Tabla 1, resulte viable económicamente.**

1 Soluciones relacionadas con la mejora del espaldón

1.1 Alternativa 1. Aumento de la coronación del espaldón actual y prolongación sobre todo el dique

Para esta alternativa se ha optado por elevar la cota del espaldón aquellas zonas donde ya existía (tramo 2 véase en el Anejo N^o6) y además se propone colocar espaldón en los tramos donde el rebase no cumple (tramo 3 véase en el anejo N^o6). El incremento de altura se ha calculado para el peor escenario posible (SSP5-8.5) que cuenta con la mayor altura de ola de cálculo (5,16 metros), con esto se consigue que se cumplan el resto de los escenarios y no sobredimensionar en exceso el dique, minimizando los gastos en material.

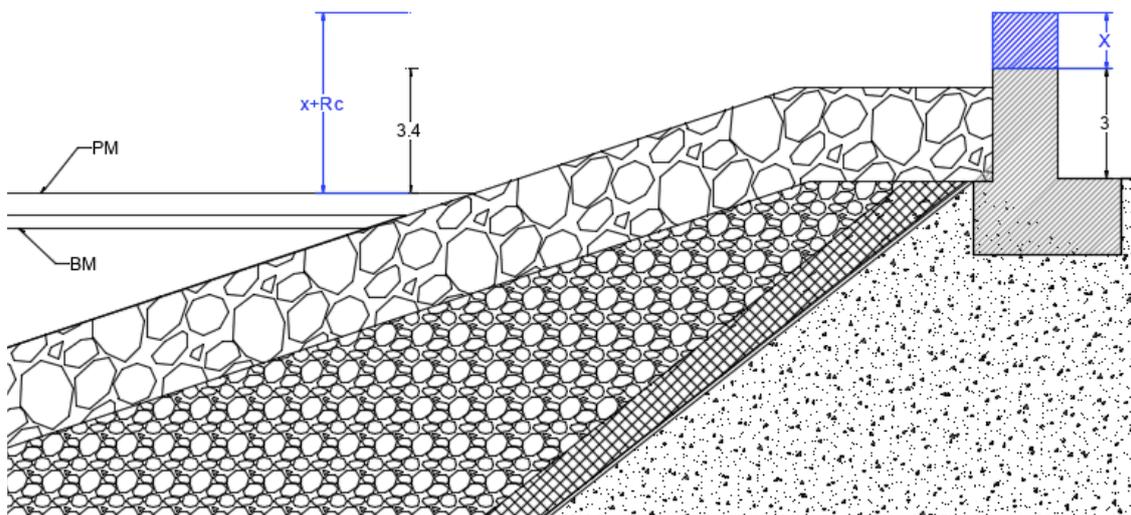


Figura 1. Incremento de la coronación necesaria. Fuente: Elaboración propia

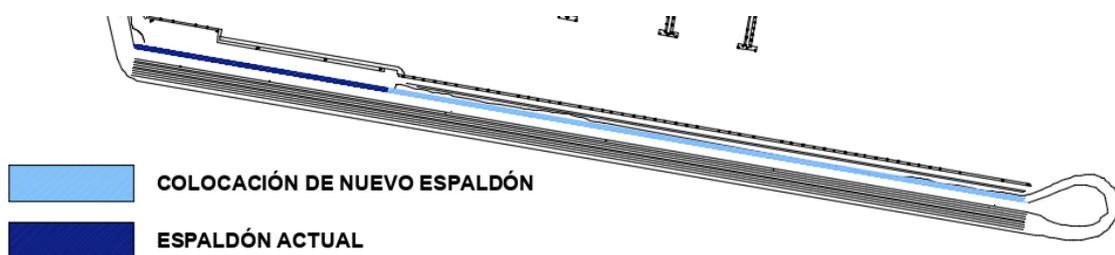


Figura 2. Planta del dique aumentando la longitud del espaldón sobre las zonas frágiles a rebase. Fuente: Elaboración propia

El aumento de la cota de coronación repercute en tres modos de fallo. El rebase, la estabilidad del espaldón y el hundimiento están relacionados por el mismo condicionante, la propia geometría. Como se explica en el siguiente párrafo, el aumento

de la coronación influye en el caudal de rebase y del mismo modo, aumentando su peso propio, influye directamente también en la estabilidad.

Basándose en los resultados obtenidos en el Anejo N°6. *Modos de Fallo*, se ha calculado mediante la herramienta *Solver* de Excel, el valor de la altura de coronación (R_c) para que la estructura en el escenario más negativo (SSP5-8.5) cumpla con la normativa del Eurotop2018. Es decir, para el año 2100 el caudal de rebase debe ser inferior a 5 l/s/m. La fórmula implementada, del mismo modo que anteriormente, sigue siendo la desarrollada en el artículo "*Molines et al. (2018)*".

$$Q = \frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} = Q6 = \exp(\lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \cdot \lambda_5 \cdot \lambda_6 \cdot \left[a_1 + b_1 \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \times \frac{1}{\gamma_f \times \gamma_B} \right])$$

Para abordar que valor es necesario modificar de la expresión anterior es necesario comprender en que grado repercuten los coeficientes. Analizando la fórmula se puede ver la implicación de cada parámetro en el cálculo del caudal y que números aumentará o disminuirán el resultado:

- Los **coeficientes** λ_x alteran mínimamente el resultado.
- El **coeficiente** H_{m0} es importante, un aumento de él influye directamente sobre la altura de coronación, aumentando el caudal. Pero es un valor que no se puede modificar.
- El **valor "Rc" es el más significativo**. El aumento de este número disminuirá considerablemente el caudal de rebase. Este valor se puede modificar.
- La **pendiente del talud** modificará el número de Iribarren, lo que supone que aumentando la pendiente el caudal es mayor. Sin embargo, produce ligeros cambios, igualmente, la pendiente no se modifica.

Todos los parámetros iniciales son los mismos menos la altura de coronación del espaldón (R_c), parámetro que como se ha explicado, es el más significativo. Introduciendo los valores y despejando " R_c " se ha obtenido como resultado que **la altura de coronación mínima necesaria para que en el peor escenario no haya rebase es de 3,36 metros sobre el nivel del mar**, teniendo en cuenta la normativa del EuroTop 2018.

Escenario	SSP5-8.5
Nivel del mar [m]	9,38
Hm0 [m]	5,16
Ir	2,16
Periodo pico [s]	9,03
Long onda [m]	127,21
Gc [m]	5,30
Rc [m]	3,36
Ac [m]	2,12
γ_f	0,50
γ_β	0,96
λ_2	1,11
λ_3	1,00
λ_4	0,98
λ_5	0,94
λ_6	1,00
q [m3/s/m.l]	0,005

Tabla 2. Incremento de la coronación necesaria. Fuente: Elaboración propia

Para obtener el valor de altura de coronación en el año actual (2023), se le resta el incremento de la subida del nivel del mar de cada escenario. Por lo tanto:

$$R_{c,2023} = R_{c,2100,SSP5-8.5} - \Sigma\Delta(\text{Nivel del Mar})$$

Se ha obtenido para los distintos escenarios las siguientes cotas de coronación (Rc') finales de cada año considerando que se ha incrementado la cota del espaldón (x) para la peor situación:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Rc' [m]	4,11	3,91	3,86	3,81	3,78	3,66	3,56	3,44	3,36
Rc+x [m]	3,37+0,74	3,17+0,74	3,12+0,74	3,07+0,74	3,04+0,74	2,92+0,74	2,82+0,74	2,7+0,74	2,62+0,74
q [m3/s/m.l]	1,42E-03	2,02E-03	2,21E-03	2,40E-03	2,53E-03	3,09E-03	3,64E-03	4,41E-03	5,00E-03

Tabla 3. Incremento de la coronación necesaria. Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior se traduce en que para que el dique cumpla con el rebase en cualquiera de los escenarios, con las características de manto actuales, la altura de coronación del espaldón en el año 2100 debe ser de 3,36 metros sobre el nivel del mar. **Esto significa un aumento mínimo en la altura del espaldón de 0,74 metros** (se redondea a 0,8 metros) y **colocarlo a lo largo de toda la estructura**, lo que supone un volumen adicional grande necesario para completar toda la longitud del dique con la altura calculada.

- Repercusión en el resto de los modos de fallo

La repercusión en la estabilidad del espaldón se ha calculado conforme a lo explicado en el apartado “Inestabilidad del espaldón” (véase en el Anejo Nº6). Los resultados mejoran de cara al futuro. Destacar que la estabilidad a deslizamiento se acerca al límite permitido (1,2) para finales de siglo.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad deslizamiento	3,49	2,86	2,74	2,63	2,56	2,33	2,16	1,99	1,88
Estabilidad vuelco	7,87	6,37	6,13	5,89	5,71	5,17	4,79	4,55	4,29

Tabla 4. Repercusión de elevar la altura del espaldón en el modo de fallo de estabilidad. Fuente: Elaboración propia

■ Valoración económica

CÓDIGO	UNIDAD	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
CAPÍTULO 1 ACTUACIONES PREVIAS					
U001	PA	REPLANTEO INICIAL			
		Partida alzada de replanteo, incluso toma y procesamiento de datos.	1	9.349,11 €	9.349,11 €
U002	PA	INSTALACIONES AUXILIARES			
		Partida alzada de pues en obra de instalaciones auxiliares	1	6000	6.000,00 €
CAPÍTULO 2.OBRA DE ABRIGO					
U003	m3	HORMIGÓN EN MASA			
		Hormigón HM-30/B/20/Illa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	4070	86,49	352.014,30 €
U004	kg	ACERO B500S			
		Acero en barras corrugasdas galvanizado, B500S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetro 20mm.	1548	1,24	1.919,52 €
U005	m2	ENCOFRADO			
		Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	5014,2	22,64	113.521,49 €
CAPÍTULO 03. GESTIÓN DE RESIDUOS					
U006	T	Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de hasta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.	1	4674,55	4.674,55 €
CAPÍTULO 4. OPERACIONES COMPLEMENTARIAS					
U007	PA	CONTROL DE CALIDAD			
		Partida alzada para el control de calidad.	1	4674,55	4.674,55 €
U008	PA	REMATES Y ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS			
		Partida alzada para las operaciones de remate.	1	4.674,55 €	4.674,55 €

496.828,07 €

El coste de ejecución material se encuentra en torno a los 496.828,07€, a falta de los gastos adicionales, impuestos, beneficios, etc... **Se considera por tanto un gasto excesivo para una obra que solamente beneficiaría en un único modo de fallo, por lo tanto, esta alternativa queda descartada.**

1.2 Alternativa 2. Nueva sección del espaldón para el Tramo 3

Tras comprobar que el aumento del espaldón mejora exitosamente los niveles de rebase y como mejora a la alternativa anterior, **se propone una nueva sección del espaldón para el tramo 3 que sumada a las mejoras en los caudales de rebase, también produzca mejoras respecto a la estabilidad.** Con este nuevo diseño **se pretende eliminar las presiones hidrostáticas que se originan en la base, y que disminuyen la resistencia a vuelco.** Teniendo en cuenta que el incremento del nivel del mar en el escenario más desfavorable (SSP5-8.5), se ha proyectado una sección que elimina la parte del espaldón situada por debajo del nivel del mar, se ha aumentado la altura de la coronación +0,8 metros ($Rc = 4 + 0,8$ metros). El croquis siguiente figura muestra la sección actual y la propuesta de mejora:

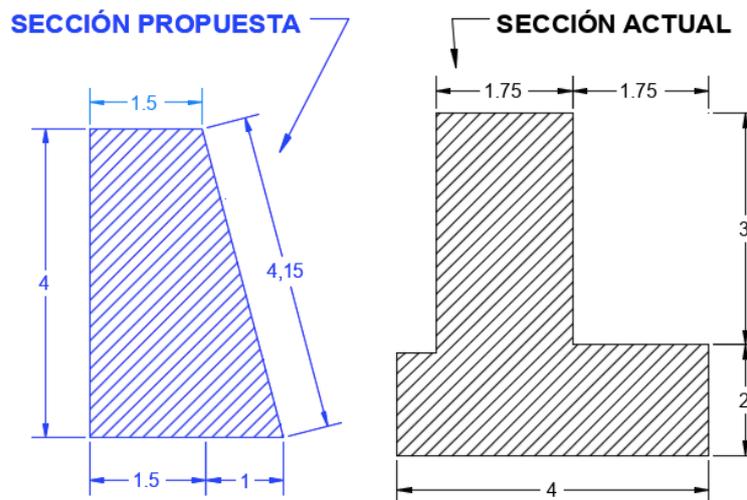


Figura 3. Nueva sección propuesta para el espaldón. Fuente: Elaboración propia

- Cálculo del efecto del posible bota olas

En este subapartado se ha comprobado si es recomendable añadir un bota olas adicional en la parte superior del espaldón.

El bota olas es un elemento curvo que se ubica en la parte superior de los espaldones y es empleado para reducir el caudal de rebase de la estructura sin aumentar la cota de coronación del dique. La determinación de su efectividad es algo complicado por los escasos estudios al respecto. El manual EuroTop 2017 referencia dos estudios:

“Kortenhaus et al., (2003)” y “Pearson et al. (2004)”, donde se propone el parámetro “K”:

$$K = \frac{Q_{WhitRecurve}}{Q_{WhitOutRecurve}}$$

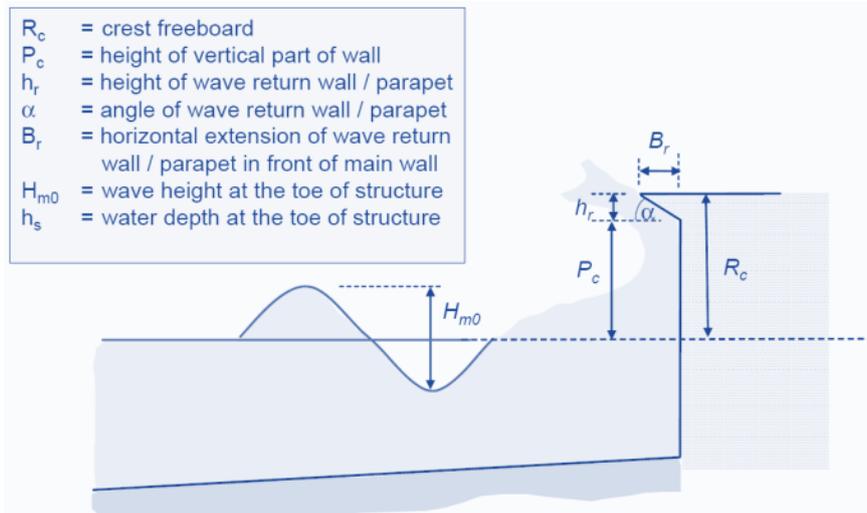


Figura 4. Efecto del botaolas sobre el rebase. Fuente: EuroTop

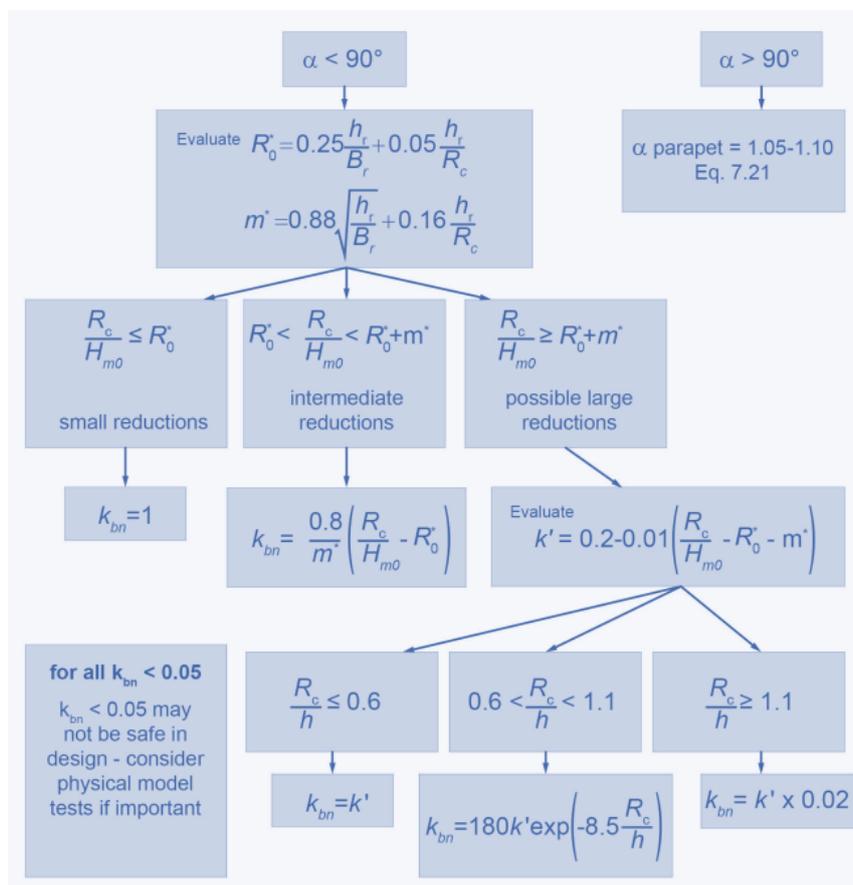


Figura 5. Cálculo del coeficiente K reductor del caudal. Fuente: EuroTop

$$R'_0 = 0,25 \times \frac{0,8}{0,6} + 0,05 \times \frac{0,8}{4,8} = 1,59$$

$$m' = 0,88 \times \sqrt{\frac{0,8}{0,6}} + 0,16 \times \frac{0,8}{4,8} = 1,04$$

Small reductions

$$\frac{4,8}{4,7} = 1,01 < R_0'$$

$$k = 1$$

Como se puede ver, el cálculo del efecto del botaolas sobre la reducción del caudal es un cálculo complicado. Es por ello por lo que es necesario realizar modelos a escala para comprobar su efectividad. Además, según el estudio realizado por “Molines *et al.* (2020)”, el bota olas reduce el rebase a cambio de transmitir mayor energía sobre el espaldón duplicando las fuerzas horizontales, aumentando la inestabilidad.

Se ha decidido, ante la falta de información sobre el tema y ensayos necesarios de laboratorio, no colocar un bota olas en la parte superior.

- Repercusión en el resto de los modos de fallo

A continuación, se han calculado las repercusiones en la estabilidad que supondría adoptar la sección del espaldón mostrada anteriormente (junto con las características del manto de escollera actual). Esto supone una reducción en el área que se traduce en un menor peso propio y eliminación de empujes pasivos, lo que a priori perjudicaría en las fuerzas y momentos estabilizadores. Sin embargo, el reducir a cero las subpresiones hidrostáticas producidas en la base, causantes de las mayores fuerzas y momentos desestabilizadores, da resultados positivos como se puede ver en la siguiente tabla. **Hay que destacar que el tipo de vuelco que se produce con esta sección es un vuelco rígido a diferencia del vuelo plástico de la sección actual.**

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad deslizamiento	1,42	1,35	1,33	1,32	1,31	1,28	1,25	1,22	1,21
Estabilidad vuelco	1,87	1,78	1,76	1,74	1,73	1,69	1,65	1,61	1,59

Tabla 5. Repercusión de aumentar la altura del espaldón en el resto de modos de fallo. Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se ven los efectos de modificar la sección. La menor área de hormigón se traduce en un menor peso propio lo que afecta negativamente reduciendo la estabilidad a vuelco y deslizamiento. Sin embargo, con el ahorro de material se reducen los costes.

▪ Valoración económica

Se ha llevado a cabo un cuadro de precios genérico para los costes que supondría llevar a cabo esta alternativa. Se refleja a continuación:

CÓDIGO	UNIDAD	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
CAPÍTULO 1 ACTUACIONES PREVIAS					
U001	PA	REPLANTEO INICIAL			
		Partida alzada de replanteo, incluso toma y procesamiento de datos.	1	4.211,21 €	4.211,21 €
U002	PA	INSTALACIONES AUXILIARES			
		Partida alzada de pues en obra de instalaciones auxiliares	1	6000	6.000,00 €
CAPÍTULO 2.OBRA DE ABRIGO					
U003	m3	HORMIGÓN PARA ARMAR			
		Hormigón para armar HA-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	1650	86,49	142.708,50 €
U005	m2	ENCOFRADO			
		Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	2997	22,64	67.852,08 €
CAPÍTULO 03. GESTIÓN DE RESIDUOS					
U006	T	Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de hasta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.	1	2105,61	2.105,61 €
CAPÍTULO 4. OPERACIONES COMPLEMENTARIAS					
U007	PA	CONTROL DE CALIDAD			
		Partida alzada para el control de calidad.	1	2105,61	2.105,61 €
U008	PA	REMATES Y ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS			
		Partida alzada para las operacones de remate.	1	2.105,61 €	2.105,61 €
					227.088,61 €

El precio de llevar a cabo esta alternativa supone un coste de ejecución material aproximado de **344.268,61 €**. Con esta nueva sección se consigue un gran ahorro de material y por lo tanto un gran ahorro económico en comparación con la alternativa 1.

2 Soluciones relacionadas con la mejora del manto

Esta alternativa busca hacer cumplir la estabilidad del manto tanto en el morro como en el tronco. De los resultados obtenidos en el apartado “Comprobación de la estabilidad del manto” (véase en el Anejo N°6), se observa que el material actual que compone el dique (escollera) cuenta con un coeficiente de estabilidad hidráulica muy bajo (5,5 y 4,5). Es por ello por lo que se va a dimensionar el manto teniendo en cuenta una posible variación de los materiales y del talud. Se recuerda en la siguiente tabla que el manto del tronco no cumple en ningún escenario mientras que el peso de las piezas del morro sí está bien dimensionado:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad del manto del tronco	NO CUMPLE								
Estabilidad del manto del morro	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE				

Tabla 6. Resultados de la estabilidad de las piezas del tronco en el estado actual del dique. Fuente: Elaboración propia

Se propone emplear un manto adicional en algunas zonas del tronco, donde no impliquen un impacto sobre la Posidonia Oceánica. Volviendo al apartado “**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**”, se debe recordar la distancia actual entre los pies del dique y la Posidonia Oceánica. Esta pradera de Posidonia Oceánica, como se puede ver en la imagen, discurre a lo largo de todo el dique. La zona donde se encuentra más próxima es en el tramo 2 donde realizar actuaciones sobre el manto repercute de forma directa por la escasa cercanía.

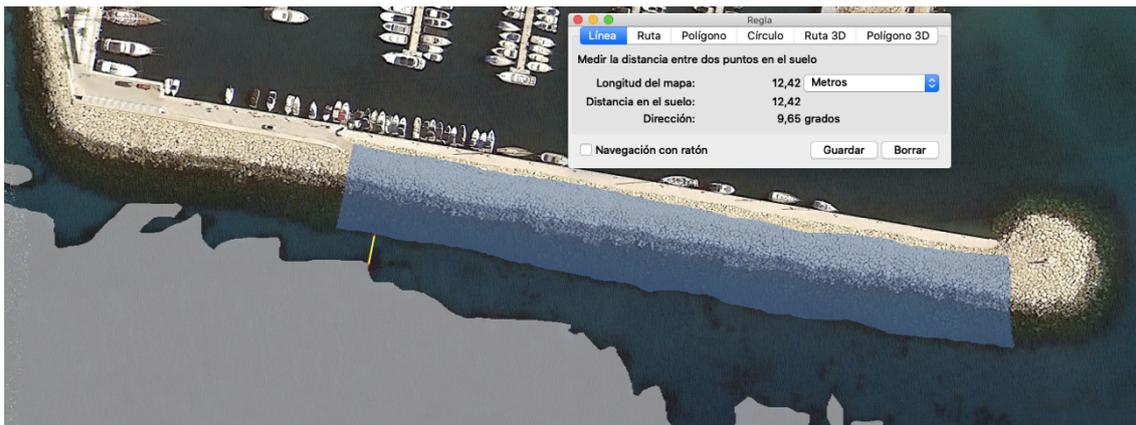


Figura 6. Distancia de la pradera de Posidonia Oceánica a los pies del dique en el Tramo 3. Fuente: Google Earth

La pradera de Posidonia Oceánica conforme avanza en sentido hacia el morro se va separando, siendo su distancia mínima de 12,5 metros. Por lo que **en el tramo 3 sí que serán posibles las actuaciones de aumento del talud.**

2.1 Alternativa 3. Configuración del manto de escollera

Clasificadas como rocas, es uno de los materiales más comunes en las obras marítimas de la costa española, escogido por su resistencia, durabilidad y precio. Cuentan con un tamaño en los diques que varía entre 100 kg hasta alcanzar los 7000 o 8000 kg, por lo que para grandes infraestructuras están limitados por su peso.

A continuación, se ha llevado la misma dinámica que en el apartado anterior. A partir de los datos y resultados obtenidos en el apartado “Comprobación de la estabilidad del manto”. Para el año 2100 y escenario SSP5-8.5, se ha buscado mediante la función “*solver*” de Excel, encontrar el valor del ángulo del talud para que en el año 2100 el peso unitario sea como máximo 5500 Kg, correspondiéndose con el peso unitario de la escollera que se encuentra actualmente. Los resultados se muestran a continuación:

Escenario	SSP5-8.5
Profundidad + Pleamar [m]	9,38
Hd [m]	5,16
Kd	3,69
alfa [°]	11,42
cota alfa	4,95
γ_w [kg/m ³]	1029,00
γ_r [kg/m ³]	2600,00
W [kg]	5500,00

Tabla 7. Talud necesario para el cumplimiento de la estabilidad del manto. Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que sería necesario un talud de 11,42° para cumplir en el peor escenario. El área azul de la figura siguiente simula el área necesaria para lograr dicho talud, esto supondría un nuevo aporte de material al manto para rebajar el talud.

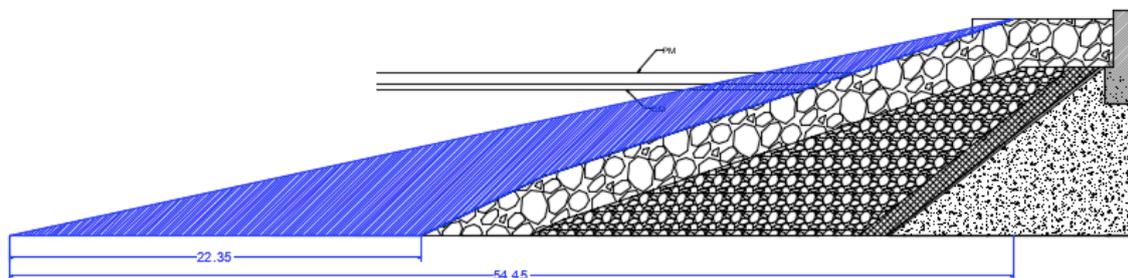


Figura 7. Talud necesario para el cumplimiento de la estabilidad del manto. Fuente: Elaboración propia

Para conocer más información acerca de esta alternativa, se ha calculado el rebase que se produciría en caso de adoptar este talud y se ha comparado con el actual.

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
q [m ³ /s/m.l]	0,0022	0,0032	0,0034	0,0038	0,0040	0,0049	0,0058	0,0070	0,0079

Figura 8. Caudal derivado de cambiar el talud del manto. Fuente: Elaboración propia

A modo de conclusión se afirma que **la opción de rebajar 11,42º el talud no es una solución óptima** que ayude a mejorar la seguridad que proporciona la obra de abrigo. La gran cantidad de material a aportar no consigue reducir lo suficiente el caudal de rebase. Además, como se ha comentado en las bases de partida, alargar la base del dique en dirección a aguas profundas, supondría un impacto directo en algunas zonas sobre la pradera de Posidonia Oceánica. **Por lo tanto, queda descartado adecuar el talud del manto a las características actuales de los materiales que lo componen.**

2.2 Mejora de la estabilidad dimensionando los materiales

A la hora de diseñar una obra de abrigo, uno de los aspectos fundamentales es el tipo de manto que se requiere emplear, este dependerá de muchos factores como: factores económicos, estéticos, funcionales ...Los mantos pueden estar compuestos por piezas naturales (escollera) o piezas artificiales (suele ser hormigón). Dentro de estos últimos, han sido desarrollados múltiples tipos a lo largo de los años buscando un aumento de eficiencia y aprovechamiento del material, algunos de los más empleados son los siguientes:



Se proponen 3 alternativas para la mejora del manto:

2.2.1 Alternativa 4a. Manto bicapa de cubos.

Se trata de piezas de hormigón masivas de forma cúbica producidas mediante encontrados. Principalmente esta tipología ha sido usada en mantos bicapa. El tamaño geométrico de la pieza, al estar formado de un material artificial, no tiene limitación en cuanto a su tamaño, pero sí respecto a la maquinaria auxiliar. Se caracteriza por una resistencia alta, en cambio, posee un coeficiente de estabilidad hidráulica bajo en comparación con otras formas geométricas del mismo material. Entre sus inconvenientes destaca el adoquinamiento, con el tiempo tiende a colocarse con sus caras en paralelo lo que conlleva a un aumento del rebase.

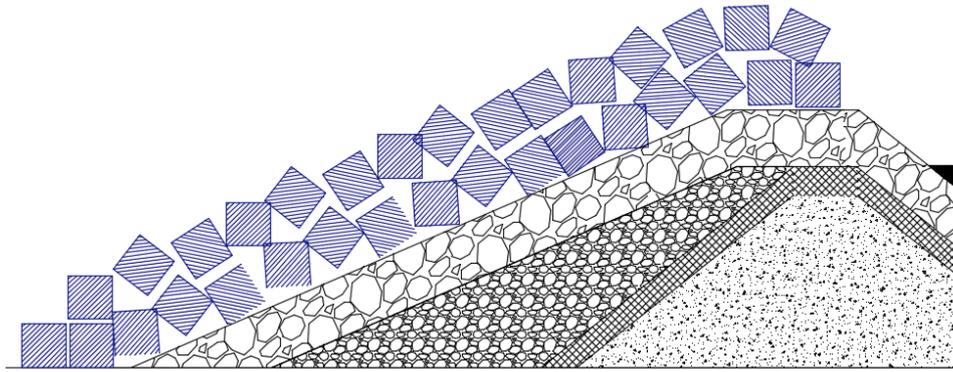


Figura 9. Alternativa 3b. Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Alternativa 4b. Manto monocapa de cubipodos

Su geometría es similar a la del cubo, salvando la diferencia de los relieves que se encuentran en sus caras. Estas protuberancias colocadas en sus seis caras impiden el adoquinamiento y aumenta las resistencias con las caras inferiores. Entre sus aplicaciones, ha sido empleado en mantos monocapa con un coeficiente hidráulico igual a 12 ($K_d=12$) y en mantos bicapa, duplicándose el coeficiente ($K_d=24$). Su diseño hace posible que se coloquen aleatoriamente, mejorando la eficiencia y reducción de tiempos durante la obra.

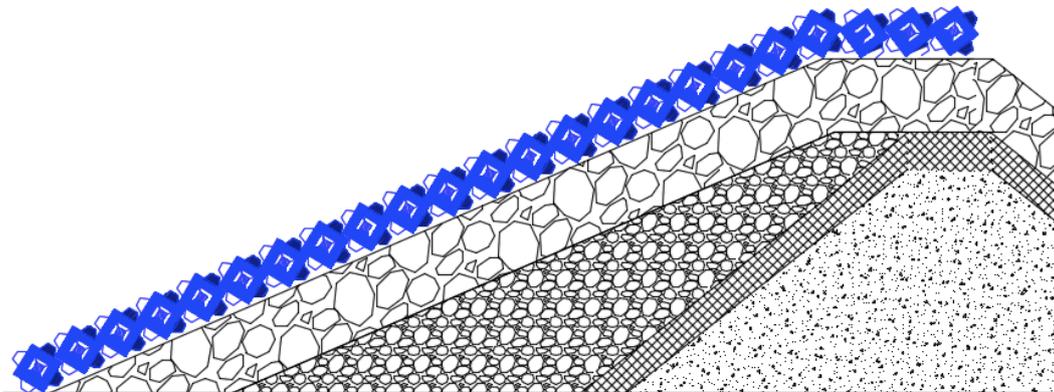


Figura 10. Alternativa 3c. Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Alternativa 4c. Manto monocapa de Xbloc

Se ha escogido este material como nueva alternativa por sus grandes características. Es un tipo de pieza que disipa la energía del oleaje gracias a su forma, por lo que su volumen de hormigón es más reducido que en otras piezas como cubos o cubipodos. Este suceso sumado a su gran coeficiente de estabilidad hidráulica $K_d=14$, hacen disminuir su peso lo que reduce en gran medida el volumen de hormigón necesario para ser fabricado.

Entre sus desventajas se encuentran los aspectos logísticos, son piezas que tienen un tiempo de fabricación de 1 día por molde. Dentro de la familia Xbloc, han sido

desarrolladas varias variantes con comportamientos diferentes para adaptarse a diferentes escenarios donde se encuentran Xbloc Plus y Xstream.

2.2.4 Selección del material del manto. Comparación de alternativas 4a , 4b , 4c.

En primer lugar, se ha aplicado la misma formulación que en la comprobación del peso de los materiales, la fórmula de Hudson. Con este procedimiento se tienen en cuenta ciertas averías que pueda sufrir el manto.

Para dimensionar el peso necesario en el manto, se ha realizado los cálculos en base a 4 taludes para comprobar el comportamiento de cada elemento y la variación en el coste, un factor fundamental a la hora de tomar decisiones.

- Peso de las piezas del manto:

Se ha calculado el peso unitario de los materiales para el escenario más desfavorable, para ello se adoptan unos coeficientes adimensionales (*Kd*) asociados a sus características. En el apartado “*Clima marítimo*”, (véase en el Anejo N°5), se ha comprobado que el oleaje llega en modo de rotura al dique, sin embargo, la fórmula de Hudson se emplea para oleaje no rompiente por lo que se aplicará un coeficiente a los factores de estabilidad hidráulica (*Kd*) para simular condiciones más duras.

Material	Densidad [kg/m ³]	Kd	Factor de reducción	Kd reducido
Escollera	2600,00	5,50	0,67	3,69
Bloques monocapa	2300,00	5,00		3,35
Bloques bicapa	2300,00	6,00		4,02
Cubípodo monocapa	2300,00	12,00		8,04
Cubípodo bicapa	2300,00	24,00		16,08
Xbloc	2300,00	16,00		10,72

Tabla 8 . Características de los materiales propuestos. Fuente: Elaboración propia

Método de Hudson:

$$W = \frac{1}{K_D} \times \frac{H_d^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} \times \frac{\gamma_r}{\cot\alpha}$$

Teniendo en cuenta los siguientes coeficientes de estabilidad hidráulica (*Kd*), **para el año 2100 (escenario SSP5-8.5) con una ola de cálculo de 5,16 metros**, se han obtenido los siguientes resultados:

Hudson							
Datos			Bloques monocapa	Bloques bicapa	Cubípodo monocapa	Cubípodo Bicapa	Xbloc
Densidad Agua [kg/m ³]	Hm0 [m]	Cot(alfa)	W [t]	W [t]	W [t]	W [t]	W [t]
1025,00	5,16	3,00	25,3	21,1	10,5	5,3	7,9
		2,3	33,0	27,5	13,7	6,9	10,3
		2	37,9	31,6	15,8	7,9	11,8
		1,5	50,6	42,1	21,1	10,5	15,8

Tabla 9. Comparación de resultados según la tipología de manto. Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la tabla anterior los resultados de la estabilidad de los diferentes materiales en función de sus características propias, coeficientes de estabilidad hidráulicos y la pendiente del talud. Como resultado general se aprecia el claro aumento de peso necesario conforme se eleva el talud.

La escollera ya ha sido estudiada con anterioridad, su comportamiento es bueno cuando los taludes son reducidos, pero un incremento de estos eleva considerablemente su peso. Es un material que únicamente se consigue a través de la extracción de canteras por lo que su tamaño suele estar limitado a la disponibilidad de la propia cantera, suele estar en torno a los 6000 kilogramos. Por lo tanto, se podría seguir usando si se rebajara el talud.

Hay que destacar el mal comportamiento de los bloques visto en la tabla anterior, que, a pesar de tener un coeficiente hidráulico ligeramente superior a la escollera, su comportamiento es peor bastante peor. Además, esta tipología suele emplearse en mantos bicapa, lo que aumenta el espesor del dique y resta longitud a la distancia entre el dique y la posidonia Oceánica.

- Espeso del manto:

Para hacer una aproximación de la repercusión estructural, funcional y económica de esta opción se han calculado el espesor necesario de las piezas para cumplir con la estabilidad del manto (único modo de fallo relacionado). Este espesor se calcula de la siguiente manera:

$$e = n \times \sqrt[3]{\frac{W}{W_r}}$$

Donde:

- W : Peso unitario de la pieza

- W_r : Densidad del material
- n : Número de capas

Sustituyendo se han obtenido los espesores de la siguiente tabla.

Pieza	Cot(alfa)	Densidad [t/m ³]	Masa [t]	Capas	e [m]
Bloques monocapa	3	2,30	25,3	1,00	2,2
	2,3		33,0		2,4
	2		37,9		2,5
	1,5		50,6		2,8
Bloques bicapa	3	2,30	21,1	2,00	4,2
	2,3		27,5		4,6
	2		31,6		4,8
	1,5		42,1		5,3
Cubípodo monocapa	3	2,30	10,5	1,00	1,7
	2,3		13,7		1,8
	2		15,8		1,9
	1,5		21,1		2,1
Cubípodo Bicapa	3	2,30	5,3	2,00	2,6
	2,3		6,9		2,9
	2		7,9		3,0
	1,5		10,5		3,3
Xbloc	3	2,30	7,9	1,00	1,5
	2,3		10,3		1,6
	2		11,8		1,7
	1,5		15,8		1,9

Tabla 10. Comparación de los espesores del manto para distintos espesores. Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos de los espesores señalan que para **colocando el manto bicapa de cubos con el talud actual, el espesor del manto sería de 4 metros**. Cada pieza tendría un lado equivalente de 2 metros, lo que supone un excesivo gasto de hormigón y por tanto un elevado coste en comparación a otras alternativas.

Con respecto a las piezas de cubípodos, la diferencia de espesor entre mantos monocapa y bicapa no son excesivas (1 metro de diferencia aproximadamente), ya que con el manto bicapa el coeficiente de estabilidad se duplica, lo que hace disminuir la masa.

Las piezas con espesores más reducidos corresponden con el Xbloc ya que cuenta con el coeficiente de estabilidad más alto.

- Rebase de la estructura:

Para ver su funcionamiento estructural se ha calculado el único modo de fallo relacionado, teniendo en cuenta las nuevas dimensiones geométricas del manto (aumento de la altura de coronación del manto producido por la colocación de piezas).

Caudal	Cot (alfa)	W [t]	2023	2050				2100			
			Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Cubos	3	14,0	5,00E-05	9,90E-05	1,10E-04	1,20E-04	1,30E-04	1,60E-04	2,00E-04	2,50E-04	2,80E-04
	2,3	18,2	4,40E-05	6,70E-05	7,50E-05	8,30E-05	8,80E-05	1,10E-04	1,40E-04	1,70E-04	2,00E-04
	2	27,9	4,80E-05	7,10E-05	7,80E-05	8,50E-05	9,00E-05	1,10E-04	1,30E-04	1,60E-04	1,90E-04
	1	41,9	8,10E-05	1,10E-04	1,20E-04	1,30E-04	1,30E-04	1,60E-04	1,90E-04	2,20E-04	2,50E-04
Cubípodo monocapa	3	7,0	1,94E-04	2,96E-04	3,28E-04	3,63E-04	3,85E-04	4,88E-04	5,92E-04	7,42E-04	8,59E-04
	2,3	9,1	5,06E-04	7,65E-04	8,46E-04	9,34E-04	9,91E-04	1,25E-03	1,51E-03	1,88E-03	2,17E-03
	2	14,0	4,29E-04	6,25E-04	6,84E-04	7,49E-04	7,91E-04	9,77E-04	1,16E-03	1,42E-03	1,62E-03
	1	20,9	6,04E-04	8,37E-04	9,06E-04	9,81E-04	1,03E-03	1,24E-03	1,44E-03	1,72E-03	1,93E-03
Cubípodo bicapa	3	3,5	1,17E-04	1,83E-04	2,05E-04	2,28E-04	2,43E-04	3,12E-04	3,82E-04	4,85E-04	5,66E-04
	2,3	4,6	1,11E-04	1,71E-04	1,90E-04	2,11E-04	2,25E-04	2,87E-04	3,50E-04	4,42E-04	5,14E-04
	2	7,0	1,17E-04	1,75E-04	1,93E-04	2,13E-04	2,25E-04	2,83E-04	3,40E-04	4,22E-04	4,86E-04
	1	10,5	1,86E-04	2,62E-04	2,84E-04	3,08E-04	3,24E-04	3,92E-04	4,59E-04	5,53E-04	6,24E-04
Xbloc	3	7,9	5,77E-04	8,49E-04	9,33E-04	1,02E-03	1,08E-03	1,34E-03	1,60E-03	1,97E-03	2,25E-03
	2,3	10,3	6,00E-04	8,74E-04	9,57E-04	1,05E-03	1,11E-03	1,36E-03	1,62E-03	1,98E-03	2,26E-03
	2	11,8	5,93E-04	8,58E-04	9,38E-04	1,02E-03	1,08E-03	1,33E-03	1,57E-03	1,92E-03	2,18E-03
	1	15,8	1,18E-03	1,58E-03	1,70E-03	1,82E-03	1,90E-03	2,25E-03	2,58E-03	3,03E-03	3,37E-03

Tabla 11. Comparación en los resultados del caudal de rebase. Fuente: Elaboración propia

Los cálculos indican que los caudales son admisibles en todas las tipologías de mantos y taludes, ya que su funcionamiento mejora gracias al aumento de la coronación, rebaje del talud o propiedades hidráulicas.

Los valores mínimos se encuentran empleando el manto bicapa de cubos, que varía entre los 0,2 l/s·m. Los caudales más grandes los contempla el manto monocapa de cubípodos y monocapa de Xbloc.

- Comparativa de costes

Para finalizar con este apartado, se calcula el posible coste de los materiales. Para ello, el coste de hormigón por m³ para cubos y cubípodos viene expresado mediante la siguiente formulación, extraída de “El Manual del Cubípodo” “Medina Folgado & Gómez-Martín, (2005)”.

1. Coste para las piezas de cubos

$$C_B \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (205 + HOR) + 0,75 \times \left[10^5 \times \left(\frac{1}{\ln(V_B \times W_B)} \right)^2 - 10^4 \times \left(\frac{1}{\ln(V_B \times W_B)} \right) \right]$$

2. Costes para las piezas de cubípodos

$$C_C \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (265 + HOR) + 0,75 \times \left[10^5 \times \left(\frac{1}{\ln(V_C \times W_C)} \right)^2 - 10^4 \times \left(\frac{1}{\ln(V_C \times W_C)} \right) \right]$$

3. Costes para las piezas Xbloc

$$C_x \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (280 + HOR) + 0,75 \times [10^5 \times \left(\frac{1}{\ln(V_x \times W_x)} \right)^2 - 10^4 \times \left(\frac{1}{\ln(V_x \times W_x)} \right)]$$

Donde:

- HOR: Coste del suministro de hormigón por m3
- $V_{B,C,X}$: Volumen total empleado
- $W_{B,C,X}$: Peso de las piezas
- X: Valor asociado a labores de encofrados

Se ha tenido en cuenta como referencia un coste del hormigón igual a 90 €/m3 para hacer una aproximación. En los apartados siguientes, donde se define la solución final, se hará un cálculo más preciso del coste.

Se ha de tener en cuenta la porosidad característica de cada pieza. Este valor, conforme más grande es, indica un mayor espacio libre entre piezas que se ha de descontar, reduciendo el volumen de hormigón necesario. Estos coeficientes aparecen en la siguiente tabla:

Pieza	Cot(alfa)	e [m]	Area [m2]	Volumen teórico	Porosidad	Volumen real [m3]	Coste [€/m3]
Bloques monocapa	3	2,2	81,6	22025,9	0,45	12114,2	345,52 €
	2,3	2,4	72,1	19471,8	0,45	10709,5	357,51 €
	2	2,5	54,2	14635,5	0,45	8049,6	387,81 €
	1,5	2,8	46,0	12407,3	0,45	6824,0	406,87 €
Bloques bicapa	3	4,2	153,5	41454,3	0,45	22799,9	292,36 €
	2,3	4,6	135,7	36647,4	0,45	20156,1	301,67 €
	2	4,8	102,0	27545,2	0,45	15149,8	325,11 €
	1,5	5,3	86,5	23351,5	0,45	12843,3	339,90 €
Cubípodo monocapa	3	1,7	60,9	16451,1	0,43	9377,2	431,45 €
	2,3	1,8	53,9	14543,5	0,43	8289,8	444,84 €
	2	1,9	40,5	10931,3	0,43	6230,8	478,74 €
	1,5	2,1	34,3	9267,1	0,43	5282,2	500,20 €
Cubípodo Bicapa	3	2,6	96,7	26114,6	0,43	14885,3	386,81 €
	2,3	2,9	85,5	23086,4	0,43	13159,3	397,90 €
	2	3,0	64,3	17352,4	0,43	9890,8	425,87 €
	1,5	3,3	54,5	14710,5	0,43	8385,0	443,61 €
Xbloc	3	1,5	55,4	14946,9	0,52	7174,5	476,60 €
	2,3	1,6	48,9	13213,7	0,52	6342,6	491,61 €
	2	1,7	36,8	9931,7	0,52	4767,2	529,67 €
	1,5	1,9	31,2	8419,7	0,52	4041,4	553,81 €

Tabla 12. Comparación de los costes. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar de la tabla anterior, la porosidad reduce en algunos casos hasta el 50% lo que beneficia en cuanto a costes económicos. Se ha de destacar los valores más negativos pertenecientes al manto de bloques bicapa, pero por el contrario, el coste

por metro cúbico es de los más reducidos. Esto se debe a que el encofrado de los bloques es bastante más simple. Los valores óptimos de volumen pertenecen a la pieza Xbloc para los taludes más elevados, entorno a los 4000 Kg, sin embargo, cuentan con los precios más altos por metro cúbico.

El cálculo total se lleva a cabo con la siguiente multiplicación:

$$\text{Coste material manto} = \text{Volumen pieza} \times \text{Coste} \times \text{Número de piezas}$$

Pieza	Cotangente	Volumen pieza [m3]	Número de piezas	Coste pieza [€]	Coste material del manto [€]
Bloques monocapa	3,00	10,99	1102,30	3797,304591	4.185.762,78 €
	2,30	14,33	747,10	5124,775039	3.828.727,66 €
	2,00	16,48	488,30	6393,050148	3.121.704,58 €
	1,50	21,98	310,47	8942,888269	2.776.468,60 €
Bloques bicapa	3,00	9,16	2489,53	2677,53585	6.665.795,18 €
	2,30	11,95	1687,32	3603,62829	6.080.470,00 €
	2,00	13,74	1102,81	4466,223999	4.925.402,01 €
	1,50	18,32	701,18	6225,74673	4.365.398,58 €
Cubípodo monocapa	3,00	4,58	2047,79	1975,662885	4.045.743,51 €
	2,30	5,97	1387,92	2656,952957	3.687.651,42 €
	2,00	6,87	907,13	3288,314667	2.982.932,23 €
	1,50	9,16	576,77	4580,993313	2.642.171,15 €
Cubípodo Bicapa	3,00	2,29	6501,33	885,6213969	5.757.716,34 €
	2,30	2,99	4406,39	1188,27919	5.236.018,21 €
	2,00	3,43	2879,96	1462,599139	4.212.229,16 €
	1,50	4,58	1831,12	2031,360099	3.719.673,88 €
Xbloc	3,00	3,43	2089,03	1636,813978	3.419.351,15 €
	2,30	4,48	1415,87	2202,225944	3.118.076,34 €
	2,00	5,15	925,40	2728,598391	2.525.041,43 €
	1,50	6,87	588,38	3803,990718	2.238.203,70 €

Tabla 13. Comparación de los costes. Fuente: Elaboración propia

Estos cálculos son una aproximación al coste material que supondría fabricar las piezas para reponer el manto y dotarlo de las propiedades calculadas anteriormente. **Recordar que no se han considerado las posteriores actuaciones complementarias necesarias en algunos taludes para llevarlas a cabo.** Con esto se quiere decir, que las tareas adicionales para adecuar el talud no se contemplan en este apartado. En el caso del talud 1:2,3 /talud actual), los mantos de Bloques, Cubípodos y Xbloc se sitúan directamente encima. En el caso de los taludes 1:1,5 y 1:1, se necesitará un previo desmonte del material de escollera que elevará el precio. Para el talud 1:3 y 1:2 será necesario reponer parte del talud existente para lograr dicha inclinación.

A modo de resumen, las tablas de costes calculadas muestran que el coste más elevado es para el manto bicapa de cubos con talud 1:3, a pesar de poseer los cubos un precio

por metro cúbico de fabricación menor al resto. A priori, el mejor precio lo obtiene el manto de Xbloc con talud 1:1, seguido del manto de bloques monocapa con el mismo talud.

Se ha escogido la pieza Cubípodo y el talud 1:2 para la nueva configuración del manto, ya que a pesar de no contar con los mejores precios ni con el menor volumen, las tareas globales de fabricación, puesta en obra, mantenimiento... hacen que la huella de carbono general sea la más reducida. Además, sus grandes características hidráulicas y mecánicas la hacen la pieza más idónea para este proyecto.

ANEJO Nº8. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA Y PROCESO CONSTRUCTIVO

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Diseño de la solución adoptada	3
1.1	Solución adoptada para el Tramo 1.....	3
1.2	Solución adoptada para el Tramo 2.....	3
1.3	Solución adoptada para el Tramo 3 y Morro.....	4
1.3.1	Diseño del nuevo manto del Tramo 3 y Morro	7
1.3.2	Diseño del nuevo espaldón del Tramo 3	13
1.4	Diseño del nuevo amarre en el trasdós del dique	14
2	Proceso constructivo.....	19
2.1	Equipos y maquinaria	20
2.2	Materiales del manto	21
2.3	Proceso constructivo del tramo 3	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Propuesta de mejora para el Tramo 2. Fuente: Elaboración propia	3
Figura 2.	Sección del espaldón para la solución final. Fuente: Elaboración propia	4
Figura 3.	Propuesta de mejora para el Tramo 3. Fuente: Elaboración propia	5
Figura 4.	Propuesta de mejora para el Morro (Alzado)). Fuente: Elaboración propia	5
Figura 5.	Propuesta de mejora para el morro (Planta). Fuente: Elaboración propia	6
Figura 6.	Propuesta de sección de conexión entre Tramos 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.....	6
Figura 7.	Medidas de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia.....	9
Figura 8.	Croquis del filtro del nuevo manto. Fuente: Elaboración propia.....	10
Figura 9.	Dimensiones de la berma. Fuente:	10
Figura 10.	Comparación de las fórmulas para comprobar la estabilidad de la berma de pie. Fuente:.....	11
Figura 11.	Sección y ubicación del espaldón Tramo 3. Fuente: Elaboración propia	13
Figura 12.	Croquis de los amarres sobre el dique. Fuente: Google Earth.....	14
Figura 13.	Propuesta de nueva distribución de amarres. Fuente: Elaboración propia..	15
Figura 14.	Croquis del nuevo amarre. Fuente: Elaboración propia	15

Figura 15. Croquis fuerzas actuantes sobre la estructura del nuevo amarre. Fuente: Elaboración propia 16

Figura 16. Maniobrabilidad de la grúa LR 1100.1. Fuente: Liehberr.com **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 17. Características de la grúa flotante Jarommeke. Fuente: Elaboración propia 21

Figura 18. Ubicación de la cantera. Fuente: Google Maps 21

Figura 19. Localización de la zona de construcción de Cubípodos. Fuente: Google Earth 23

Figura 20. Barrera de contención. Fuente: Sorbcontrol.com 24

Figura 21. Demolición de parte del talud interno. Fuente: Elaboración propia 24

Figura 22. Ejecución del filtro de escollera. Fuente: Elaboración propia 25

Figura 23. Ejecución del manto de escollera. Fuente: Elaboración propia 25

Figura 24. Ejecución del manto de cubípodos. Fuente: Elaboración propia 26

Figura 25. Tramo finalizado. Fuente: Elaboración propia 26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de estabilidad con el nuevo espaldón. Fuente: Elaboración propia 4

Tabla 2. Comparación de costes para diferentes taludes. Fuente: Elaboración propia... 8

Tabla 3. Resumen de la geometría de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia 9

Tabla 4. Estabilidad de la berma de pie. Fuente: Elaboración propia 12

Tabla 5. Dimensionamiento de la berma de pie. Fuente: Elaboración propia 12

Tabla 6. Cálculo de la presión vertical de hundimiento. Fuente: Elaboración propia.... 13

Tabla 7. Cálculo de la carga transmitida por el nuevo espaldón. Fuente: Elaboración propia 13

Tabla 8. Comprobación de hundimiento. Fuente: Elaboración propia 14

Tabla 9. Comprobaciones de estabilidad del espaldón. Fuente: Elaboración propia 14

Tabla 10. Características de los materiales empleados. Fuente: Elaboración propia.... 16

Tabla 11. Acciones que influyen en la estabilidad del amarre. Fuente: Elaboración propia 18

Tabla 12. Resultados de la estabilidad en el amarre. Fuente: Elaboración propia 18

Tabla 13. Cálculo de la presión vertical de hundimiento. Fuente: Elaboración propia.. 18

Tabla 14. Cálculo de la carga transmitida por el muelle de gravedad. Fuente: Elaboración propia 19

Tabla 15. Cálculo de coeficiente de hundimiento: Fuente: Elaboración propia 19

1 Diseño de la solución adoptada

El objetivo de este apartado es diseñar y justificar una nueva obra de abrigo que aprovechando en la mayor medida la estructura actual y con las modificaciones propuestas esté perfectamente dimensionada para mejorar su comportamiento actualmente y de cara a los peores escenarios climáticos en el año 2100. Este diseño se ha llevado a cabo para los tramos 2, 3 y la zona del morro definidas en el anejo anterior.

1.1 Solución adoptada para el Tramo 1

Tras estudiar los modos de fallo y ver que cumplen, no son necesarias intervenciones urgentes de adaptación al cambio climático.

1.2 Solución adoptada para el Tramo 2

Para este tramo de estudio, se ha visto anteriormente en el apartado *Alternativas relacionadas con la mejora del manto*, que no se pueden realizar intervenciones en el manto para no afectar negativamente a la pradera de posidonia Oceánica que se encuentra a sus pies. Por lo tanto, se proponen dos opciones:

1. No modificar el espaldón, ya que como se ha visto en el apartado *“Modos de Fallo”* se cumplen los límites (200 l/s/m) para evitar la destrucción de la estructura.
2. Realizar las modificaciones vistas en el apartado *“Alternativa 1. Aumento de la coronación del espaldón”*. Con ello se limitaría el rebase a 5 l/s/m. Esta opción se ha desarrollado a continuación:

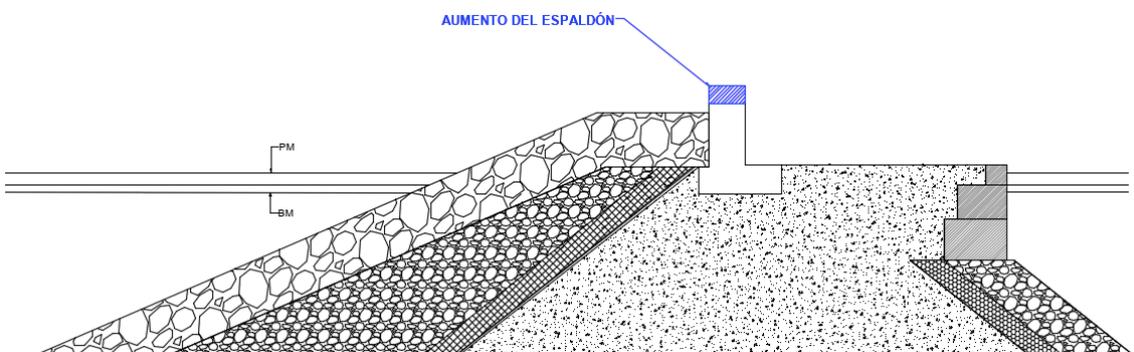


Figura 1. Propuesta de mejora para el Tramo 2. Fuente: Elaboración propia

Al actual espaldón se le va a aumentar la altura 0,8 metros alcanzando una altura total de coronación de 4,8 metros sobre el nivel del mar. Con este nuevo incremento los

volúmenes de rebase para el escenario más desfavorable son menores a los 5 l/s-m, como marca la normativa *EuroTop*.

Se trata de una estructura de hormigón en masa HM-30/B/20/IIIa+Qb. Los últimos estudios revelan que el uso de hormigón armado resulta peor en la durabilidad del espaldón, debido al continuo ambiente corrosivo al que está expuesto. Esta nueva estructura se situará encima del actual espaldón y ambos bloques deberán estar unidos para tener un comportamiento estructural similar al de una única pieza. Esta estabilidad grupal se conseguirá mediante 4 barras de acero de 120 cm de longitud y diámetro 20 mm, que atravesarán ambas piezas verticalmente. Estas barras se adentran en el nuevo espaldón 60 cm y una vez colocadas son rellenadas con GROUT, para proporcionarles durabilidad. La sección proyectada es la siguiente:

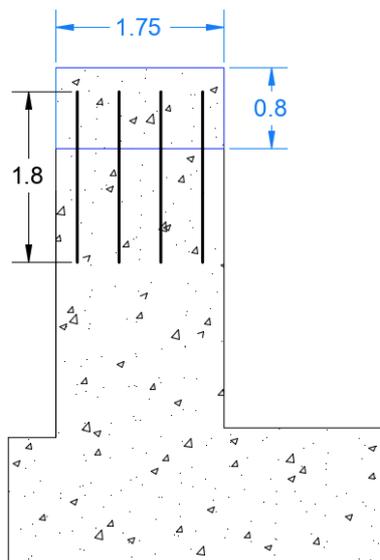


Figura 2. Sección del espaldón para la solución final. Fuente: Elaboración propia

Con este incremento de altura se solucionan por completo los problemas relacionados con el rebase y se mejora en parte la estabilidad a vuelco como se ha visto en el Anejo Nº7 y se recuerda en la tabla siguiente:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad deslizamiento	3,49	2,86	2,74	2,63	2,56	2,33	2,16	1,99	1,88
Estabilidad vuelco	7,87	6,37	6,13	5,89	5,71	5,17	4,79	4,55	4,29

Tabla 1. Resultados de estabilidad con el nuevo espaldón. Fuente: Elaboración propia

1.3 Solución adoptada para el Tramo 3 y Morro

Se va a detallar de forma más clara el tamaño y posición de las piezas dispuestas para el nuevo manto y espaldón. Además, se llevan a cabo análisis sobre los elementos

complementarios que no se han descrito anteriormente: berma de pie y capa de filtro. Tras definir correctamente todos los parámetros se han realizado todas las comprobaciones necesarias para justificar su buen funcionamiento. Con esta alternativa se ha buscado resolver desde un punto de vista económico, ingenieril y funcional, toda la problemática que envuelve al dique. Tras los resultados anteriores calculados de forma individual atacando los diversos modos de fallo, se han recopilado las mejores ideas según el coste y funcionamiento para desarrollar una alternativa que proporcione el mejor comportamiento.

Las siguientes figuras muestran de forma visual las mejoras que se proponen, para el Tramo 3 y Morro, marcadas en color azul:

En primer lugar, en el **tramo 3** se busca resolver los modos de fallo asociados al rebase y a la estabilidad del manto. Para ello se ha optado por Cubípodos colocados en un talud más inclinado 1:2. Acompañados de un espaldón en su parte superior sumado con la demolición de parte del manto interior para lograr aumentar el número de amarres en esa parte del dique. Todo esto se describe con más detalles en los siguientes apartados.

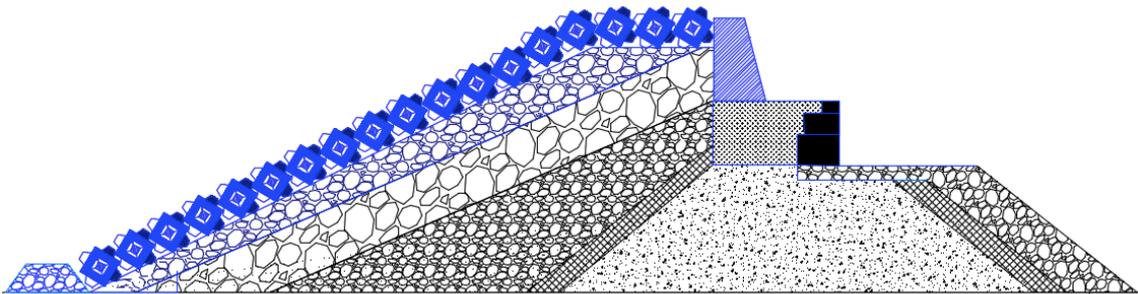


Figura 3. Propuesta de mejora para el Tramo 3. Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, para el **morro** de la estructura se propone una configuración similar a la anterior. Se resuelven los problemas de la estabilidad colocando un manto de cubípos. El espaldón se prolonga siguiendo la misma geometría que la propuesta para el tramo anterior, y “rodea” hasta cierto punto la coronación del morro. Más adelante se justifica esta toma de decisiones. Se acompaña esta explicación con dos croquis del morro propuesto en alzado y planta:

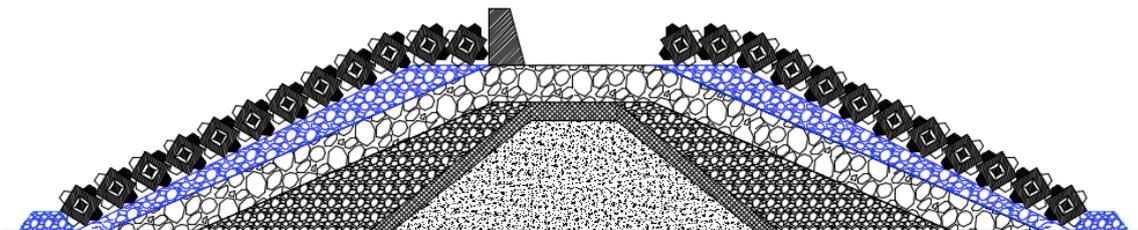


Figura 4. Propuesta de mejora para el Morro (Alzado)). Fuente: Elaboración propia

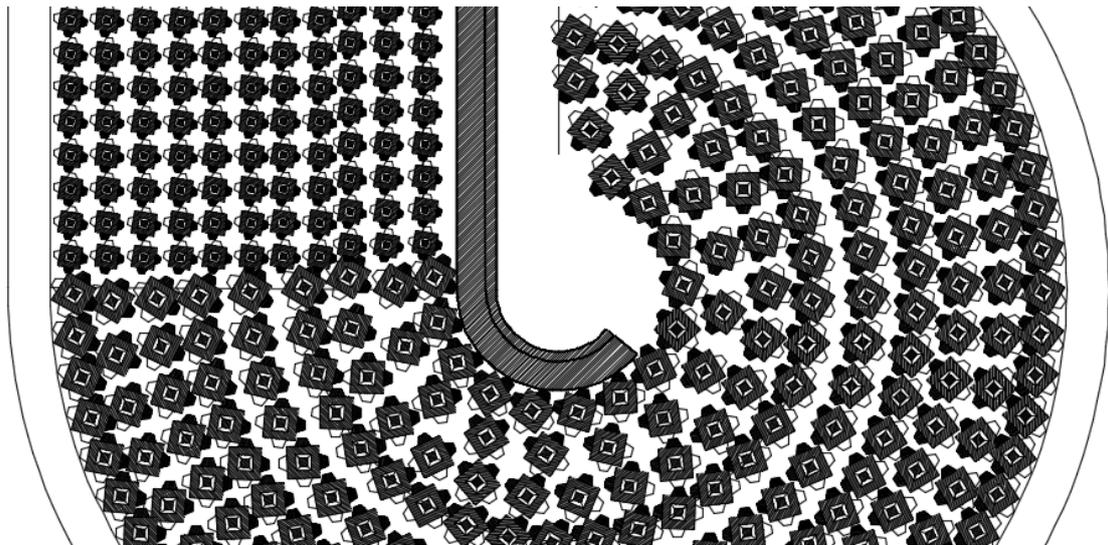


Figura 5. Propuesta de mejora para el morro (Planta). Fuente: Elaboración propia

Por último, se propone una **nueva sección situada entre los tramos 2 y 3, que sirve de conexión entre ambos**. Al no situarse ambos espaldones en la misma posición, esta sección se basa en alargar longitudinalmente el espaldón para conectar ambos y evitar posibles espacios por donde el agua pueda incidir dentro del puerto. Se mantiene el manto exterior comentado para la alternativa 3 y la parte interna del dique cuenta con la misma anchura que el tramo 2. Las siguientes imágenes sirven de aclaración:

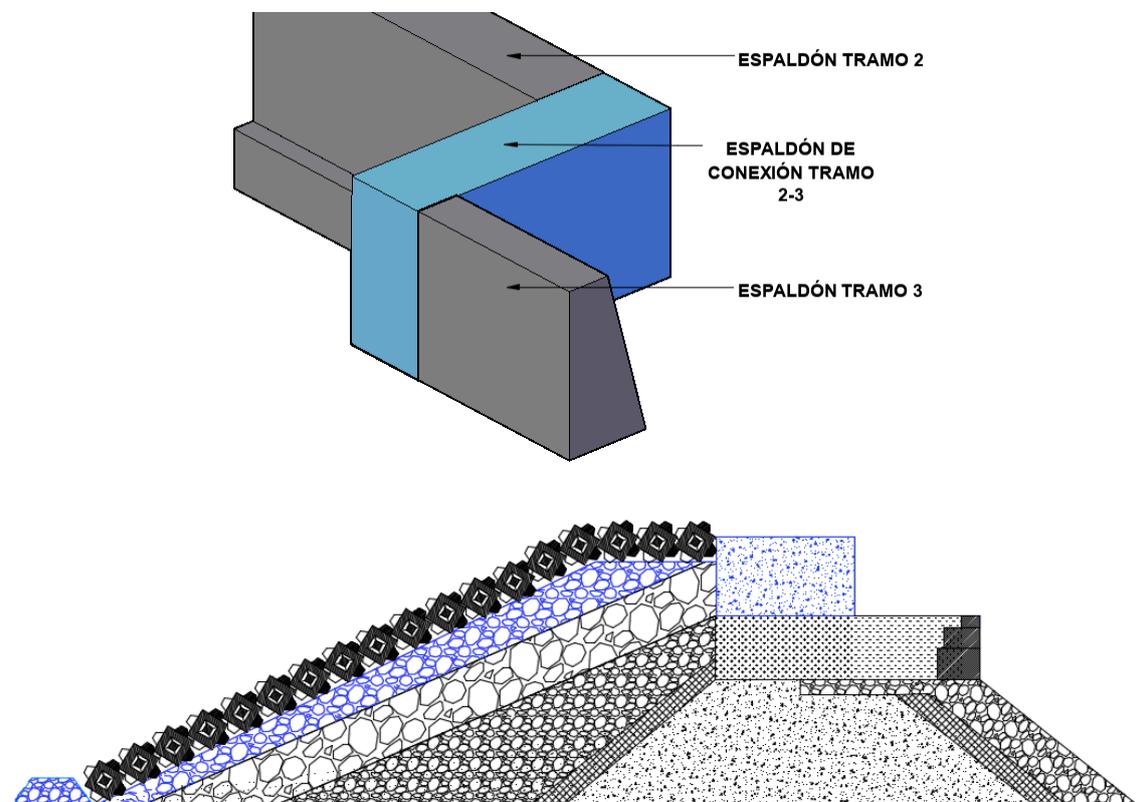


Figura 6. Propuesta de sección de conexión entre Tramos 2 y 3. Fuente: Elaboración propia

1.3.1 Diseño del nuevo manto del Tramo 3 y Morro

Para la realización del nuevo manto, vistos los resultados del “Mejora de la estabilidad dimensionando los materiales” (véase en el Anejo Nº7) **se ha optado por escoger la pieza Cubípodo** ya que esta pieza presenta unas características idóneas para este proyecto, algunas de las cuales son:

- Gran resistencia hidráulica por gravedad. Se pueden colocar piezas de grandes tamaños evitando la posibilidad de rotura
- Posibilidad de reordenación ante la acción del oleaje.
- Alta estabilidad hidráulica que permite la disposición de una única capa.
- Buen comportamiento reduciendo los caudales de rebase.
- Rentabilidad económica a largo plazo gracias a las escasas labores de reparación y mantenimiento.

Este nuevo manto se colocará a lo largo del tramo 3 y en el morro como solución a los problemas de estabilidad que sufrían ambas localizaciones produciendo una reducción al caudal de rebase y disminuyendo las fuerzas que producen los impactos de las olas sobre el futuro espaldón que también se colocará.

Los tamaños de las piezas y sus pesos se resumen en la tabla siguiente. Estos han sido calculados conforme se ve en el apartado de alternativas, empleando la formulación de Hudson.

- Diseño del manto del tronco

Para el dimensionamiento del tronco se han comparado los taludes 1:2,3 , 1:2 y 1:5. Se ha descartado rebajar el talud ya que como se observa en el apartado anterior, los costes se elevan y el rebase alcanzado no es estrictamente necesario. Hay que añadir que el aumento en el peso de las piezas aumenta el volumen a fabricar, pero esto se compensa también con un menor número de piezas, lo que aporta ventajas logísticas. **En algunas circunstancias elevar el peso de los bloques por encima del necesario es ventajoso económicamente**, por eso se ha hecho la siguiente comparación:

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

Talud	Masa [kg]	e [m]	Volumen real [m3]	Coste [€/m3]	Volumen pieza [m3]	Coste pieza [€]	Coste material del manto [€]
2,30	14000,0	1,8	8496,8	353,4	6,09	2151,3	3.002.949,23 €
	15000,0	1,9	8694,4	349,6	6,52	2280,0	3.039.616,82 €
	16000,0	1,9	8883,5	346,1	6,96	2407,5	3.074.336,61 €
	17000,0	1,9	9064,9	342,8	7,39	2533,7	3.107.333,69 €
	18000,0	2,0	9239,2	339,7	7,83	2658,7	3.138.795,48 €
	19000,0	2,0	9407,3	336,9	8,26	2782,7	3.168.879,71 €
	20000,0	2,1	9569,5	334,2	8,70	2905,7	3.197.720,46 €
	21000,0	2,1	9726,4	331,6	9,13	3027,8	3.225.432,64 €
	22000,0	2,1	9878,4	329,2	9,57	3149,0	3.252.115,55 €
	23000,0	2,2	10025,8	326,9	10,00	3269,4	3.277.855,57 €
2	16000,0	1,9	6373,2	353,8	6,96	2461,4	2.255.026,95 €
	17000,0	1,9	6503,3	350,2	7,39	2588,4	2.277.409,05 €
	18000,0	2,0	6628,3	346,8	7,83	2714,2	2.298.775,22 €
	19000,0	2,0	6748,9	343,6	8,26	2838,8	2.319.229,64 €
	20000,0	2,1	6865,3	340,7	8,70	2962,4	2.338.860,75 €
	21000,0	2,1	6977,8	337,9	9,13	3085,1	2.357.744,33 €
	22000,0	2,1	7086,9	335,3	9,57	3206,8	2.375.945,83 €
	23000,0	2,2	7192,7	332,8	10,00	3327,7	2.393.522,15 €
	24000,0	2,2	7295,4	330,4	10,43	3447,8	2.410.523,12 €
	25000,0	2,2	7395,4	328,2	10,87	3567,1	2.426.992,63 €
1,5	21000,0	2,1	6977,8	337,9	9,13	3085,1	2.357.744,33 €
	22000,0	2,1	7086,9	335,3	9,57	3206,8	2.375.945,83 €
	23000,0	2,2	7192,7	332,8	10,00	3327,7	2.393.522,15 €
	24000,0	2,2	7295,4	330,4	10,43	3447,8	2.410.523,12 €
	25000,0	2,2	7395,4	328,2	10,87	3567,1	2.426.992,63 €
	26000,0	2,2	7492,7	326,0	11,30	3685,7	2.442.969,53 €
	27000,0	2,3	7587,6	324,0	11,74	3803,7	2.458.488,40 €
	28000,0	2,3	7680,1	322,1	12,17	3920,9	2.473.580,16 €
	29000,0	2,3	7770,5	320,2	12,61	4037,6	2.488.272,58 €
30000,0	2,4	7858,8	318,4	13,04	4153,6	2.502.590,67 €	

Tabla 2. Comparación de costes para diferentes taludes. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la opción más económica para el manto del tronco es el talud 1:2, el peso de la pieza 16000 Kg (16 t) y un volumen de 7 metros cúbicos aproximadamente.

- Diseño del manto del morro

Se ha decidido adoptar el mismo talud que en el manto del tronco y piezas de cubípodos que cumplan con la formulación de Hudson. Teniendo en cuenta el coeficiente de estabilidad hidráulica (K_d) para la zona de morro en piezas de cubípodos es igual a 7, **estas piezas tienen un peso de 27 t (12 m3).**

- Medidas de las piezas

Para acelerar las operaciones complementarias de desencofrado y aumentar el rendimiento se le ha dotado a la pieza de una cierta inclinación en sus caras verticales. Esta inclinación es del 3% y es una operación tradicional en la fabricación de cubos convencionales. Para obtener las dimensiones de los lados, es necesario emplear la siguiente relación entre el lado (L) y el espesor medio de las piezas (D_n).

$$L = \frac{D_n}{1,068} = \frac{2}{1,068} = 1,87 \text{ m}$$

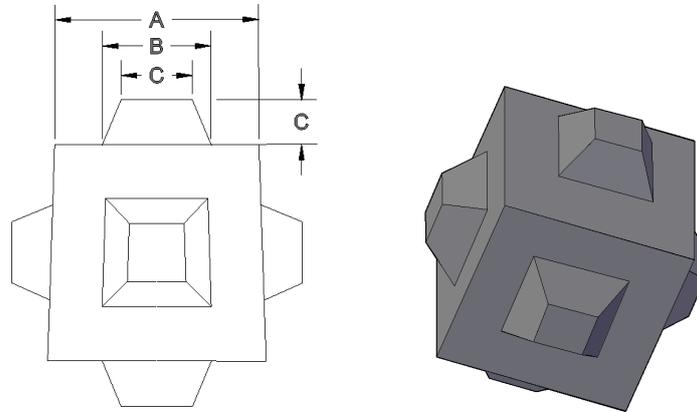


Figura 7. Medidas de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se tienen las siguientes dimensiones para las piezas que conforman todo el manto:

Geometría	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Morro
Pieza	Escollera	Escollera	Cubípodo	Cubípodo
Peso [t]	5,5	5,5	16	27
Número capas	1	1	1	1
Dn [m]	1,3	1,3	2,3	3,9
L [m]			2	3,6
A [m]			2	3,6
B [m]			1	1,8
C [m]			0,5	0,9
Volumen [m3]			6373	3969
Volumen pieza [m3]			7	12
Número de piezas			911	330

Tabla 3. Resumen de la geometría de las piezas del manto. Fuente: Elaboración propia

Una vez definido el peso del elemento del manto principal, se puede establecer las relaciones con el resto de los elementos del manto.

- Peso del material de filtro: $W = \frac{W}{10} \left(\frac{16000}{10} \mid \frac{27000}{10} \right) \text{ kg}$ para tramo 3 y Morro
- Peso del material de la berma: $W = \frac{W}{10} = \left(\frac{16000}{10} \mid \frac{27000}{10} \right) \text{ kg}$ para Tramo 3 y Morro

- Diseño del material del filtro

Para alcanzar el talud deseado (1:2) partiendo del talud actual (1:2,3) es necesaria una pequeña modificación en las piezas a emplear. Se ha decidido usar escollera de pesos 1,6 toneladas para el tronco y 2,7 para el morro. Estos pesos dependen de las piezas que se coloquen encima y se obtienen de la relación $W/10$ vista anteriormente. En la figura siguiente se puede ver la disposición de la escollera, donde se aprecia, que para alcanzar el talud (1:2) es necesario trasladar el pie del talud para poder colocar las piezas. Además el espesor del filtro será mayor conforme se acerque a la coronación pasando de 1 metro de espesor en la base a los 2 metros en la parte más elevada.

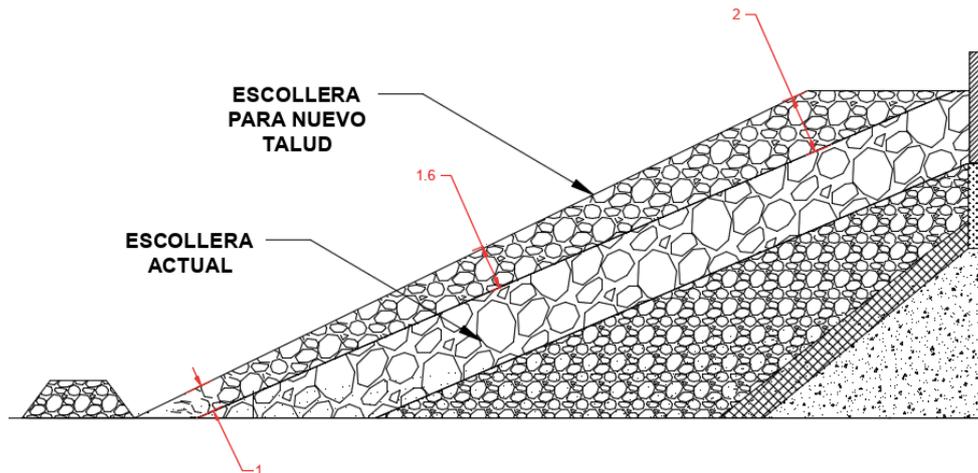


Figura 8. Croquis del filtro del nuevo manto. Fuente: Elaboración propia.

- Diseño de la berma de pie

La berma de pie es un elemento colocado en la zona baja del manto principal. Es un elemento fundamental que se encuentra sumergido y favorece en la estabilidad del dique evitando los deslizamientos de las piezas. El coste de esta parte de la obra es reducido en comparación a los gastos totales de refuerzo del dique, por lo que, con pequeños incrementos de dinero, la berma aumenta la seguridad en gran medida.

Para el diseño se ha empleado los modelos homologados como los de “Juan Ignacio Grau (2006) o Medina y Gómez-Martín (2016)” para posteriormente comprobar la estabilidad mediante la fórmula propuesta por “Mutray (2013)”.

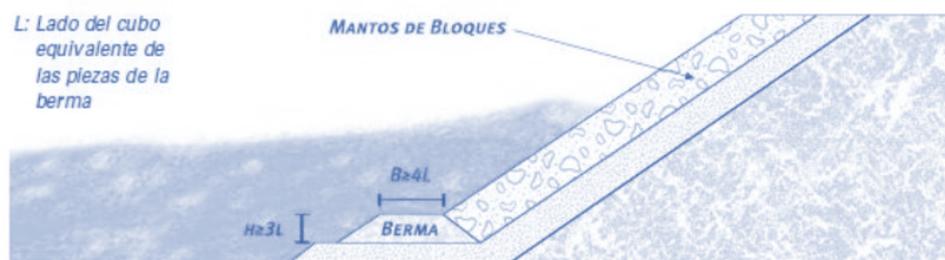


Figura 9. Dimensiones de la berma. Fuente:

Inicialmente, es recomendado que la profundidad de la berma de pie sea al menos 1,5 veces la altura de ola significativa. Las dimensiones geométricas, están definidas respecto al lado de la pieza y tipo de manto:

- Manto monocapa. $B \geq 3 \times D_n$ y $H \geq 2 \times D_n$
- Manto bicapa. $B \geq 4 \times D_n$ y $H \geq 3 \times D_n$

Para determinar el peso de los elementos que componen la berma se ha acudido a las recomendaciones del “*Coastal Engeneerie Manual*”, donde indica lo siguiente:

-Peso de las piezas de la berma : $W = \frac{W}{10}$

Para comprobar la estabilidad hidráulica de la berma de pie hay diversas fórmulas entre las que destacan “*Van der Meer (1998)*”, “*Muttray (2013)*” y “*Van Gent (2014)*”. El uso de una fórmula u otra depende del rango de aplicación y la relación entre los valores (h_t/h_s) como se puede ver en la figura siguiente. En el caso del puerto de Moraira, se obtiene una relación igual a 0,97, por lo que la fórmula de Van der Meer está fuera de aplicación. Finalmente se ha empleado la fórmula de “*Muttray (2013)*”.

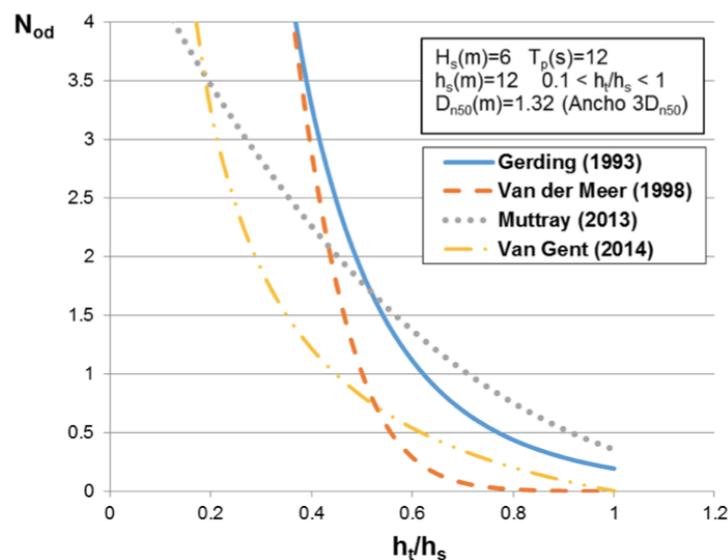


Figura 10. Comparación de las fórmulas para comprobar la estabilidad de la berma de pie. Fuente:

Para expresar el daño producido sobre la berma se usa el parámetro “*Nod*”, número que representa la cantidad de elementos dañados. Es recomendable dimensionar la berma para el nivel del mar más bajo, por lo que se ha calculado teniendo en cuenta el escenario actual sin actuación del cambio climático y contando con la bajamar ($h_s=7,4$ metros). Estos datos han sido estudiados en el apartado “*Nivel del mar*”.

$$N_{od} = \left(\frac{H_s}{D_{n50} \times \Delta} \times \left(0,58 - 0,17 \times \frac{h_t}{H_s} \right) \right)^3$$

Donde:

- Hs corresponde con la altura de ola de cálculo
- Dn50 es el diámetro nominal
- Δ es la relación entre densidades
- Ht es la profundidad en la berma de pie
- Nod cuantifica el daño en la berma siendo:
 - 0: Daño nulo
 - 0,5: Daño aceptable
 - 2: Daño moderado
 - 4: Destrucción

Sustituyendo se ha obtenido los siguientes resultados para los pesos mínimos requeridos:

Medidas	Tronco	Morro
W,berma [t]	1,60	2,70
Dn,berma [m]	0,85	1,01
B [m]	1,70	2,03
H [m]	1,70	2,03
hs [m]	7,40	7,40
Hs [m]	4,07	4,07
ht [m]	5,70	5,37
Nod	1,2	0,8

Tabla 4. Estabilidad de la berma de pie. Fuente: Elaboración propia

El resultado de emplear escollera de 1600 y 2700 Kg se corresponde con un daño de la berma igual a 1,2 y 0,8, un daño moderado. “Medina y Gómez-Martín (2016)” recomiendan **dimensionar la berma para un Nod igual a 0,5**. Como se ha comentado antes, con pequeños incrementos económicos se consiguen grandes mejoras, por lo que se ha decidido aumentar el peso de las piezas de escollera. Para conseguir un valor igual o cercano a 0,5, el diámetro equivalente y las dimensiones han de ser las siguientes:

Medidas	Tronco	Morro
W,berma [t]	3,00	3,00
Dn,berma [m]	1,05	1,05
B [m]	3,15	3,15
b [m]	2,10	2,10
hs [m]	7,40	7,40
Hs [m]	4,07	4,07
ht [m]	6,35	6,35
Nod	0,5	0,5

Tabla 5. Dimensionamiento de la berma de pie. Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Diseño del nuevo espaldón del Tramo 3

Como se ha comentado anteriormente, esta solución mixta engloba algunas alternativas vistas en apartados anteriores. Para el espaldón del tramo 3 se han implementado las medidas estudiadas en el apartado *“Alternativa 2. Nueva sección del espaldón para el tramo 3” (Anejo N°7)*. La sección se adjunta en la siguiente imagen:

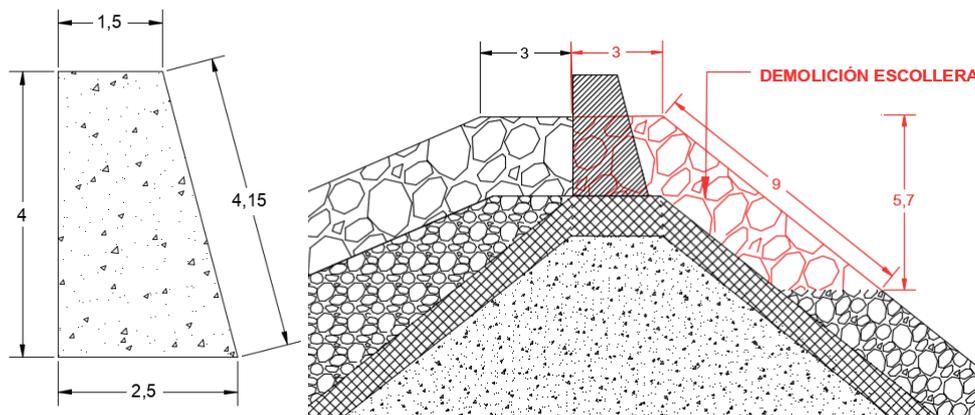


Figura 11. Sección y ubicación del espaldón Tramo 3. Fuente: Elaboración propia

Se trata de una estructura de hormigón en masa HM-30/B/20/IIIa+Qb. La sección de la imagen anterior se colocará a lo largo de todo el tramo 3, con una longitud total de 275 metros. Se ha decidido desplazar su ubicación con respecto a la del tramo 2 para conseguir aumentar la lámina de agua interior del puerto con el fin de permitir el amarre de barcos de esloras mayores ante la gran demanda.

- Comprobación de la presión vertical de hundimiento

Este nuevo espaldón en el tramo 3, irá colocado encima de un material seleccionado. El objetivo de este apartado es, siguiendo con la metodología ya vista anteriormente en los modos de fallo, comprobar si cumple y no hay riesgo de hundimiento.

γ [KN/m ³]	N_q	B^* [m]	N_γ	S	d, t, r	q_{vh} [KN/m ²]
17,00	64,11	1,72	105,91	0,83	1	1278,34

Tabla 6. Cálculo de la presión vertical de hundimiento. Fuente: Elaboración propia

Mpp1 [kN*m]	Mpp2 [kN*m]	Meterreno [kN*m]	Mtotal [kN*m]	e [m]	Tensión máx [kN/m ²]
-45,60	7,60	43,56	5,56	0,04	68,5218626

Tabla 7. Cálculo de la carga transmitida por el nuevo espaldón. Fuente: Elaboración propia

$$F_h = \frac{p_{vh}}{p_v}$$

Pvh	Pv	Fhund
1278	68,52186	18,65

Tabla 8. Comprobación de hundimiento. Fuente: Elaboración propia

- Comprobación a deslizamiento y vuelco del espaldón

Se ha llevado a cabo la **comprobación de la estabilidad de esta alternativa mixta combinando las nuevas características del manto de piezas de Cubípodos descrito en el apartado anterior junto con la colocación de un nuevo espaldón**. Como resultado, se obtienen buenos resultados debidos al aumento en la altura de coronación tanto del manto y sus características sumadas a las ventajas del espaldón. Los resultados son los siguientes:

Año	2023	2050				2100			
Escenario	Actual	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP3-7.0	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Estabilidad deslizamiento	1,49	1,40	1,37	1,36	1,34	1,30	1,27	1,23	1,21
Estabilidad vuelco	2,00	1,88	1,86	1,83	1,82	1,77	1,73	1,68	1,65

Tabla 9. Comprobaciones de estabilidad del espaldón. Fuente: Elaboración propia

1.4 Diseño del nuevo amarre en el trasdós del dique

Actualmente el dique albergaba una zona de amarres en el trasdós del espaldón. Este pantalán estaba dividido en dos zonas según la forma en la que los barcos atracaban. En primer lugar, la Zona A transcurre a lo largo de los primeros 160 metros del dique. Se localizan en esta parte un total de 42 embarcaciones de hasta 9 metros de eslora amarrados “en punta”. La Zona B transcurre a lo largo del resto del tronco del dique hasta alcanzar el morro. El número de amarres no está definido claramente (11 amarres aproximadamente) , las embarcaciones cuentan con esloras máximas de 15 metros “abarloados” lateralmente.

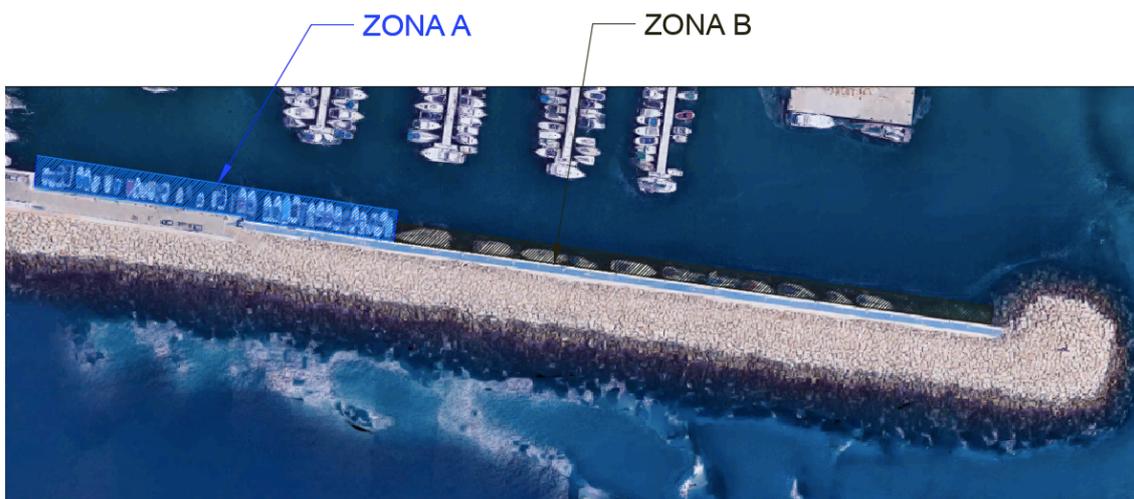


Figura 12. Croquis de los amarres sobre el dique. Fuente: Google Earth

El muelle propuesto para el trasdós del dique sigue la tipología de muelle por gravedad mediante bloques de hormigón. Es necesario para llevarlo a cabo retirar parte del talud

de escollera del manto interior y recolocar algunas piezas para proporcionar una superficie segura donde colocar los bloques. Será la continuación del muelle existente del Tramo 2 y reemplazará al actual muelle del tramo 3. Se ha proyectado para que, con una mejor configuración del espacio junto a las modificaciones propuestas en la estructura del dique, se aumente el número de amarres existentes. Pasando de 11 amarres actuales a 42 amarres para embarcaciones de 15 metros de eslora máxima, fondeados en punta, tal y como se puede ver en la siguiente imagen:

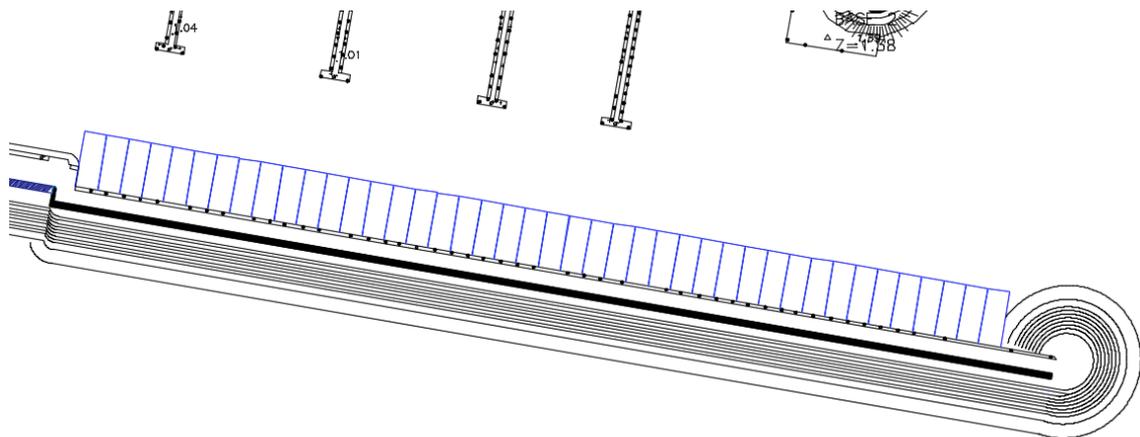


Figura 13. Propuesta de nueva distribución de amarres. Fuente: Elaboración propia

Respecto a la estructura del muelle, estará compuesta por un total de 3 bloques ordenados de mayor a menor peso de hormigón armado prefabricado en central. Por último, la coronación la compone una viga cantil empleada a albergar en su interior las conducciones de abastecimiento necesarias para la operatividad del muelle. El material de relleno se trata de material seleccionado que se colocará a lo largo de todo el ancho, incluso debajo del nuevo espaldón definido anteriormente.

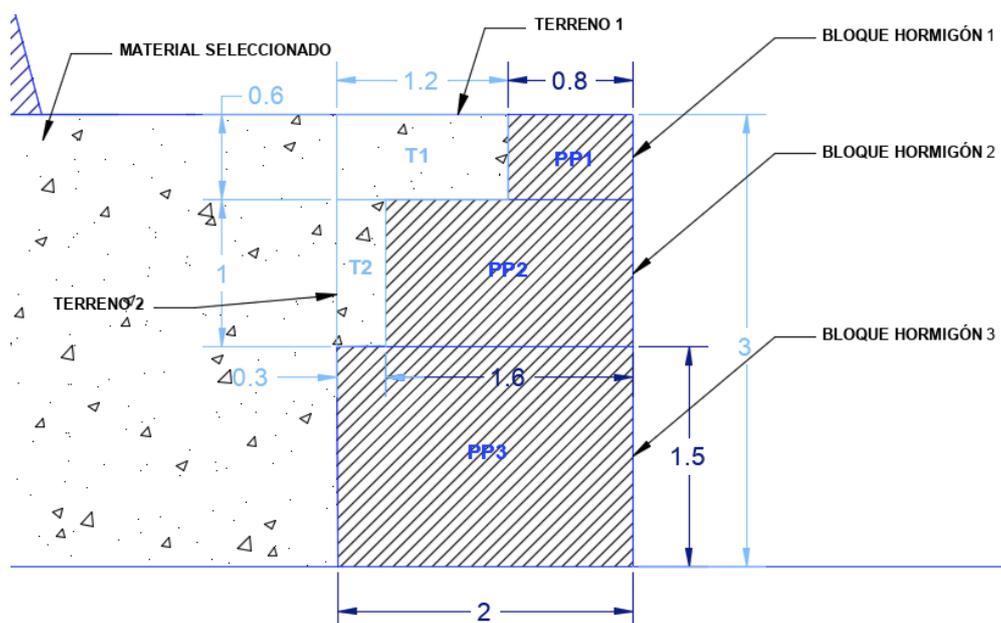


Figura 14. Croquis del nuevo amarre. Fuente: Elaboración propia

- Características de los materiales.

Los materiales empleados, como ya ha sido comentado anteriormente, son hormigón armado para la estructura y un relleno de material seleccionado que irá colocado a lo largo de toda la parte inferior del dique, incluso debajo del espaldón. Para el cálculo de la estabilidad a deslizamiento y vuelco es necesario definir las características de estos materiales:

Características	Hormigón	Acero corrugado	Relleno seleccionado
Fck [N/mm ²]	30		
Fyk [N/mm ²]		500	
Consistencia	Blanda		
Tamaño Árido [mm]	20		
Tipo		B500S	
Ambiente	IIIb+Qb		
Peso específico [Kn/m ³]	25		17
Ángulo roz interno [°]			40

Tabla 10. Características de los materiales empleados. Fuente: Elaboración propia

- Estabilidad a deslizamiento y vuelco

Para llevar a cabo este apartado, se sigue el mismo procedimiento que en apartado visto anteriormente *“Inestabilidad del espaldón”* y que describe la ROM 0.2-90, considerando las fuerzas laterales que produce el terreno adyacente como empujes activos descritos por el método de Rankine. Los empujes en el lado opuesto se tratan de empujes hidrostáticos causados por la acción del agua. Importante añadir la subpresión en la base.

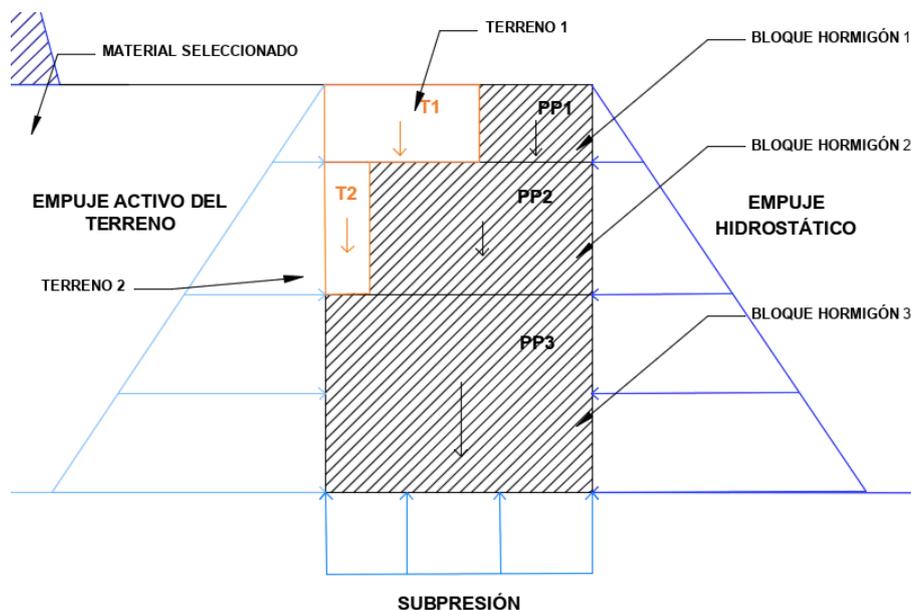


Figura 15. Croquis fuerzas actuantes sobre la estructura del nuevo amarre. Fuente: Elaboración propia

- Empuje activo

(0<Z<3) metros

$$\sigma' = \sigma - u = 17 \times Z \text{ KN/m}^2$$

$$K_{a,\text{relleno seleccionado}} = \cos(i) \times \left(\frac{\cos(i) - \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}}{\cos(i) + \sqrt{\cos^2(i) - \cos^2(\theta)}} \right) = 0,21$$

$$\sigma_{a'} = \sigma' \times K_a - 2 \times c' \times \sqrt{K_a} = 3,57 \times Z \text{ KN/m}^2$$

$$Z=0 \text{ m}$$

$$\sigma_{a'} = 3,57 \times Z = 0$$

$$Z=3 \text{ m}$$

$$\sigma_{a'} = 3,57 \times Z = 10,71 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{1\text{ Relleno}} = 10,71 \times 3 \times 0,5 = 16,06 \text{ KN/m}$$

$$\text{Momento } E_{1\text{ Relleno}} = 16,06 \times \frac{1}{3} \times 3 \times 1 = 16,06 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

- Presión hidrostática

La presión ejercida del agua sobre una superficie se calcula como:

$$\text{Presión hidros.} = p \times g \times h = 1025 \times 9,81 \times 3 = 30130 \text{ Pa} = 30,13 \text{ KN/m}^2$$

$$E_{\text{SubPresión}} = 30,13 \times 2 = 60,26 \text{ KN/m}$$

$$\text{Momento } E_{\text{SubPresión}} = 60,26 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 1 = 60,26 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$E_{\text{Hidros}} = 30,13 \times 3 \times 0,5 = 45,195 \text{ KN/m}$$

$$\text{Momento } E_{\text{Hidrostático}} = 45,195 \times \frac{1}{3} \times 3 \times 1 = 90,39 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Respecto a las fuerzas verticales producidas por las sobrecargas de uso, al tratarse de un puerto deportivo, no son consideradas cargas por el uso de maquinaria o acopio de materiales. Del mismo modo, el muelle es solo accesible a peatones por lo que, del lado de la seguridad, se consideran nulas las posibles cargas verticales que favorecerían la estabilidad.

- Tiro de bolardos

Las fuerzas horizontales por sobrecargas de uso si son consideradas. Estas se deben a la fuerza ejercida por los barcos abarloados sobre el amarre a través de los bolardos.

Las corrientes dentro del puerto sumadas a la acción del viento provocan un constante balanceo de las embarcaciones que transmiten ciertas tensiones mediante los cabos, aumentando la inestabilidad. Las tensiones horizontales producidas por los bolardos aparecen definidas en la ROM 0.2-90 para puertos comerciales, siendo estas cargas muy superiores a las producidas por embarcaciones deportivas. **Por lo tanto, se reducirá estas tensiones y se considerará una fuerza horizontal de amarre igual 5 kN/m en la coronación.**

Características	PP1	PP2	PP3	T1	T2	Material Seleccionado	Agua	Bolardos
Area [m2]	0,48	1,6	3	0,72	0,3			
Peso propio [kN]	12	40	75	12,24	5,1			
MEmpujeActivo [KN·m]						16,06		
MEmpujeSubpresión [KN·m]							60,27	
MEmpujeHidroStAgua [KN·m]							90,405	
MTiroBolardos [KN·m]								15

Tabla 11. Acciones que influyen en la estabilidad del amarre. Fuente: Elaboración propia

Estabilidad deslizamiento	2,89
Estabilidad vuelco	2,50

Tabla 12. Resultados de la estabilidad en el amarre. Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el muelle cumple correctamente con las condiciones de estabilidad a deslizamiento y vuelco.

- Presión vertical de hundimiento

Este modo de fallo ya ha sido comentado anteriormente en el apartado "Asientos producidos por el espaldón". Se busca calcular si el muelle está correctamente dimensionado para verificar esta comprobación y de igual manera que antes, se hará aplicando la fórmula de Brinch-Hansen. Para comprobar la metodología se recomienda acudir al apartado citado al principio y las características de los materiales se reflejan en la "".

$$F_h = \frac{p_{vh}}{p_v}$$

$$q_{vh} = q \cdot N_q \cdot S_q \cdot i_q \cdot d_q \cdot t_q \cdot r_q + c \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c \cdot d_c \cdot t_c \cdot r_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma \cdot t_\gamma \cdot r_\gamma$$

Donde:

γ [KN/m3]	N_q	B^* [m]	N_γ	S	d, t, r	q_{vh} [KN/m2]
26,00	64,11	2,00	105,91	0,85	1	2340,62

Tabla 13. Cálculo de la presión vertical de hundimiento. Fuente: Elaboración propia

Mpp1 [kN*m]	Mpp2 [kN*m]	Mt1 [kN*m]	Mt2 [kN*m]	Meterreno [kN*m]	Meagua [kN*m]	Mtotal [kN*m]	e [m]	Tensión máx [kN/m ²]
7,20	6,00	-4,90	-4,34	32,13	-90,41	54,31	0,38	73,29871

Tabla 14. Cálculo de la carga transmitida por el muelle de gravedad. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto:

$$F_h = \frac{p_{vh}}{p_v}$$

Pvh	Pv	Fhund
2340	73,29871	31,92

Tabla 15. Cálculo de coeficiente de hundimiento. Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla anterior, el muelle cumple con la condición de hundimiento.

2 Proceso constructivo

En este apartado se va a tratar de describir todo lo relacionado con el proceso constructivo y los equipos necesarios para llevarlo a cabo. Se hace hincapié en el proceso del tramo 3, siendo este el más complejo.

2.1 Marco temporal de las obras

En este apartado se trata

2.2 Gestión de residuos

La realización de una obra de estas características genera una cantidad directa (materiales y maquinaria) e indirecta (otras actividades) de escombros. Son necesarias, por tanto, unas medidas para reducir su impacto ambiental.

Por lo tanto, se clasificarán los residuos para agilizar y facilitar el transporte, vertido y reciclado. Los residuos serán transportados a la planta de reciclado más cercana a la obra, la cual se puede observar en la siguiente figura. Se localiza a 6,1 km.

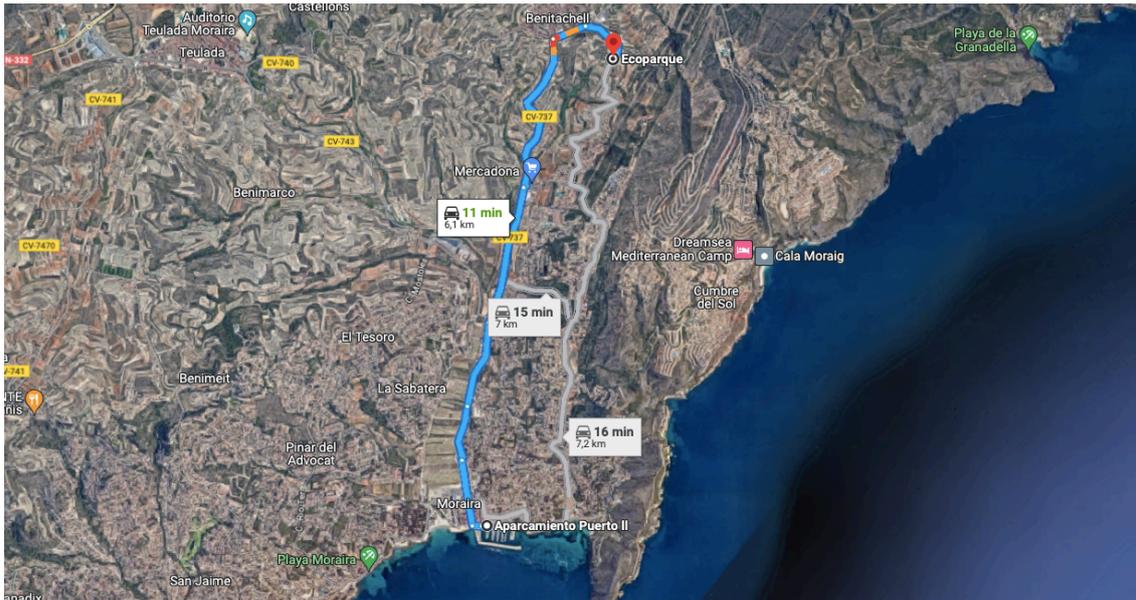


Figura 16. Localización del centro de residuos más cercano. Fuente: Google Maps

2.3 Equipos y maquinaria

Se definen las maquinarias principales para la correcta ejecución del proceso constructivo:

- Grúa terrestre

La tipología de grúa escogida es la de grúa sobre orugas. Concretamente se ha escogido la marca Liebherr, ya que esta ha sido empleada en ensayos en el laboratorio de Puertos y Costas de la Universidad Politécnica de Valencia, otorgando buenos resultados de maniobrabilidad y rendimiento. El modelo escogido de acuerdo con las características de la obra es LTM 1030-2.1, que cuenta con una altura máxima de elevación de 44 metros, una capacidad máxima de elevación de 35 toneladas y alcance máximo de 40 metros. Se ha decidido emplear este modelo debido al espacio reducido donde deberá operar, además también se debe considerar el peso de la maquinaria para que no produzca deformaciones. Por último, teniendo en cuenta cuestiones ambientales, el combustible usado es el llamado HVO (Hydrogenated Vegetable Oils) reduciendo en un 74% las emisiones de CO₂ en comparación con el combustible diésel.

- Grúa flotante

Como se ve en la figura anterior, la operatividad de la grúa terrestre está limitada por la longitud de la pluma. Es por ello por lo que, para las zonas más alejadas sea necesario usar equipos marítimos para realizar la berma de pie y las partes inferiores del manto próximas al fondo marino para obtener más presión en aquellas piezas que tienen un

papel importante en la estabilidad. Para ello se ha decidido usar la grúa flotante modelo Jarommeke que ya ha sido empleada en proyectos desarrollados por SATO-OHL, empresas con gran experiencia en obras portuarias. Las características se describen en la siguiente figura:

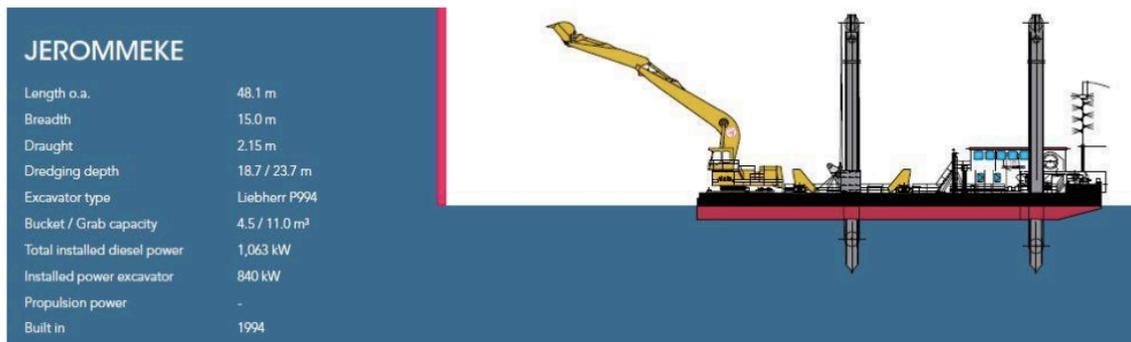


Figura 17. Características de la grúa flotante Jarommeke. Fuente: Elaboración propia

2.4 Materiales del manto

En este subapartado se busca explicar de forma más detallada algunos puntos importantes en relación con lo materiales, como las zonas de acopio o extracción.

2.4.1 Escollera

El material usado para la berma de pie y para completar el volumen necesario para conseguir el talud 1:2 se extrae de una cantera próxima a la obra. Esta cantera se sitúa a 9 kilómetros del puerto, por lo que los gastos de transporte son realmente económicos.

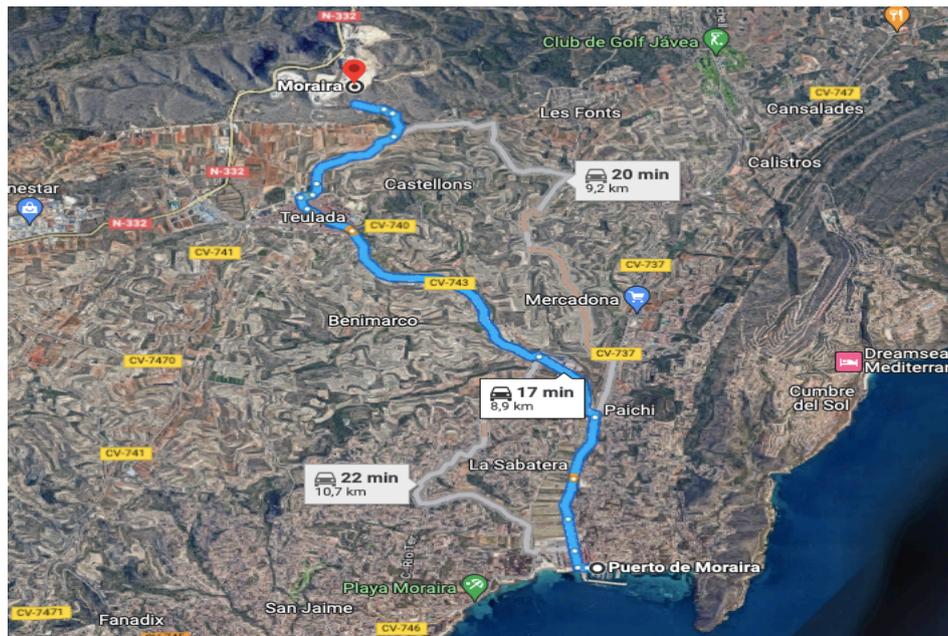


Figura 18. Ubicación de la cantera. Fuente: Google Maps

2.4.2 Piezas de Cubípodos

Se detallan algunos aspectos relacionados con el manto:

2.4.2.1 Fabricación

El encofrado diseñado para los cubípodos es similar al encofrado de Cubos por lo que los tiempos son similares. Por lo tanto, el desencofrado de la pieza se puede hacer pasadas las 6-8 horas desde el hormigonado. Como ya se ha comentado en el apartado "Diseño del nuevo manto del Tramo 3 y Morro", el molde cuenta con una inclinación en sus caras laterales lo que aumenta los rendimientos. Para el hormigonado se necesita únicamente el molde de la pieza y un carril elevado donde el camión hormigonera pueda acceder para verter el hormigón de forma directa. Al tratarse de una pieza que gran masa, la calidad del hormigón no requiere ser de gran calidad.

Respecto al número de cubípodos, se mencionan en la Tabla 3 y se recuerda a continuación:

Manto	Tronco (Tramo 3)	Morro
Volumen [m3]	6373	3969
Volumen pieza [m3]	7	12
Peso (t)	16	12
Número de piezas	911	330

Tabla 16. Número de piezas de cubípodos para formar el manto. Fuente: Elaboración propia

2.4.2.2 Acopio

Para el acopio de las piezas se necesita una zona libre. Se debe excavar en el terreno pequeños agujeros para poder colocar las protuberancias de las caras inferiores de las piezas. Se pueden alcanzar alturas de hasta 5 piezas. Se propone llevar a cabo estas operaciones en la ubicación de la Figura 19. Son dos parcelas, actualmente una de ellas se emplea para estacionar vehículos y la otra se encuentra en desuso. Por lo tanto, se puede llevar a cabo la fabricación en la parcela asfaltada (parcela de color azul) y el acopio puede realizarse en la parcela de adyacente que no se encuentra asfaltada (parcela verde) y se pueden realizar los orificios en el terreno comentadas anteriormente.



Figura 19. Localización de la zona de construcción de Cubípodos. Fuente: Google Earth

2.4.2.3 Transporte

El transporte de las piezas es sencillo, se colocan las piezas encima de camiones. Suelen ir colocadas con tablonos de madera o sobre la base de su propio encofrado para evitar que la protuberancia inferior afecte a la estabilidad durante el trayecto.

2.4.2.4 Colocación

La colocación se realiza mediante grúas que cuentan con pinzas de alta presión. La orientación de las piezas es aleatoria por lo que los tiempos de colocación y uso de maquinaria se reducen considerablemente en comparación con otras tipologías de piezas. Se pueden alcanzar rendimientos de 8-10 cubípodos/hora.

2.5 Proceso constructivo del tramo 3

1. Colocación de una barrera de contención

La colocación de esta barrera de contención tiene como objetivo disminuir los efectos negativos sobre el ecosistema marino próximo a la obra. Esta barrera está formada por una cámara de aire en su parte superior y dos cámaras de agua en su parte inferior que funcionan como un lastre. Es necesario emplearla durante las labores de modificación del talud donde se vierte escollera y cubípodos y en la creación de la berma de pie.



Figura 20. Barrera de contención. Fuente: Sorbcontrol.com

2. Demolición del manto interior del tramo 3 y creación del manto.

Mediante maquinaria se dismantelará la parte interna del manto de escollera que será transportada a un acopio cercano para su posterior empleo en la creación del talud escogido para el manto de cubípodos. La escollera retirada será nuevamente recolocada más adelante para conseguir el talud 1:2 deseado sobre el que se dispondrán los cubípodos.

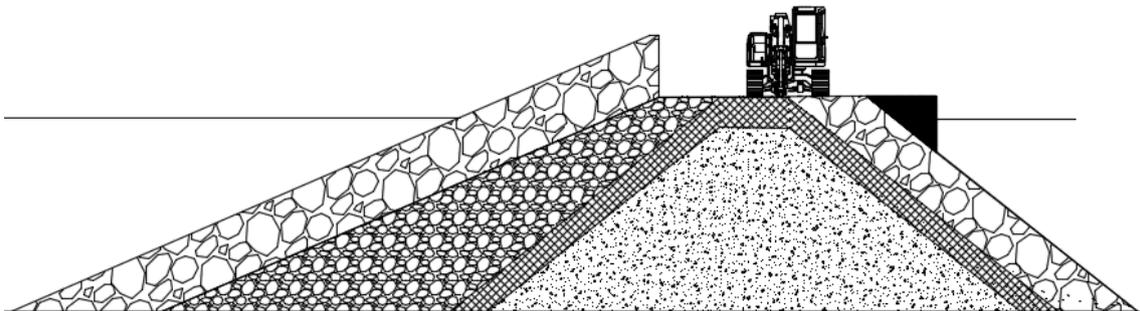


Figura 21. Demolición de parte del talud interno. Fuente: Elaboración propia

3. Disposición de la escollera para lograr el talud 1:2 y berma de pie

Como se ha comentado anteriormente, la escollera retirada es recolocada con el objetivo de aumentar el talud. Con este procedimiento se evita el uso de nuevas piezas optimizando tiempos de transportes y se elimina la gestión de residuos de la demolición realizada.

Para la realización de la berma de pie, se ha visto en apartados anteriores que se decide colocar escollera de 3 toneladas. Se emplean medios marítimos y terrestres para la colocación. Se muestra en la siguiente imagen el proceso:

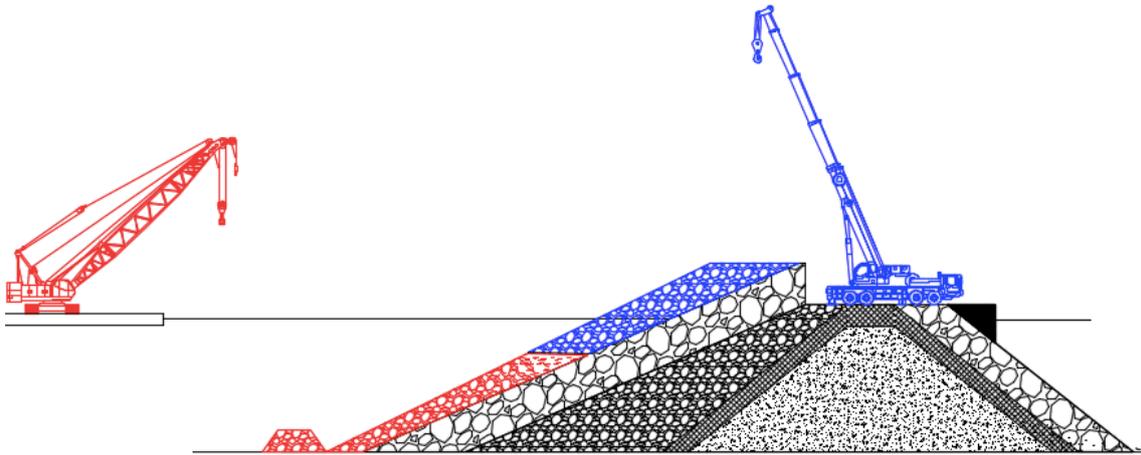


Figura 22. Ejecución del filtro de escollera. Fuente: Elaboración propia

4. Disposición del manto de cubípodos

Esta fase de la construcción del proyecto es la más condicionante por el gran número de piezas a colocar. Para poder finalizar el manto con la mayor brevedad y evitar que un posible temporal durante las obras afecte al manto desprotegido, se realizará la colocación de las piezas con medios marítimos y terrestres. Se debe tener en cuenta que las piezas del manto inferior deben colocarse en primer lugar y posteriormente completarse el manto hasta la coronación. Por lo tanto, los equipos deben llevar una correcta coordinación para reducir tiempos.

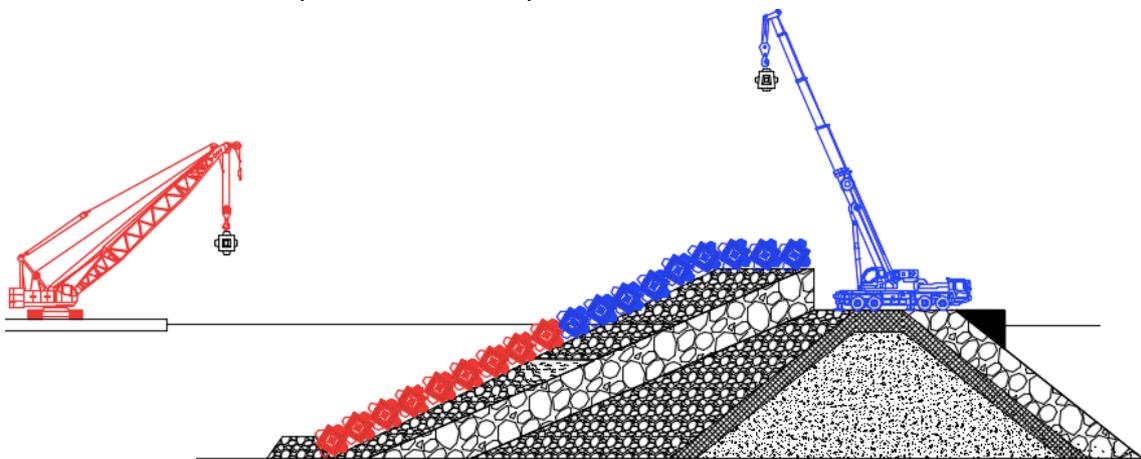


Figura 23. Ejecución del manto de escollera. Fuente: Elaboración propia

5. Creación del amarre

La última fase de este proceso se lleva a cabo mediante maquinaria con medios terrestres. Consiste en demoler el actual amarre y llevar a cabo la disposición de los bloques del nuevo amarre por gravedad. La obra del tramo 3 se dará por finalizada una vez se realice el encofrado-hormigonado-desencofrado del espaldón.

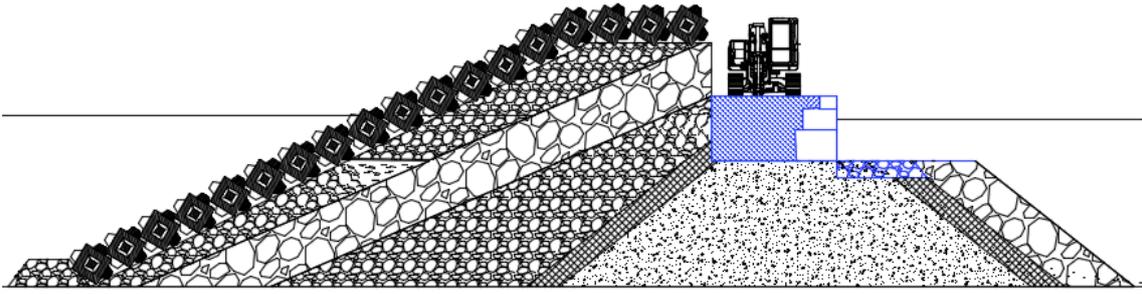


Figura 24. Ejecución del manto de cubipodos. Fuente: Elaboración propia

6. Tramo finalizado

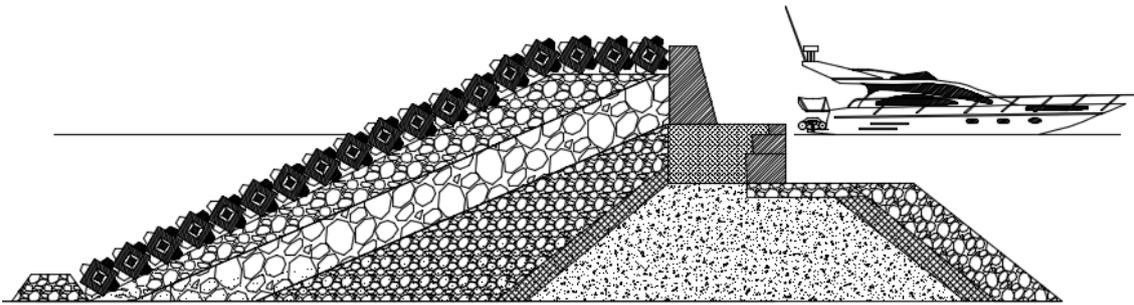


Figura 25. Tramo finalizado. Fuente: Elaboración propia

ANEJO Nº9. PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL ANEJO

1	Cuadro de precios Número 1. Mediciones	2
2	Cuadro de precios Número 2. Precios	5
3	Valoración económica.....	8



En este anejo se busca realizar una aproximación económica de la solución final adoptada descrita en el anejo anterior. Respecto a los precios de los materiales y trabajos se han tenido en cuenta bases de datos y proyectos ya realizados, por lo que es posible que algunos se encuentren desactualizados.

1 Cuadro de precios Número 1. Mediciones

	UNIDAD	RESUMEN	CANTIDAD
		CAPÍTULO 1 ACTUACIONES PREVIAS	
U001	PA	REPLANTEO INICIAL	
		Partida alzada de replanteo, incluso toma y procesamiento de datos	1
U002	PA	INSTALACIONES AUXILIARES	
		Partida alzada de pues en obra de instalaciones auxiliares	1
U003		ENSAYOS	
		Partida alzada a justificar para la realización de investigaciones geotécnicas adicionales en fase de obra	1
		CAPÍTULO 2.OBRA DE ABRIGO	
		SUBCAPÍTULO 2.1.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES TRAMO 2	
U004	m3	HORMIGÓN EN MASA	
		Hormigón en masa HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	46,5
U005	kg	ACERO B500S	
		Acero en barras corrugasdas galvanizado, B500S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetro 20mm.	408
U006	m2	ENCOFRADO	
		Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	132
		SUBCAPÍTULO 2.2.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES TRAMO 3	
U010	m3	DEMOLICIÓN PANTALÁN	
		Demolición de pantalán en el tramo 3 por medios mecánicos y manuales. Incluso carga en camión y retirada a vertedero autorizado, sin incluir canon de vertido.	1026
U011	m3	RETIRADA DE BLOQUES DE ESCOLLERA	
		Retirada del material del talud interior del dique de abrigo existente mediante medios mecánicos, incluso carga, transporte y descarga en acopio de obra para posterior colocación en rellenos	9900
U012	t	ESCOLLERA 1,6 T	
		Escollera de 1,6 t en capa de filtro del manto del tronco. Incluso suministro, colocación medinte medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	12000

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

UO13	t	ESCOLLERA 3 T Escollera de 3 t en berma de pie del manto del tronco. Incluso suministro y, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m ³	2973
UO14	m ³	HORMIGÓN EN MASA Hormigón en masa HM-20 para la creación de bloques de 16 t para formación de la nueva capa del manto exterior del tramo 3 del dique en talud, incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	6373
UO15	m ³	RELLENO SELECCIONADO Suministro y colocación de material seleccionado entre 5-50 kg de peso colocado en la parte superior del núcleo mediante medios mecánicos. Incluido adquisición, carga, transporte, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos.	3858,9
UO16	m	DISPOSICIÓN DE BLOQUES Bloques que componen el paramento del muelle. Incluso suministro y disposición mediante medios mecánicos.	270
UO17	m	VIGA CANTIL Viga cantil prefabricada de hormigón armado HM – 30/B/IIIa de 0,2 metros de canto y 2 metros de ancho. Incluso suministro, encofrado, hormigonado, fratasado y curado.	270
UO18	m ³	HORMIGÓN EN MASA Hormigón para armar HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	1650
UO20	m ²	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	2997
UO21	t	SUBCAPÍTULO 2.3.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES MORRO ESCOLLERA 2,7 T Escollera de 5,5 t en capa de filtro del manto del morro. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m ³	3521
UO22	t	ESCOLLERA 3T Escollera de 3 t en berma de pie del manto del morro. Incluso suministro y colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m ³	795
UO23	m ³	HORMIGÓN EN MASA Hormigón en masa HM-20 para la creación de bloques de 18T para formación de la nueva capa del manto exterior del morro del dique en talud, incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	3969
UO24	m ³	HORMIGÓN EN MASA Hormigón para armar HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	20
UO25	m ²	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	2997

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

		CAPÍTULO 03. OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	
UO26	PA	SEGUIMIENTO Y CONTROL	<hr/>
		Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control	1
UO27	PA	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS	<hr/>
		Partida alzada de operaciones de remate	1
UO28	PA	CONTROL DE CALIDAD	<hr/>
		Partida alzada para el control de calidad	1
UO29	PA	REMATES Y ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS	<hr/>
		Partida alzada para las operacones de remate	1
		CAPÍTULO 04. SEGURIDAD Y SALUD	
UO30	U	SEGURIDAD Y SALUD	<hr/>
		Seguridad y salud	1
		CAPÍTULO 05. GESTIÓN DE RESIDUOS	<hr/>
UO31	T	GESTIÓN DE RESIDUOS	1
		Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de HMsta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.	

2 Cuadro de precios Número 2. Precios

	UNIDAD	RESUMEN	PRECIO
		CAPÍTULO 1 ACTUACIONES PREVIAS	
U001	PA	REPLANTEO INICIAL	
		Partida alzada de replanteo, incluso toma y procesamiento de datos	80000
U002	PA	INSTALACIONES AUXILIARES	
		Partida alzada de pues en obra de instalaciones auxiliares	50000
U003		ENSAYOS	
		Partida alzada a justificar para la realización de investigaciones geotécnicas adicionales en fase de obra	20000
		CAPÍTULO 2.OBRA DE ABRIGO	
		SUBCAPÍTULO 2.1.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES TRAMO 2	
U004	m3	HORMIGÓN EN MASA	
		Hormigón en masa HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	86,49
U005	kg	ACERO B500S	
		Acero en barras corrugasdas galvanizado, B500S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetro 20mm.	1,24
U006	m2	ENCOFRADO	
		Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	22,64
		SUBCAPÍTULO 2.2.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES TRAMO 3	
U010	m3	DEMOLICIÓN PANTALÁN	
		Demolición de pantalán en el tramo 3 por medios mecánicos y manuales. Incluso carga en camión y retirada a vertedero autorizado, sin incluir canon de vertido.	1,94
U011	m3	RETIRADA DE BLOQUES DE ESCOLLERA	
		Retirada del material del talud interior del dique de abrigo existente mediante medios mecánicos, incluso carga, transporte y descarga en acopio de obra para posterior colocación en rellenos	2,83
U012	t	ESCOLLERA 1,6 T	
		Escollera de 1,6 t en capa de filtro del manto del tronco. Incluso suministro, colocación medinte medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	15,2
U013	t	ESCOLLERA 3 T	
		Escollera de 3 t en berma de pie del manto del tronco. Incluso suministro y, colocación medinte medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	18,2
U014	m3	HORMIGÓN EN MASA	
		Hormigón en masa HM-20 para la creación de bloques de 16 t para formación de la nueva capa del manto exterior del tramo 3 del dique en talud, incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	353,86

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

UO15	m3	RELLENO SELECCIONADO Suministro y colocación de material seleccionado entre 5-50 kg de peso colocado en la parte superior del núcleo mediante medios mecánicos. Includo adquisición, carga, transporte, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos.	6,86
UO16	m	DISPOSICIÓN DE BLOQUES Bloques que componen el paramento del muelle. Incluso suministro y disposición mediante medios mecánicos.	567,89
UO17	m	VIGA CANTIL Viga cantil prefabricada de hormigón armado HM – 30/B/IIIa de 0,2 metros de canto y 2 metros de ancho. Incluso suministro, encofrado, hormigonado, fratasado y curado.	248,56
UO18	m3	HORMIGÓN EN MASA Hormigón para armar HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	86,49
UO20	m2	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	22,64
UO21	t	SUBCAPÍTULO 2.3.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES MORRO ESCOLLERA 2,7 T Escollera de 5,5 t en capa de filtro del manto del morro. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	16,7
UO22	t	ESCOLLERA 3T Escollera de 3 t en berma de pie del manto del morro. Incluso suministro y colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	18,2
UO23	m3	HORMIGÓN EN MASA Hormigón en masa HM-20 para la creación de bloques de 18T para formación de la nueva capa del manto exterior del morro del dique en talud, incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	324
UO24	m3	HORMIGÓN EN MASA Hormigón para armar HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	86,49
UO25	m2	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	22,64
UO26	PA	CAPÍTULO 03. OPERACIONES COMPLEMENTARIAS SEGUIMIENTO Y CONTROL Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control	50000
UO27	PA	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS Partida alzada de operaciones de remate	70000

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

UO30	U	CAPÍTULO 04. SEGURIDAD Y SALUD SEGURIDAD Y SALUD Seguridad y salud	<hr/> 108647,05
UO31	T	CAPÍTULO 05. GESTIÓN DE RESIDUOS GESTIÓN DE RESIDUOS Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de HMsta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.	<hr/> 43458,82

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

3 Valoración económica

UNIDAD	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 1 ACTUACIONES PREVIAS				
UO01	PA REPLANTEO INICIAL Partida alzada de replanteo, incluso toma y procesamiento de datos	1	80000	80.000,00 €
UO02	PA INSTALACIONES AUXILIARES Partida alzada de pues en obra de instalaciones auxiliares	1	50000	50.000,00 €
UO03	ENSAYOS Partida alzada a justificar para la realización de investigaciones geotécnicas adicionales en fase de obra	1	20000	20.000,00 €
CAPÍTULO 2.OBRA DE ABRIGO				
SUBCAPÍTULO 2.1.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES TRAMO 2				
UO04	m3 HORMIGÓN EN MASA Hormigón en masa HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	46,5	86,49	4.021,79 €
UO05	kg ACERO B500S Acero en barras corrugasdas galvanizado, B500S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetro 20mm.	408	1,24	505,92 €
UO06	m2 ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	132	22,64	2.988,48 €
SUBCAPÍTULO 2.2.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES TRAMO 3				
UO10	m3 DEMOLICIÓN PANTALÁN Demolición de pantalán en el tramo 3 por medios mecánicos y manuales. Incluso carga en camión y retirada a vertedero autorizado, sin incluir canon de vertido.	1026	1,94	1.990,44 €
UO11	m3 RETIRADA DE BLOQUES DE ESCOLLERA Retirada del material del talud interior del dique de abrigo existente mediante medios mecánicos, incluso carga, transporte y descarga en acopio de obra para posterior colocación en rellenos	9900	2,83	28.017,00 €
UO12	t ESCOLLERA 1,6 T Escollera de 1,6 t en capa de filtro del manto del tronco. Incluso suministro, colocación medinte medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	12000	15,2	182.400,00 €
UO13	t ESCOLLERA 3 T Escollera de 3 t en berma de pie del manto del tronco. Incluso suministro y, colocación medinte medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	2973	18,2	54.108,60 €
UO14	m3 HORMIGÓN EN MASA Hormigón en masa HM-20 para la creación de bloques de 16 t para formación de la nueva capa del manto exterior del tramo 3 del dique en talud, incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	6373	353,86	2.255.149,78 €
UO15	m3 RELLENO SELECCIONADO Suministro y colocación de material seleccionado entre 5-50 kg de peso colocado en la aprte superior del núcleo mdiante medios mecánicos. Incluido adquisición, carga, transporte, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos.	3858,9	6,86	26.472,05 €
UO16	m DISPOSICIÓN DE BLOQUES Bloques que componen el paramento del muelle. Incluso suministro y disposición mediante medios mecánicos.	270	567,89	153.330,30 €

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

UO17	m	VIGA CANTIL Viga cantil prefabricada de hormigón armado HM – 30/B/IIIa de 0,2 metros de canto y 2 metros de ancho. Incluso suministro, encofrado, hormigonado, fratasado y curado.	270	248,56	67.111,20 €
UO18	m3	HORMIGÓN EN MASA Hormigón para armar HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	1650	86,49	142.708,50 €
UO20	m2	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	2997	22,64	67.852,08 €
SUBCAPÍTULO 2.3.OBRA DE ABRIGO- ACTUACIONES MORRO					
UO21	t	ESCOLLERA 2,7 T Escollera de 5,5 t en capa de filtro del manto del morro. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	3521	16,7	58.800,70 €
UO22	t	ESCOLLERA 3T Escollera de 3 t en berma de pie del manto del morro. Incluso suministro y colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad = 2,6 t/m3	795	18,2	14.469,00 €
UO23	m3	HORMIGÓN EN MASA Hormigón en masa HM-20 para la creación de bloques de 18T para formación de la nueva capa del manto exterior del morro del dique en talud, incluso acopio y operaciones previas para su correcta ejecución, totalmente colocado en su posición prefijada en el manto.	3969	324	1.285.956,00 €
UO24	m3	HORMIGÓN EN MASA Hormigón para armar HM-30/B/20/IIIa+Qb,incluso fabricación, transporte, vertido y vibrado, p.p. de juntas de hormigonado, curado y todas las operaciones necesarias para la completa terminación de la unidad de obra según dimensiones definidas en los planos del proyecto.	20	86,49	1.729,80 €
UO25	m2	ENCOFRADO Superficie encofrada con láminas metálicas planas para aumento de la coronación del espaldón en el tramo 2. Incluso parte proporcional de apuntalamientos, desmontaje y material desencofrante.	2997	22,64	67.852,08 €
CAPÍTULO 03. OPERACIONES COMPLEMENTARIAS					
UO26	PA	SEGUIMIENTO Y CONTROL Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control	1	50000	50.000,00 €
UO27	PA	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS Partida alzada de operaciones de remate	1	70000	70.000,00 €
UO28	PA	CONTROL DE CALIDAD Partida alzada para el control de calidad	1	43458,82	43.458,82 €
UO29	PA	REMATES Y ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS Partida alzada para las operaciones de remate	1	43458,82	43.458,82 €
CAPÍTULO 04. SEGURIDAD Y SALUD					
UO30	U	SEGURIDAD Y SALUD Seguridad y salud	1	108647,05	108.647,05 €

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

UO31 T

CAPÍTULO 05. GESTIÓN DE RESIDUOS

GESTIÓN DE RESIDUOS

1

43458,82

43.458,82 €

Clasificación y recogida selectiva de residuos de construcción y demolición de carácter no peligroso mediante medios manuales y mecánicos de los residuos y su depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra, así como carga y transporte a planta de valorización por transportista autorizado (por la Consejería de Medio Ambiente), a una distancia mayor de 10 km. y menor de 20 km., considerando ida y vuelta, en camiones de HMsta 20 t. de peso, cargados con pala cargadora incluso canon de entrada a planta, sin medidas de protección colectivas.

CAPÍTULO	RESUMEN	COSTE
01	ACTUACIONES PREVIAS	150.000,00 €
02	OBRA DE ABRIGO	4.345.881,84 €
02.1	TRAMO 2	7.516,19 €
02.2	TRAMO 3	2.979.139,95 €
02.3	MORRO	1.359.225,70 €
03	OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	206.917,64 €
04	SEGURIDAD Y SALUD	108.647,05 €
05	GESTIÓN DE RESIDUOS	43.458,82 €
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		4.854.905,34 €
13% Gastos Generales		631.137,69 €
6% Beneficio Industrial		291.294,32 €
TOTAL		5.777.337,35 €
21% IVA		1.213.240,84 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN		6.990.578,20 €

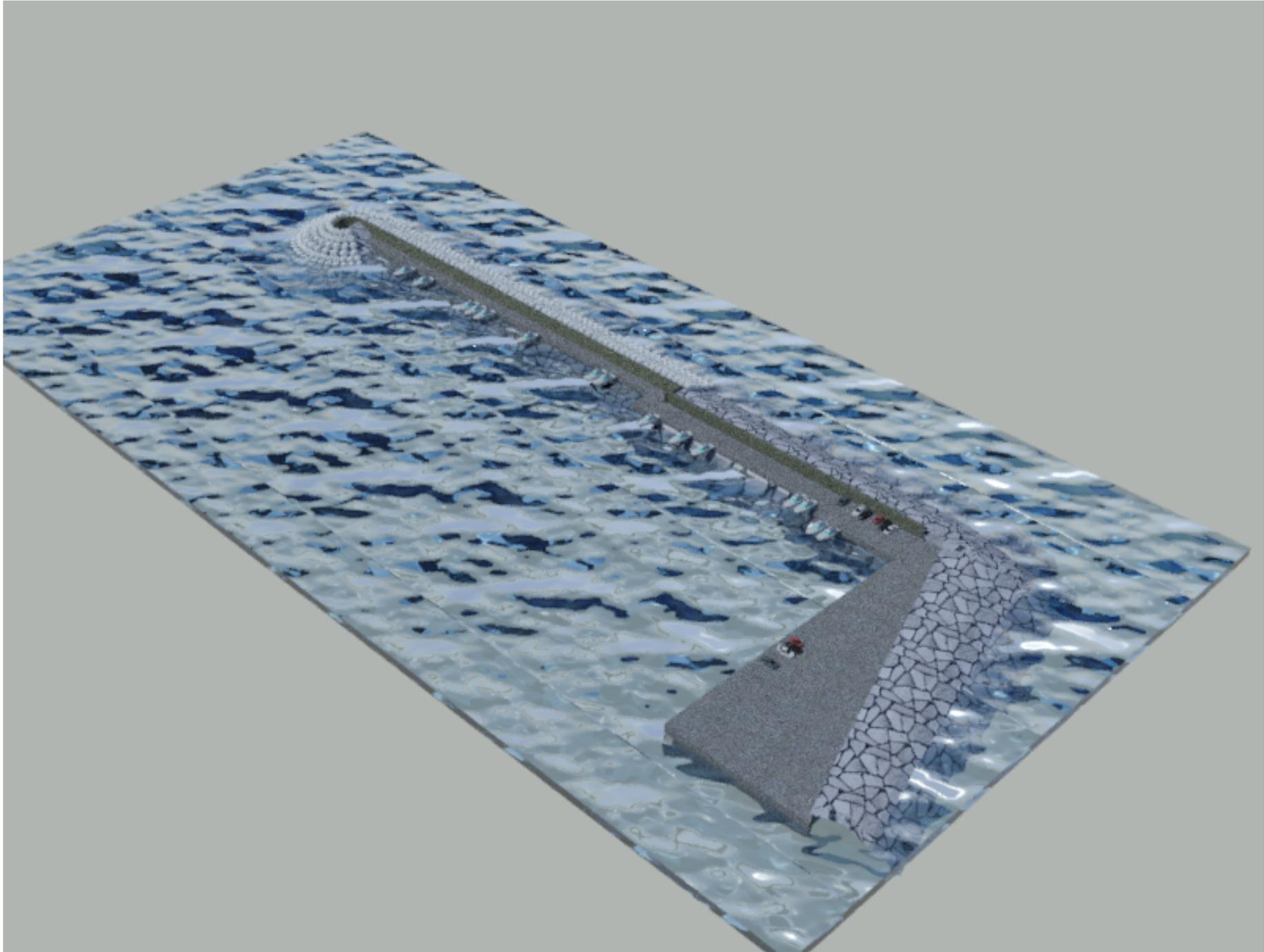
Asciende la presente certificación a la expresada cantidad de SEIS MILLONES NOVECIENTOS NOVENTA MIL QUINIENTOS SETENTA Y OCHO euros con VEINTE céntimos.

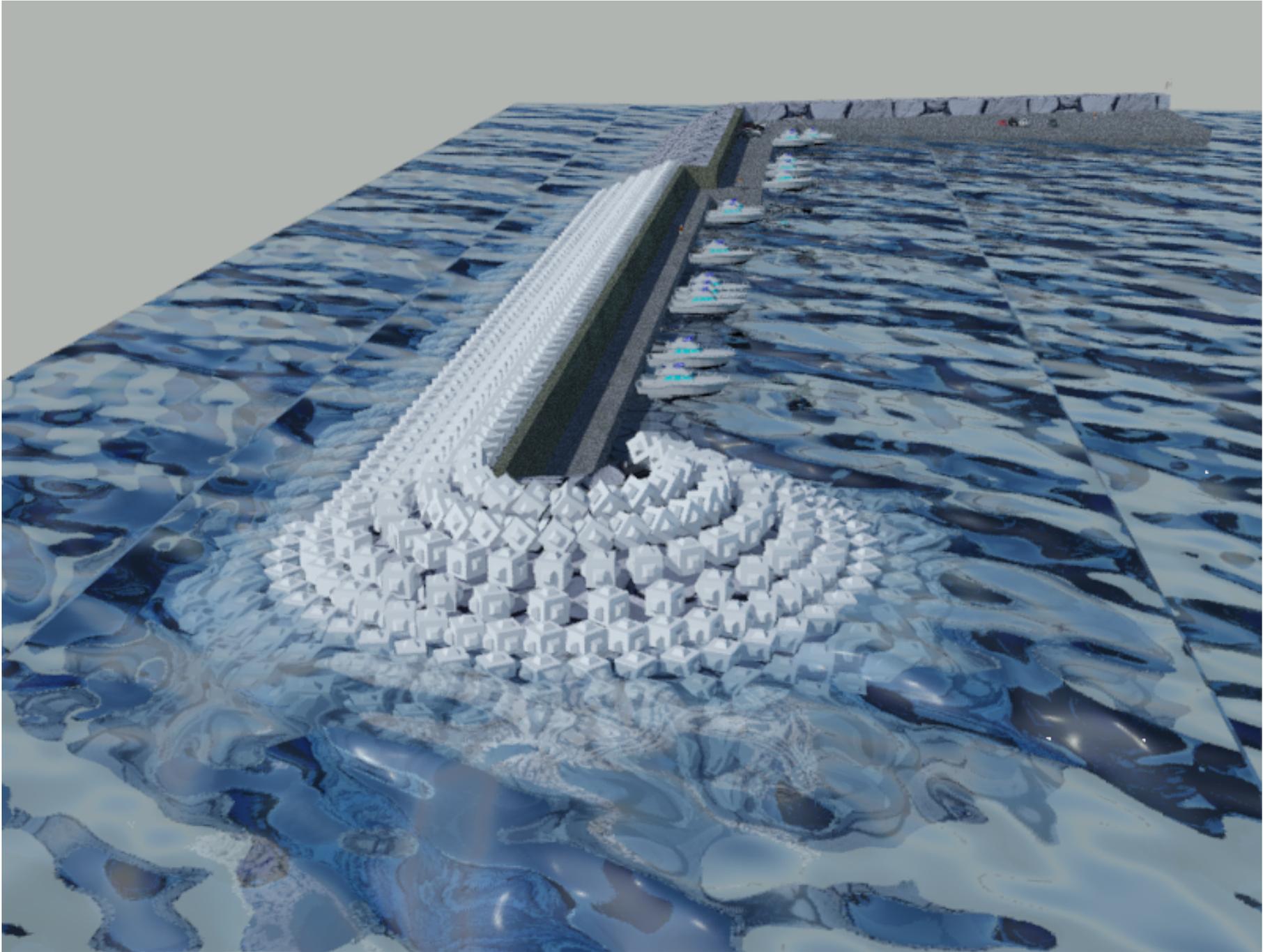
Firmado por Pablo Ballester Montesinos
4 de Julio de 2023

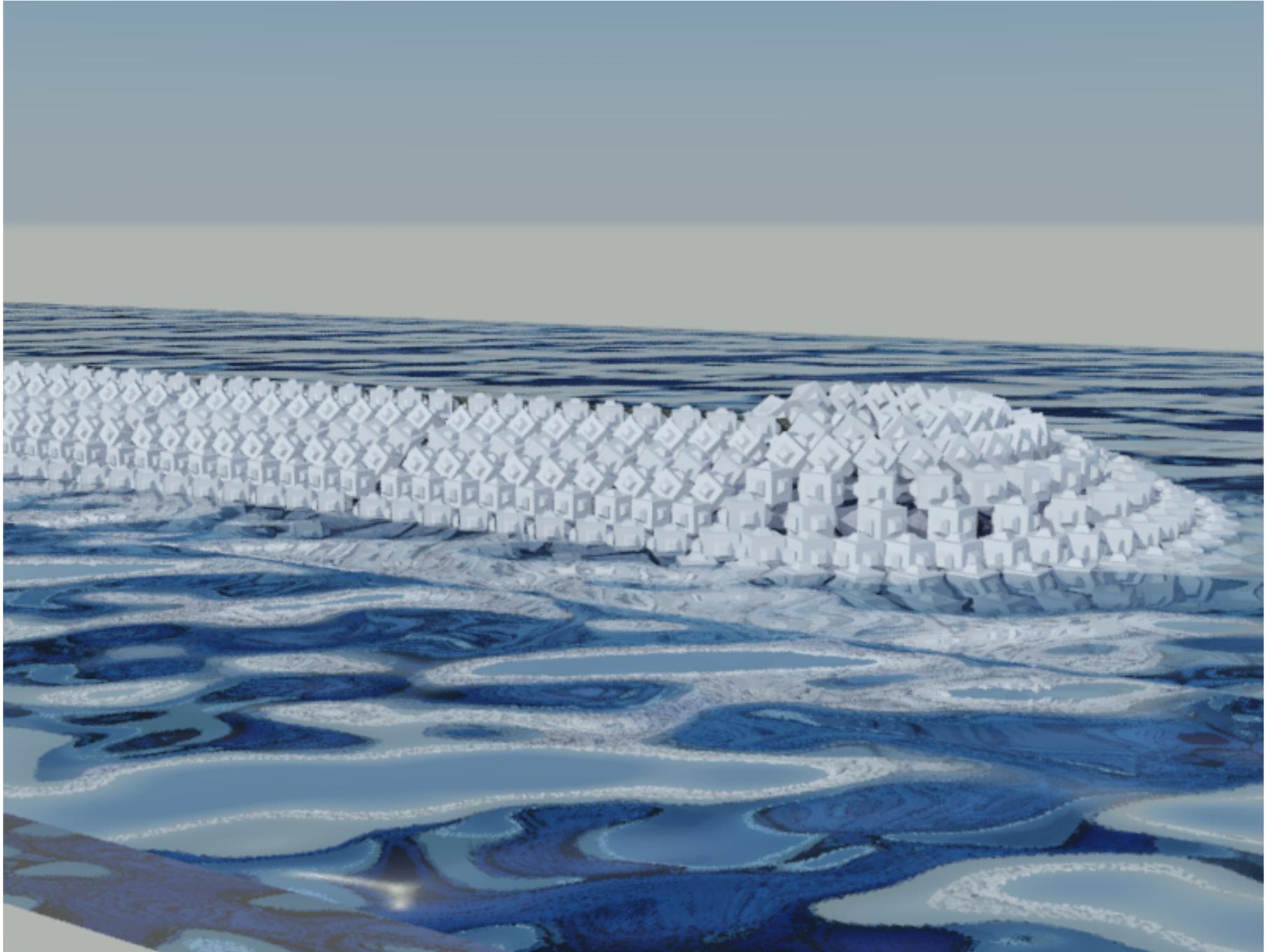


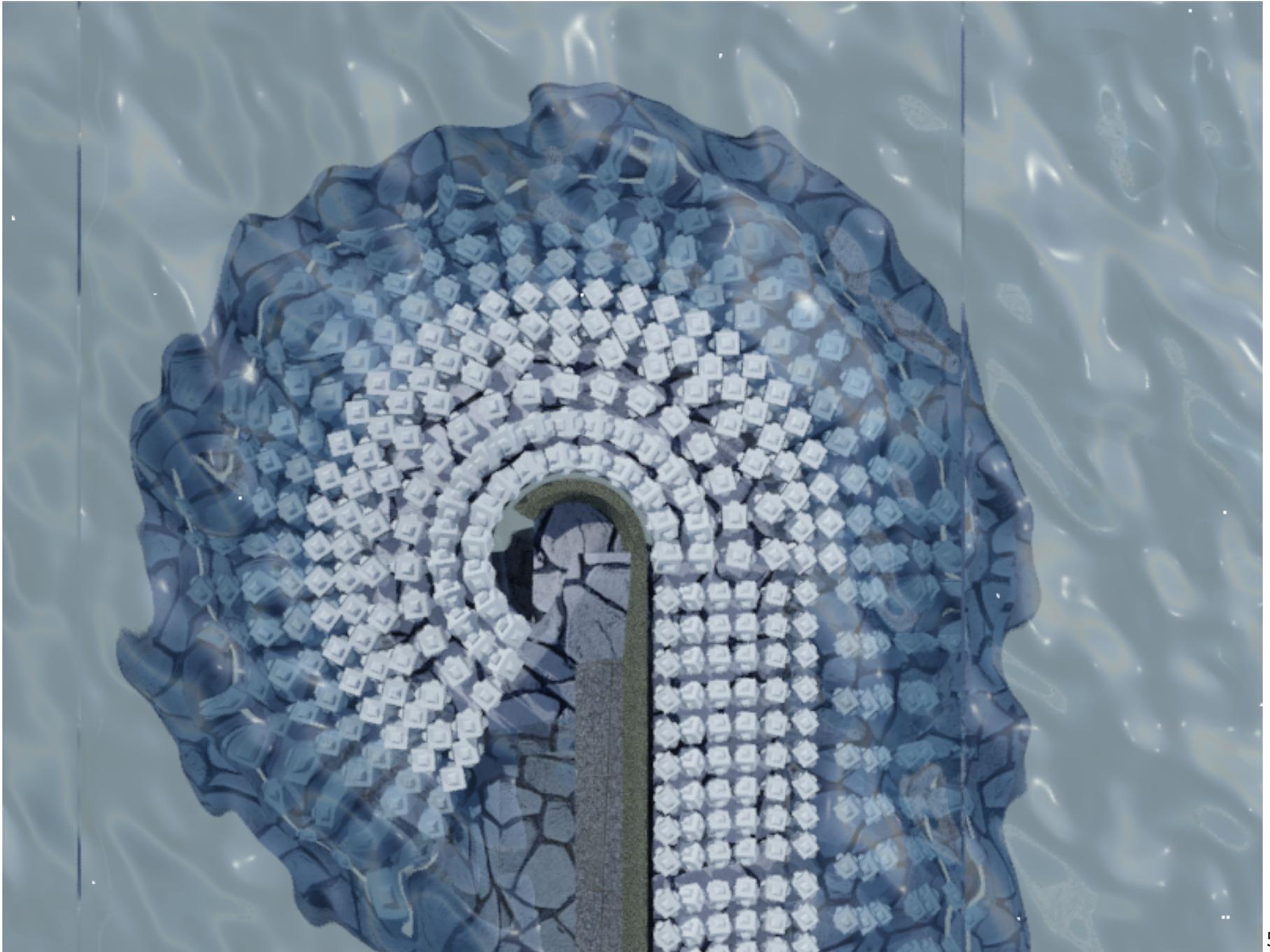
ANEJO Nº10. INFOGRAMAS



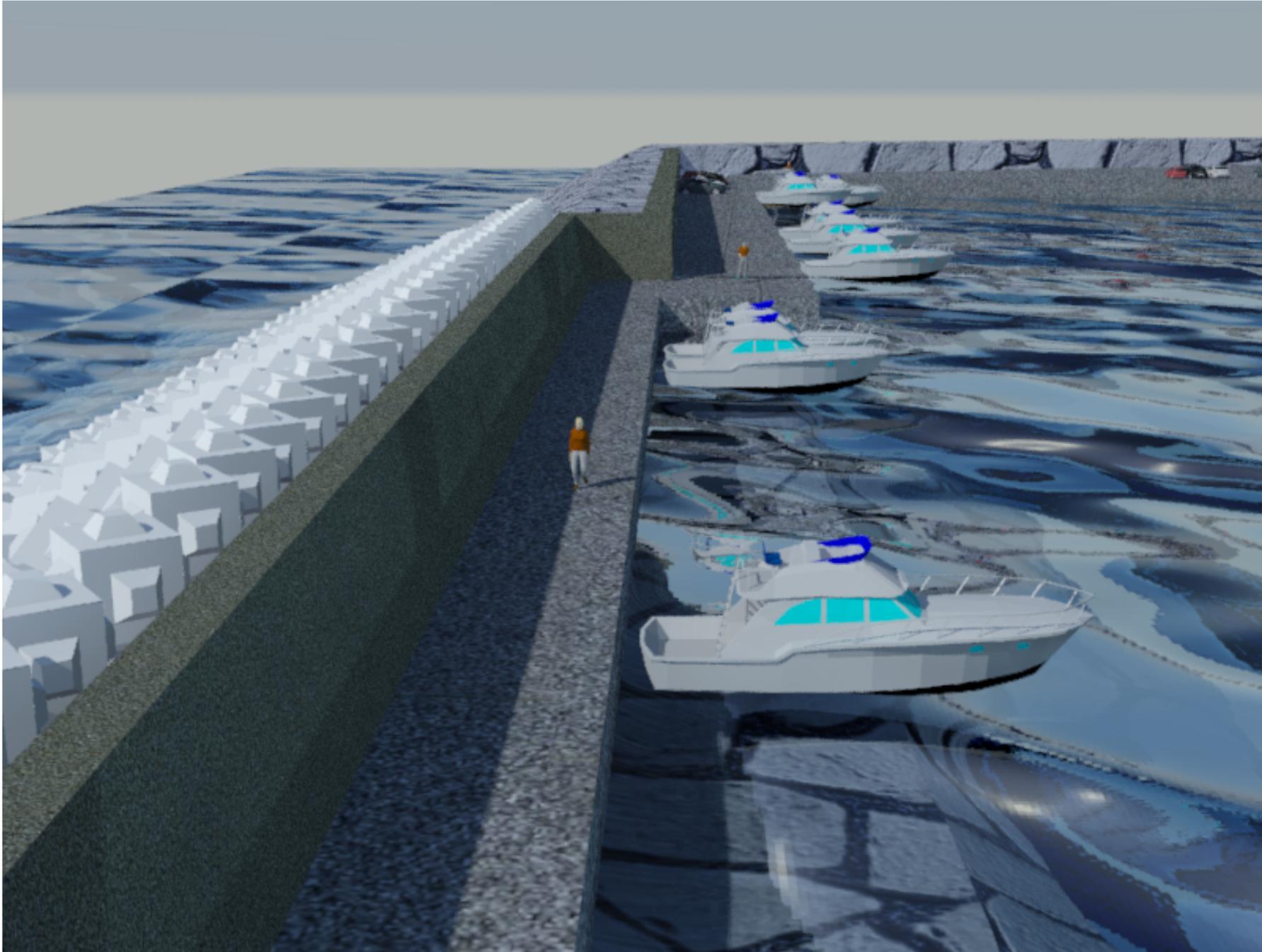












ANEJO Nº11. TRABAJO DE CAMPO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Vista general del puerto. Fuente: Elaboración propia 2
Figura 1. Vista del morro del dique. Fuente: Elaboración propia 2
Figura 3. Parte resguardada por el espaldón. Fuente: Elaboración propia..... 3
Figura 4. Coronación del dique. Fuente: Elaboración propia..... 3
Figura 6. Manto del dique principal. Fuente: Elaboración propia 4
Figura 5. Puerto de Moraira. Fuente: Elaboración propia 4



Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto Deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)



Figura 2. Vista del morro del dique. Fuente: Elaboración propia



Figura 1. Vista general del puerto. Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Coronación del dique. Fuente: Elaboración propia

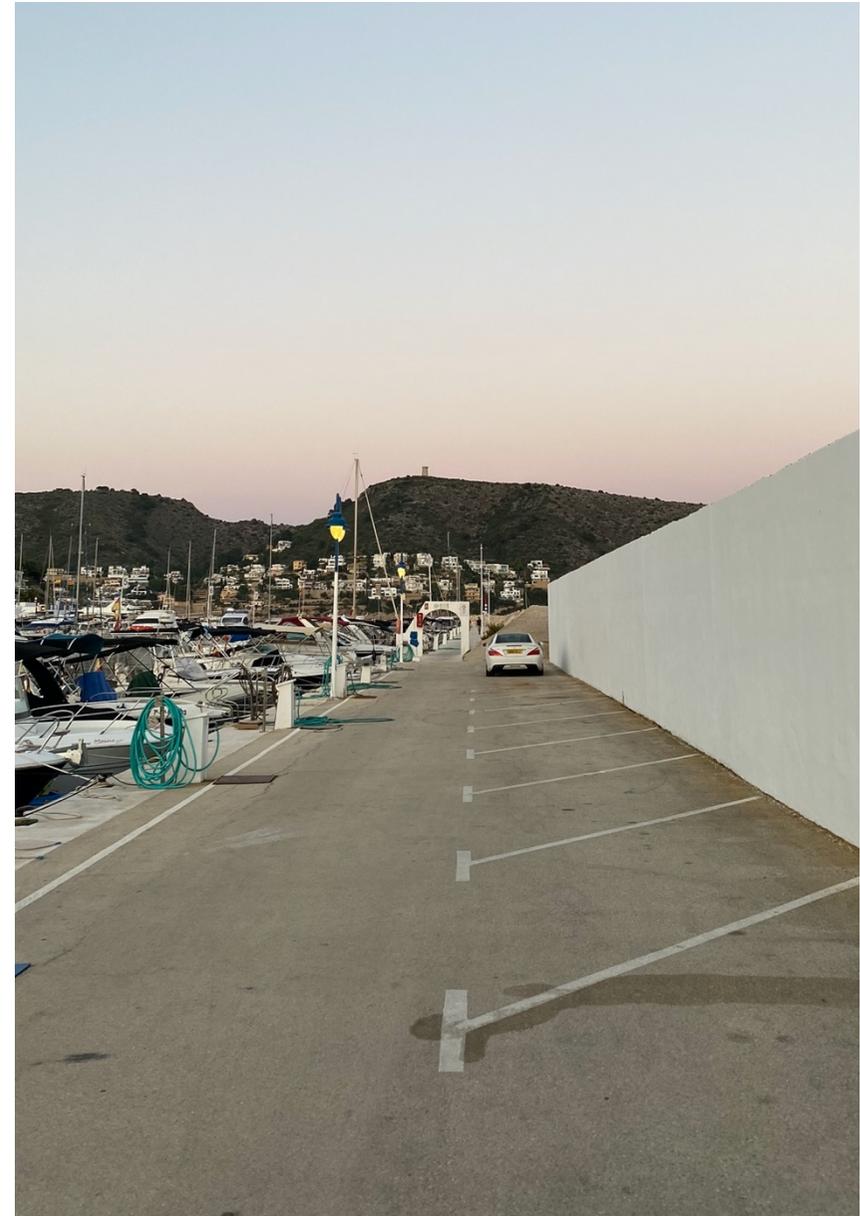


Figura 3. Parte resguardada por el espaldón. Fuente: Elaboración propia



Figura 6. Puerto de Moraira. Fuente: Elaboración propia

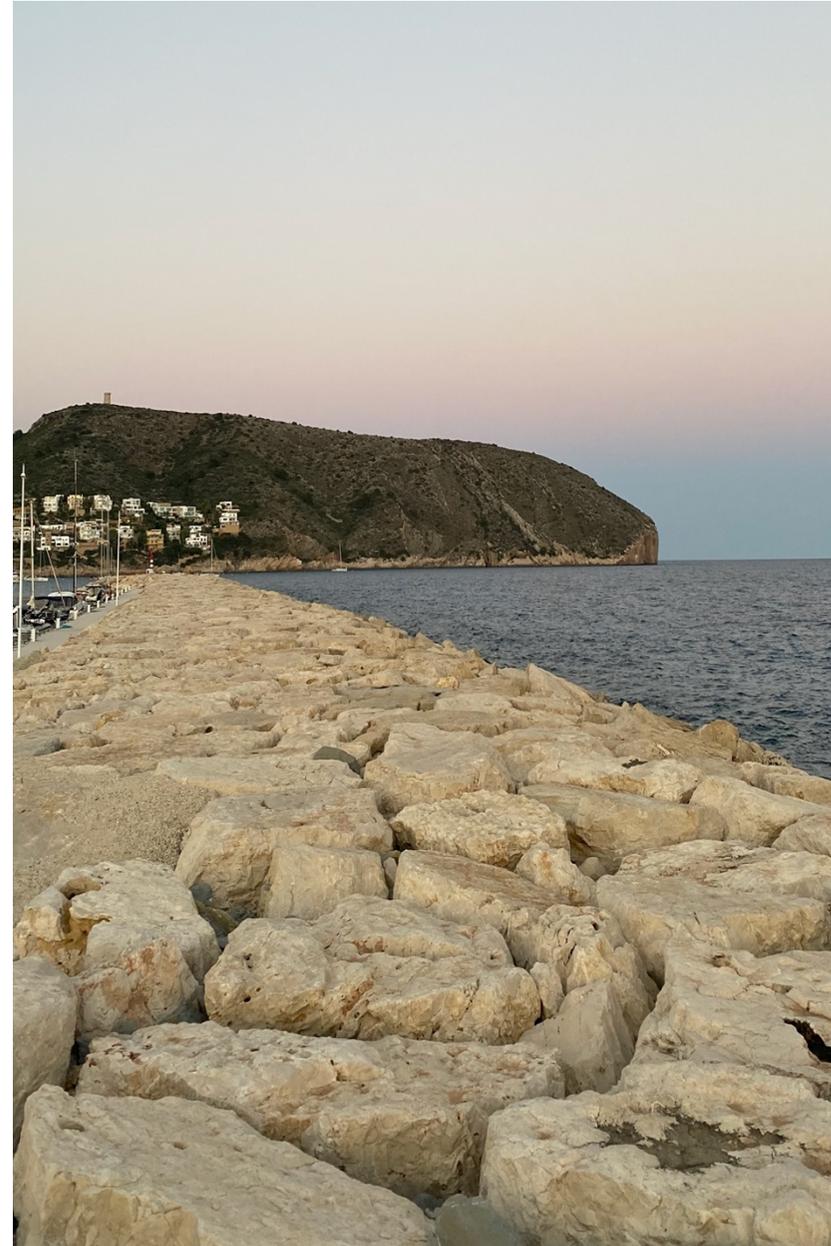


Figura 5. Manto del dique principal. Fuente: Elaboración propia

ANEJO N°12. ODS (Objetivos del Desarrollo Sostenible)

ÍNDICE DEL ANEJO

1	ODS 9. Industria, innovación e infraestructura.....	2
2	ODS 10. Ciudades y crecimiento sostenible.....	2
3	ODS 12. Producción y consumo responsable.....	3
4	ODS 13. Acción por el clima	3

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. ODS (Objetivos del Desarrollo Sostenible). Fuente: Elaboración propia.....	2
---	---



Con este anejo se trata de abordar un tema de gran importancia. Los objetivos del desarrollo sostenible son una serie de compromisos promulgados en septiembre de 2015 por las Naciones Unidas. La Agenda 2030 relata una serie de 17 objetivos a alcanzar para lograr el impulso económico, las desigualdades sociales y la protección del medio ambiente. Estos 17 objetivos son los siguientes:

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No aplica
Fin de la pobreza				X
Hambre cero				X
Salud y bienestar				X
Educación de calidad				X
Igualdad de género				X
Agua limpia y saneamiento				X
Energía asequible y no contaminante				X
Trabajo decente y crecimiento económico			X	
Industria, innovación e infraestructura		X		
Reducción de desigualdades				X
Ciudades y crecimiento sostenible		X		
Producción y consumo responsable		X		
Acción por el clima	X			
Vida submarina	X			
Vida de ecosistemas terrestres				X
Paz, justicia e instituciones sólidas				X
Alianzas para lograr los ODS				X

Tabla 1. ODS (Objetivos del Desarrollo Sostenible). Fuente: Elaboración propia

Tras la definición de los ODS, se detallan los objetivos que se relacionan con este Trabajo de Final de Grado:

1 ODS 9. Industria, innovación e infraestructura

Este trabajo muestra relación con este objetivo ya que con su desarrollo se busca alcanzar una estructura segura, fiable y que cuente con los últimos avances tecnológicos. A parte, tiene una relación con la economía directamente, sin la protección que ofrecen las obras de abrigo, sería muy dificultoso llevar a cabo labores como la pesca. Por último, han sido propuestas el empleo de recursos aumentando su eficiencia al máximo y buscando procesos industriales lo menos contaminantes posibles.

2 ODS 10. Ciudades y crecimiento sostenible

Con la propuesta de nuevos amarres, esto supondrá un aumento de clientes que transitan las instalaciones del club que se traduce en mayor uso de las instalaciones de ocio y mayores ganancias para los locales. Además, de forma indirecta, se produce un aumento de empleo debido a la mayor demanda y necesidad para mantener en buenas condiciones todas las instalaciones. El municipio de Teulada, también se ve beneficiado,

aumentando el turismo en su costa. Por lo tanto, se guarda relación con el ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.

3 ODS 12. Producción y consumo responsable

Se busca alargar la vida útil de la estructura. En los anejos anteriores se muestran procesos para lograr que con el menor material la estructura cumpla con las normativas, con ello se consigue una disminución en el consumo de hormigón.

4 ODS 13. Acción por el clima

Este trabajo ha buscado definir y concienciar acerca de la realidad del cambio climático, su probabilidad y sus posibles devastadores efectos. A la hora de escoger la solución definitiva, uno de los criterios fundamentales es minimizar afecciones al medio biótico marino, llegando a no realizar intervenciones de mejora para preservar la vida en aquellos lugares más susceptibles.

DOCUMENTO Nº2. PLANOS



ÍNDICE DEL DOCUMENTO

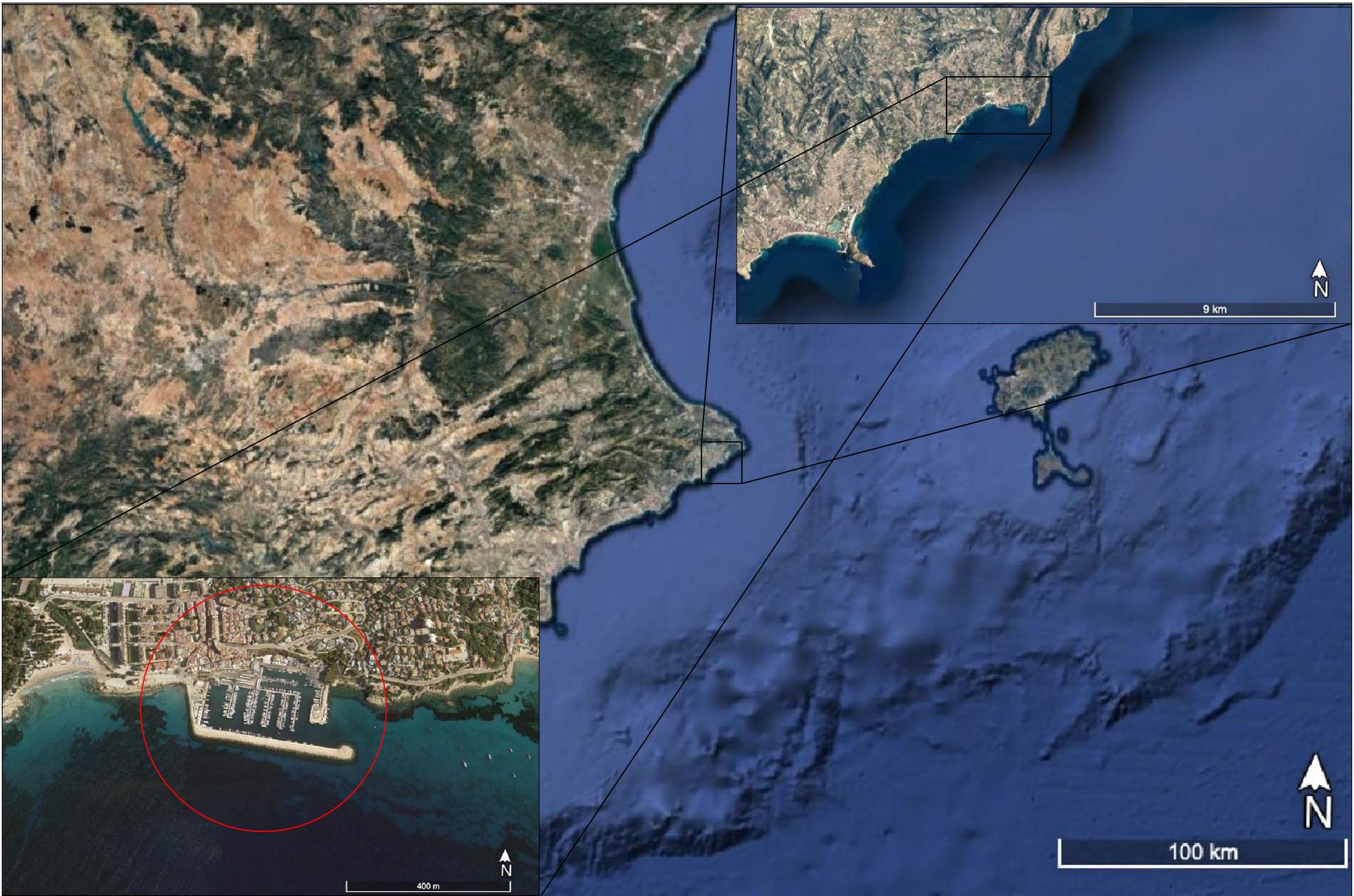
1. LOCALIZACIÓN
2. BATIMETRÍA REGIONAL
3. BATIMETRÍA A PIE DE DIQUE
4. GEOLOGÍA DE LA ZONA
5. DIQUE ACTUAL
6. SECCIÓN ACTUAL TRAMO 2.A
7. SECCIÓN ACTUAL TRAMO 2.B
8. SECCIÓN ACTUAL TRAMO 3
9. SECCIÓN ACTUAL MORRO
10. DIQUE PROPUESTO
11. PROPUESTA TRAMO 2.A
12. PROPUESTA TRAMO 2.B
13. PROPUESTA TRAMO 2.C
14. PROPUESTA TRAMO 3
15. PROPUESTA MORRO



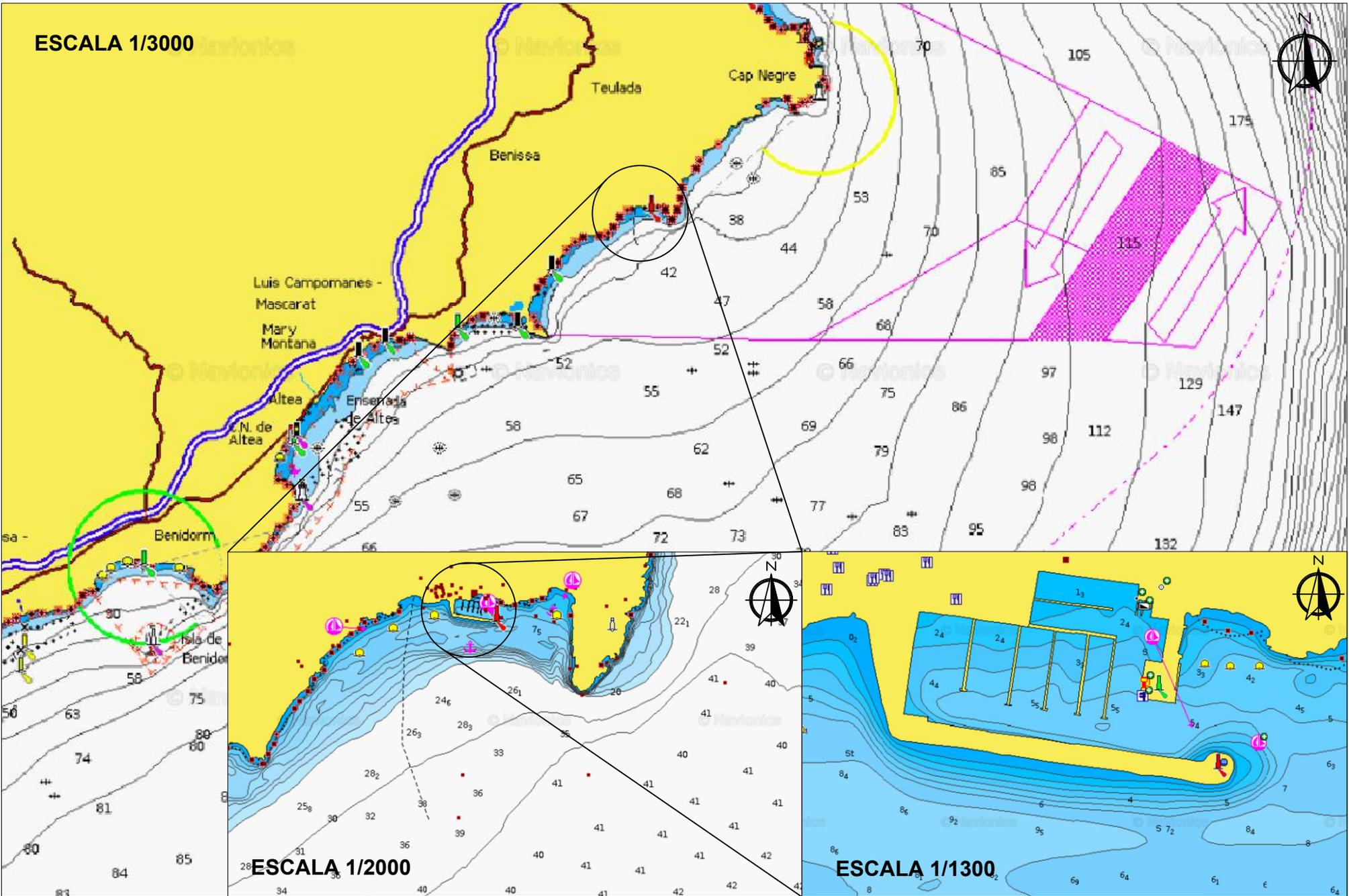
ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1. LOCALIZACIÓN
2. BATIMETRÍA REGIONAL
3. BATIMETRÍA A PIE DE DIQUE
4. GEOLOGÍA DE LA ZONA
5. DIQUE ACTUAL
6. SECCIÓN ACTUAL TRAMO 2.A
7. SECCIÓN ACTUAL TRAMO 2.B
8. SECCIÓN ACTUAL TRAMO 3
9. SECCIÓN ACTUAL MORRO
10. DIQUE PROPUESTO
11. PROPUESTA TRAMO 2.A
12. PROPUESTA TRAMO 2.B
13. PROPUESTA TRAMO 2.C
14. PROPUESTA TRAMO 3
15. PROPUESTA MORRO

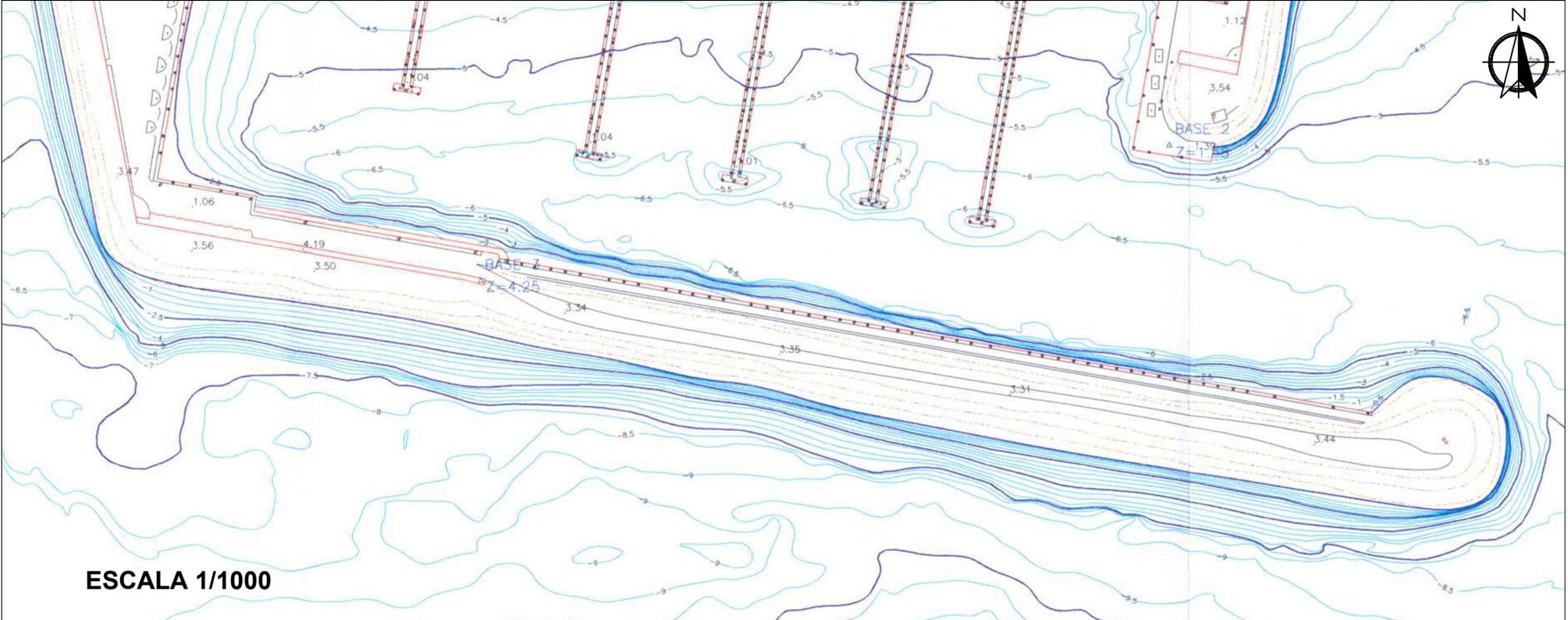
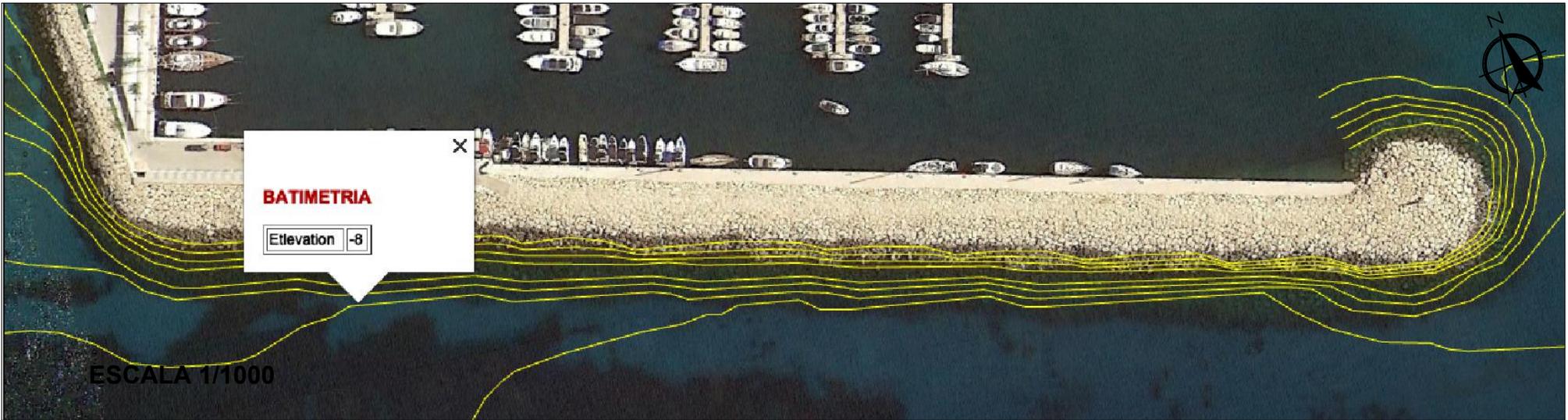




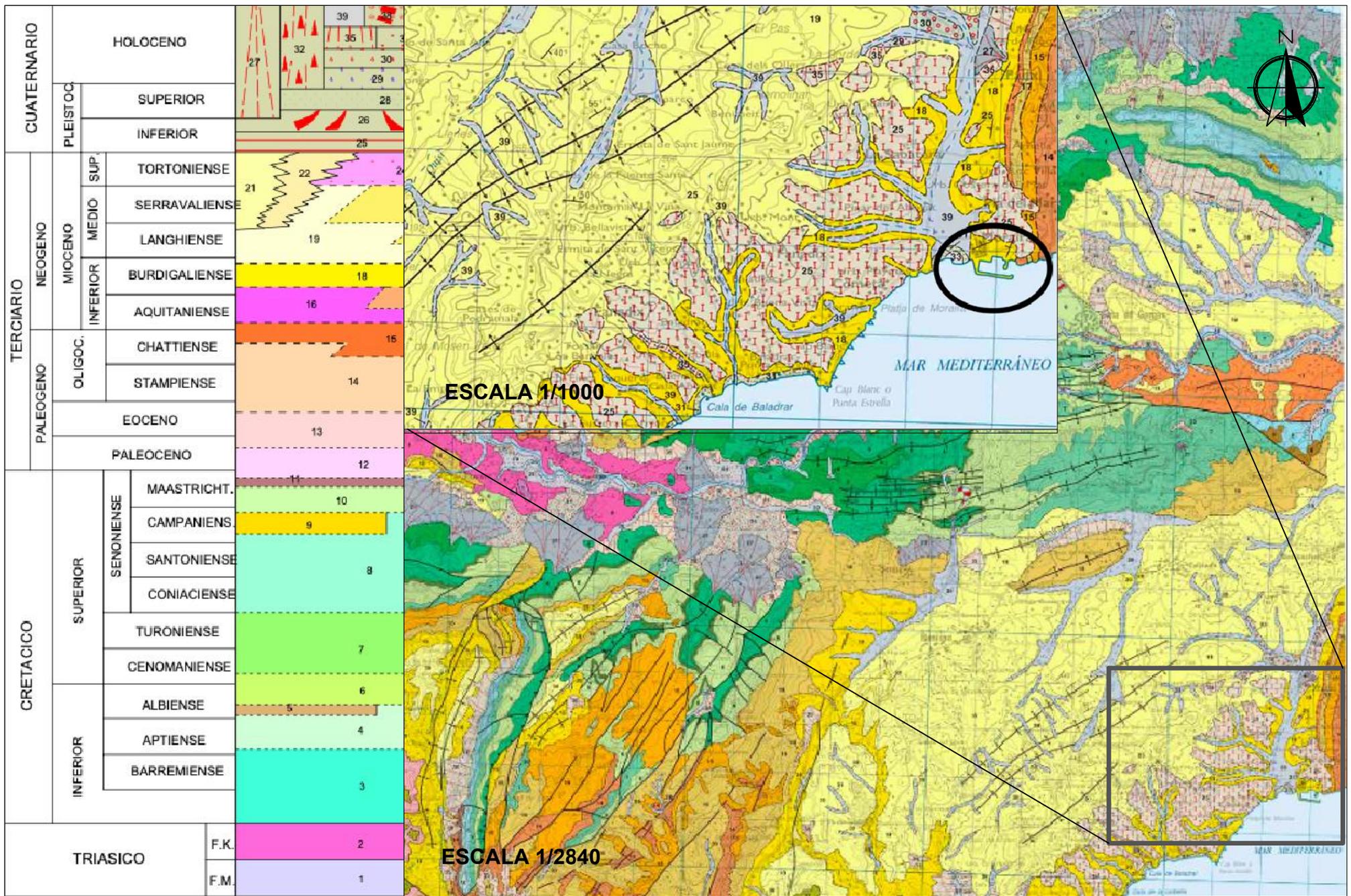
AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS	UNIDADES: METROS	FECHA: 29/05/2023	Nº PLANO: 1	ESCALA: VARIAS	FIRMA: 	
PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)			PLANO: LOCALIZACIÓN GRADO EN INGENIERÍA CIVIL			



AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS	UNIDADES: METROS	FECHA: 29/05/2023	Nº PLANO: 2	ESCALA: VARIAS	FIRMA: 	
PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)			PLANO: BATIMETRÍA REGIONAL GRADO EN INGENIERÍA CIVIL			



AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS	UNIDADES: METROS	FECHA: 29/05/2023	Nº PLANO: 3	ESCALA: VARIAS	FIRMA: 	
PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)			PLANO: BATIMETRÍA A PIE DE DIQUE GRADO EN INGENIERÍA CIVIL			



ESCALA 1/1000

ESCALA 1/2840

AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS

UNIDADES: METROS

FECHA: 29/05/2023

Nº PLANO: 4

ESCALA: VARIAS

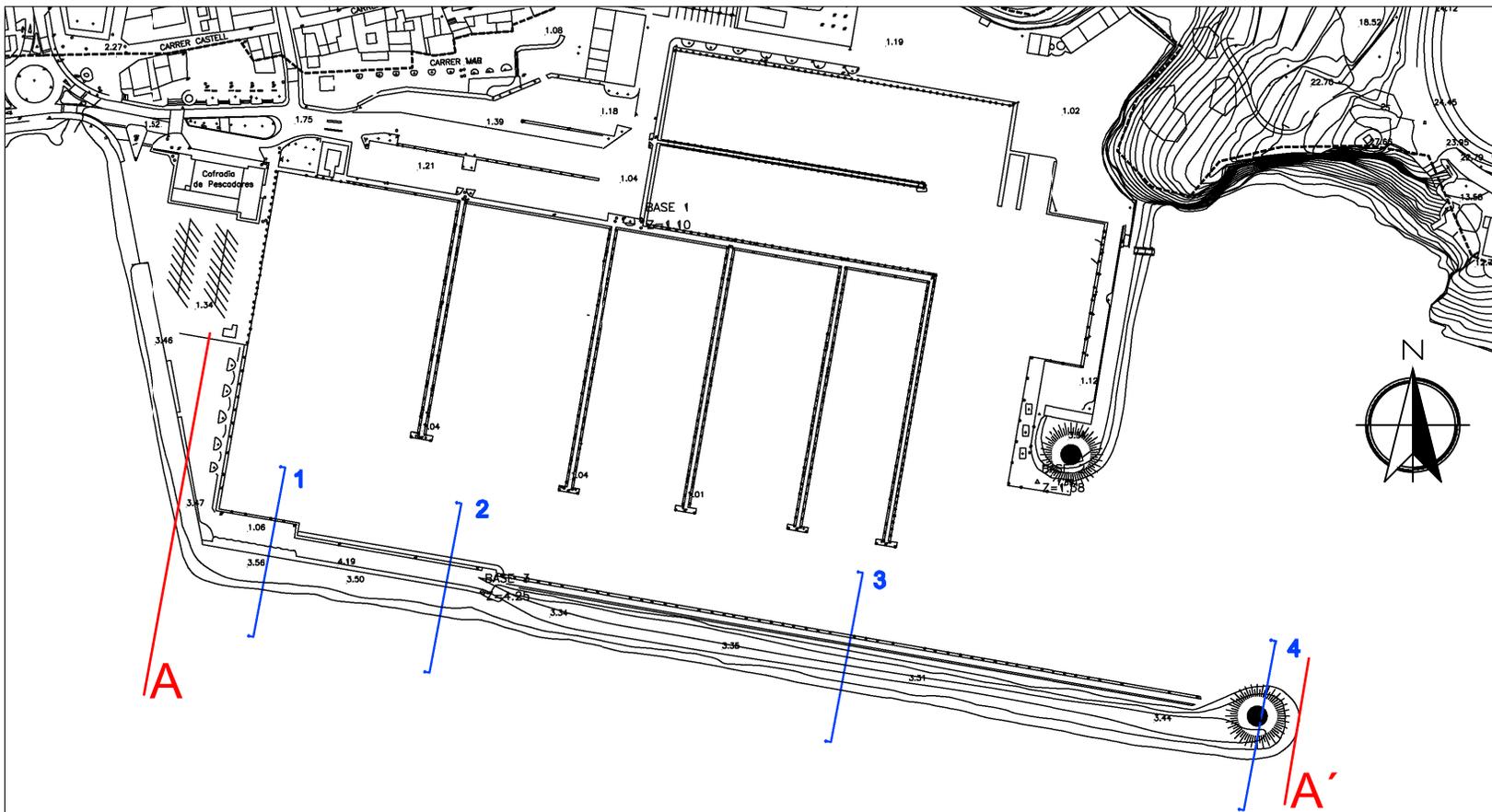
FIRMA:



PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)

PLANO: GEOLOGÍA DE LA ZONA

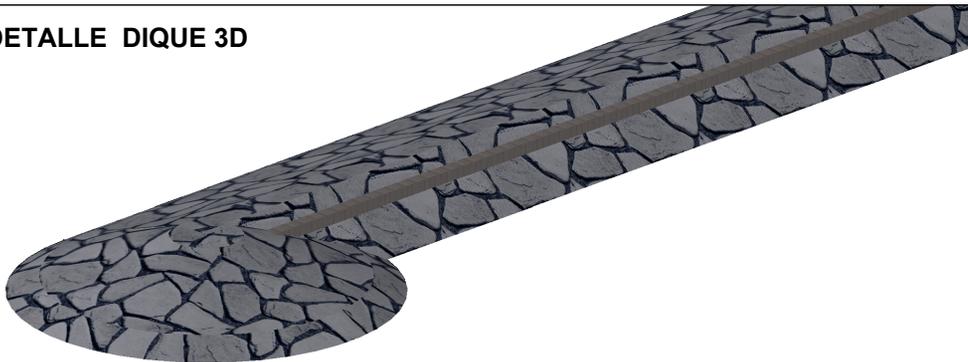
GRADO EN INGENIERÍA CIVIL



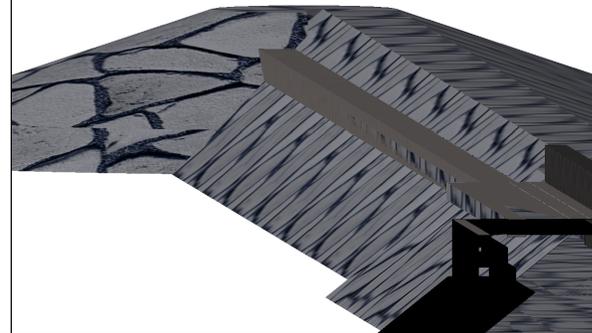
DETALLE VISTA AÉREA



DETALLE DIQUE 3D



DETALLE DIQUE 3D



AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS

UNIDADES:
METROS

FECHA:
29/05/2023

Nº PLANO:
5

ESCALA:
1/250

FIRMA:



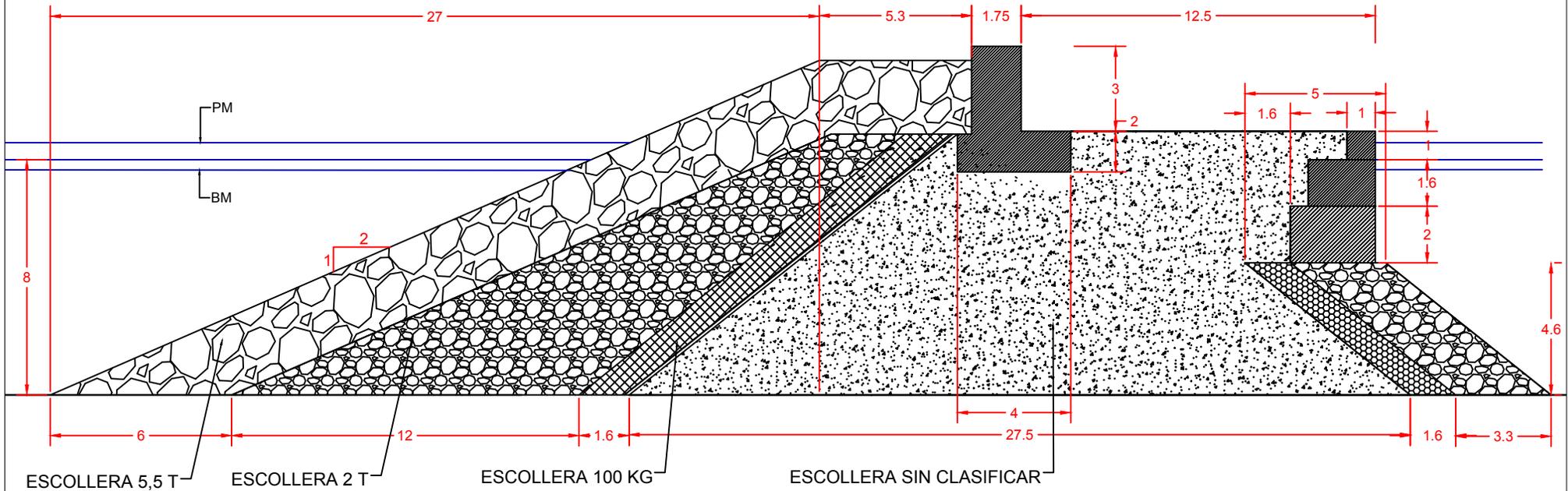
PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)

PLANO: DIQUE ACTUAL

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

VISTA LONGITUDINAL DEL DIQUE

SECCIÓN TRAMO 2.A
30 METROS

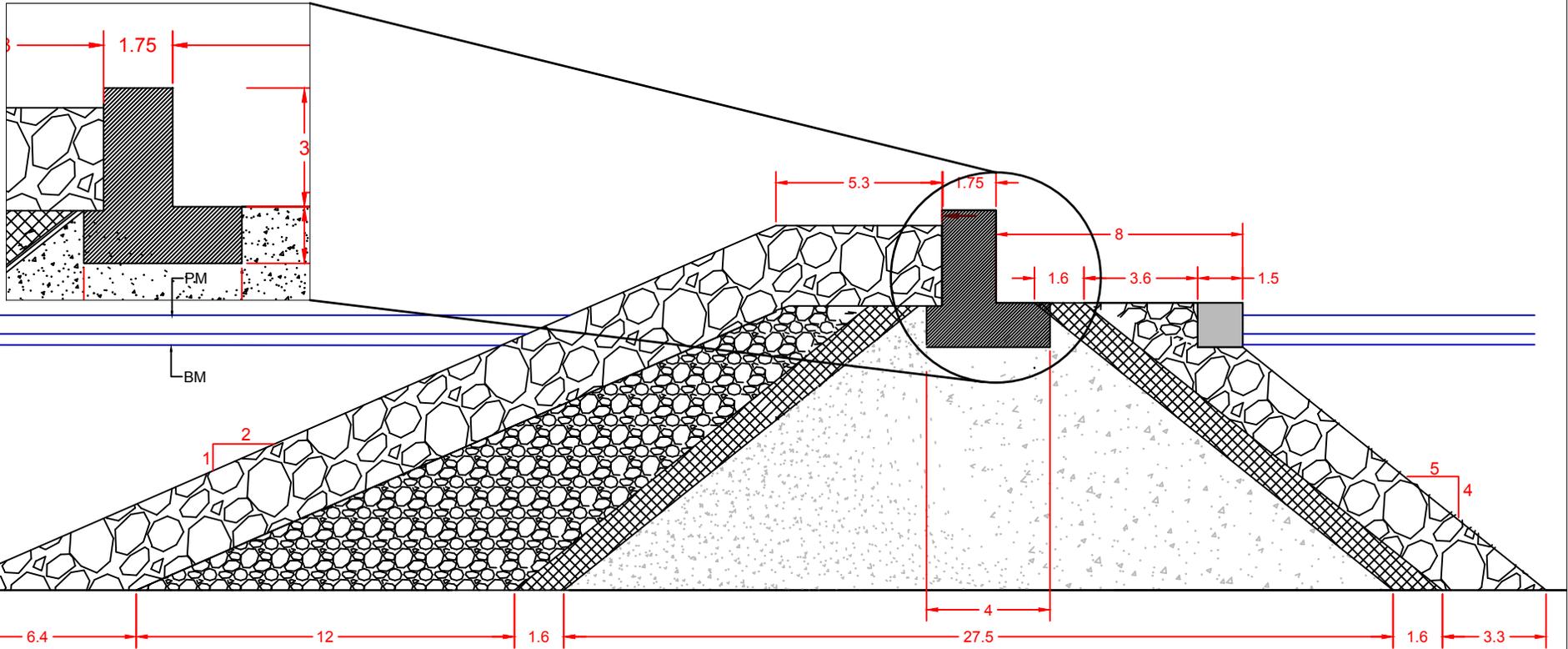


<p>AUTOR:PABLO BALLESTER MONTESINOS</p>	<p>UNIDADES: METROS</p>	<p>FECHA: 29/05/2023</p>	<p>Nº PLANO: 6</p>	<p>ESCALA: 1/250</p>	<p>FIRMA:</p> 	
<p>PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIIRA (I EULADA, ALICANTE)</p>			<p>PLANO: SECCIÓN ACTUAL TRAMO 2.A</p> <p>GRADO EN INGENIERÍA CIVIL</p>			

VISTA LONGITUDINAL DEL DIQUE

SECCIÓN TRAMO 2.B

72 METROS



AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS

UNIDADES:
METROS

FECHA:
29/05/2023

Nº PLANO:
7

ESCALA:
1/250

FIRMA:



PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)

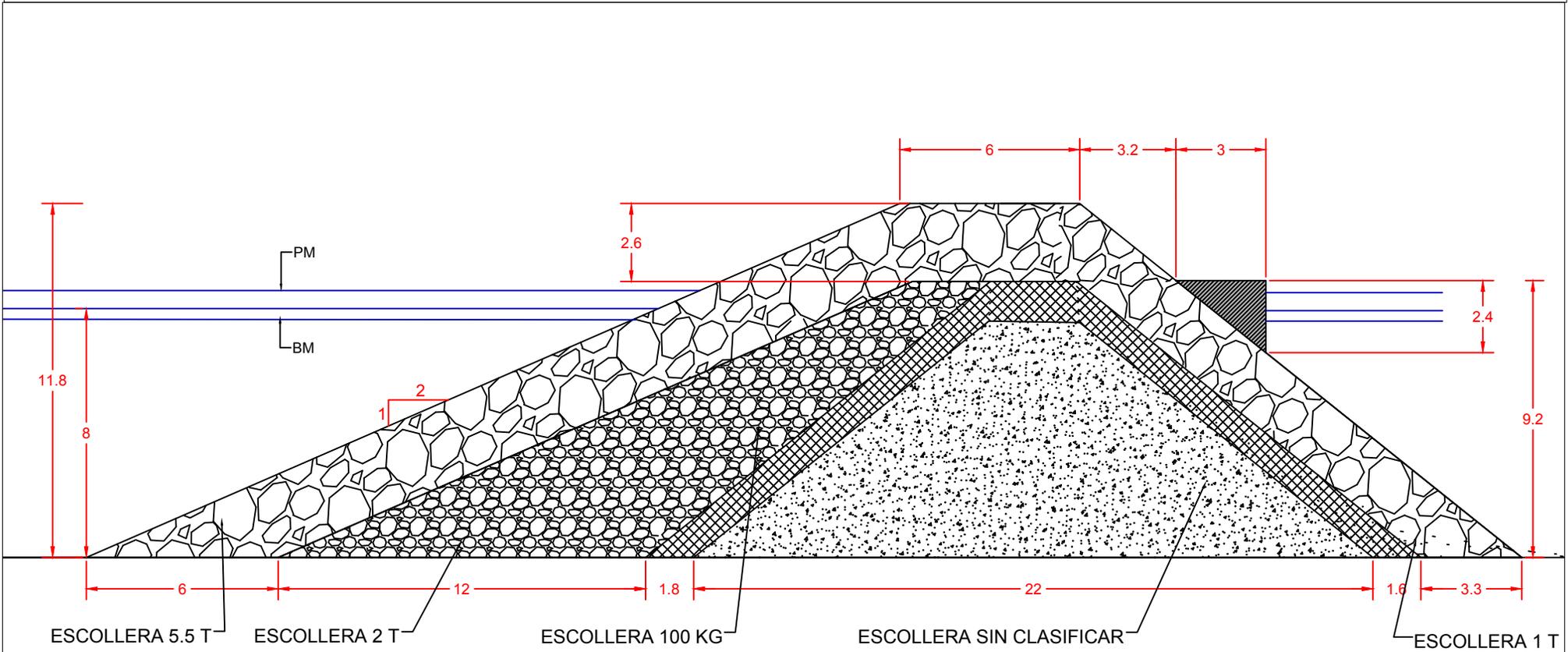
PLANO: SECCIÓN ACTUAL TRAMO 2.B

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

VISTA LONGITUDINAL DEL DIQUE

SECCIÓN TRAMO 3

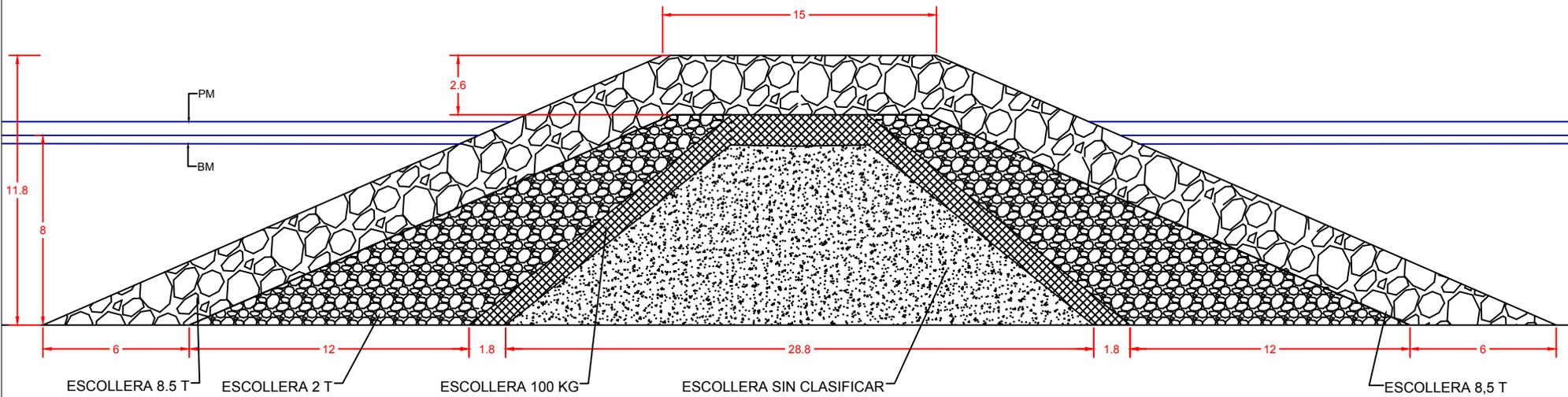
285 METROS



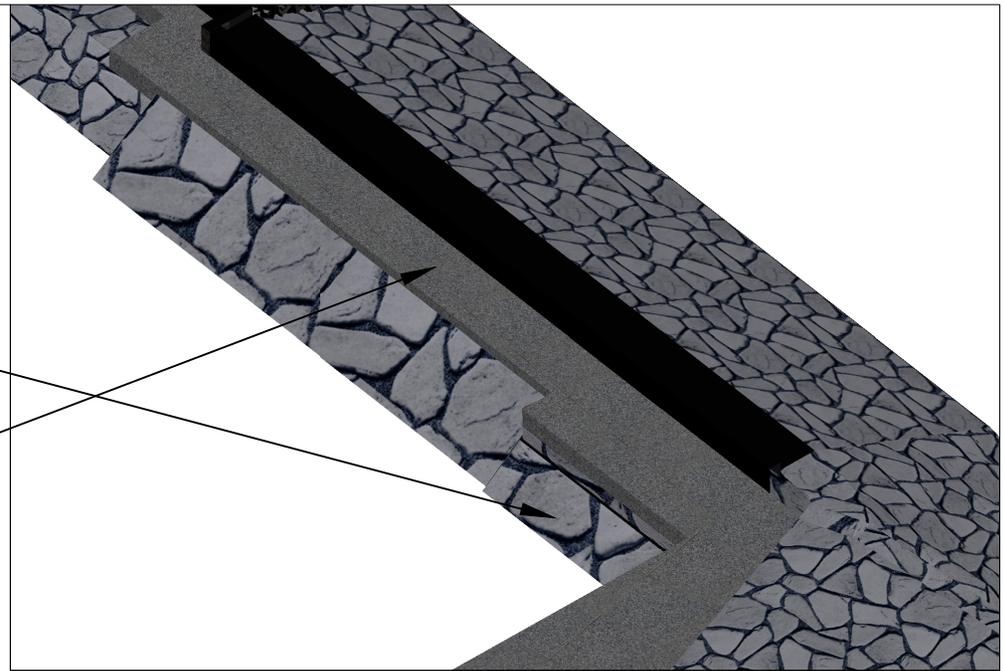
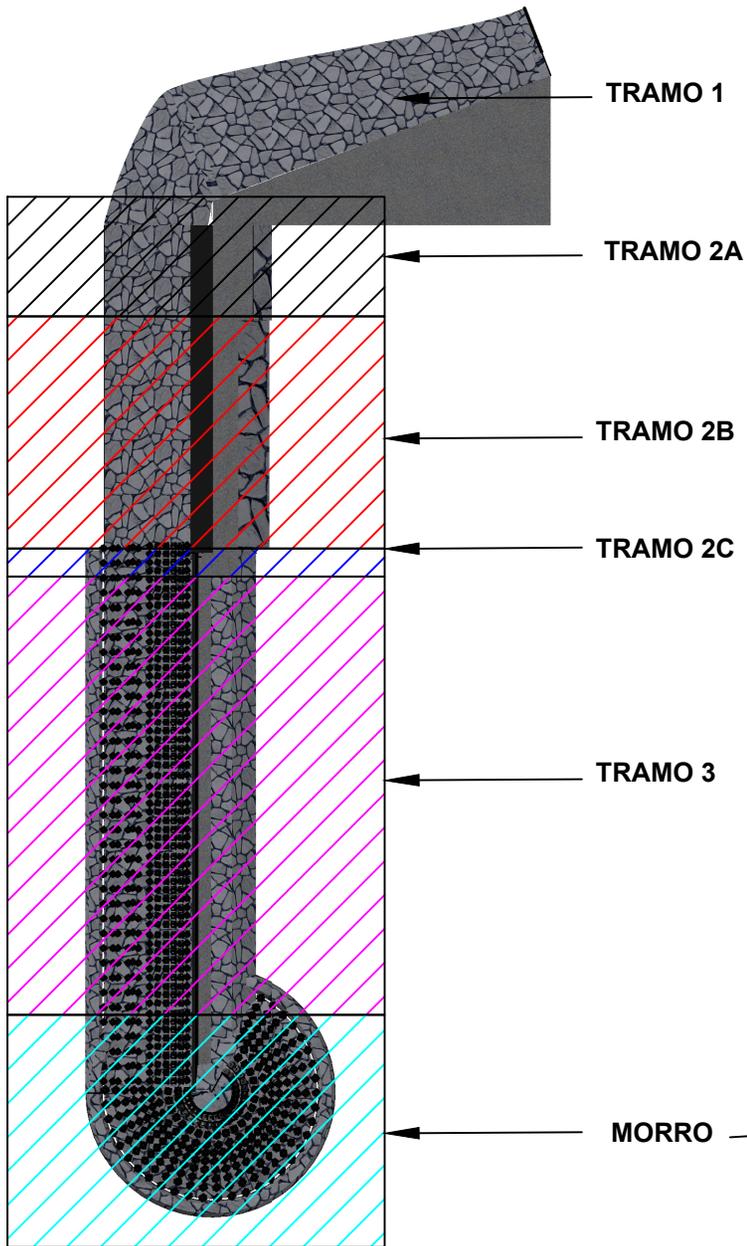
<p>AUTOR:PABLO BALLESTER MONTESINOS</p>	<p>UNIDADES: METROS</p>	<p>FECHA: 29/05/2023</p>	<p>Nº PLANO: 8</p>	<p>ESCALA: 1/250</p>	<p>FIRMA:</p> 	
<p>PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (I EULADA, ALICANTE)</p>			<p>PLANO: SECCIÓN ACTUAL TRAMO 3</p> <p>GRADO EN INGENIERÍA CIVIL</p>			

VISTA LONGITUDINAL DEL DIQUE

SECCIÓN MORRO
R=39 METROS



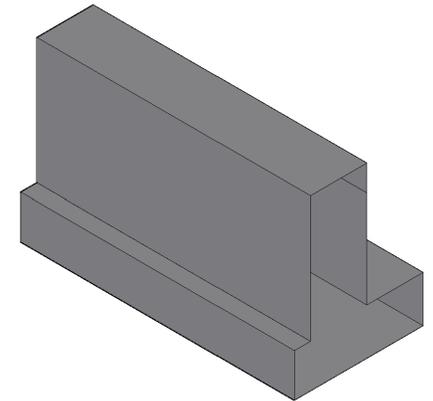
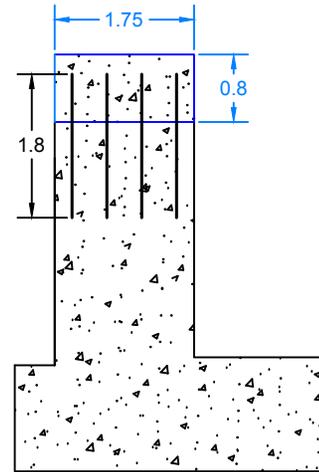
<p>AUTOR:PABLO BALLESTER MONTESINOS</p>	<p>UNIDADES: METROS</p>	<p>FECHA: 29/05/2023</p>	<p>Nº PLANO: 9</p>	<p>ESCALA: 1/250</p>	<p>FIRMA:</p> 	
<p>PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (I EULADA, ALICANTE)</p>			<p>PLANO: SECCIÓN ACTUAL MORRO</p> <p>GRADO EN INGENIERÍA CIVIL</p>			



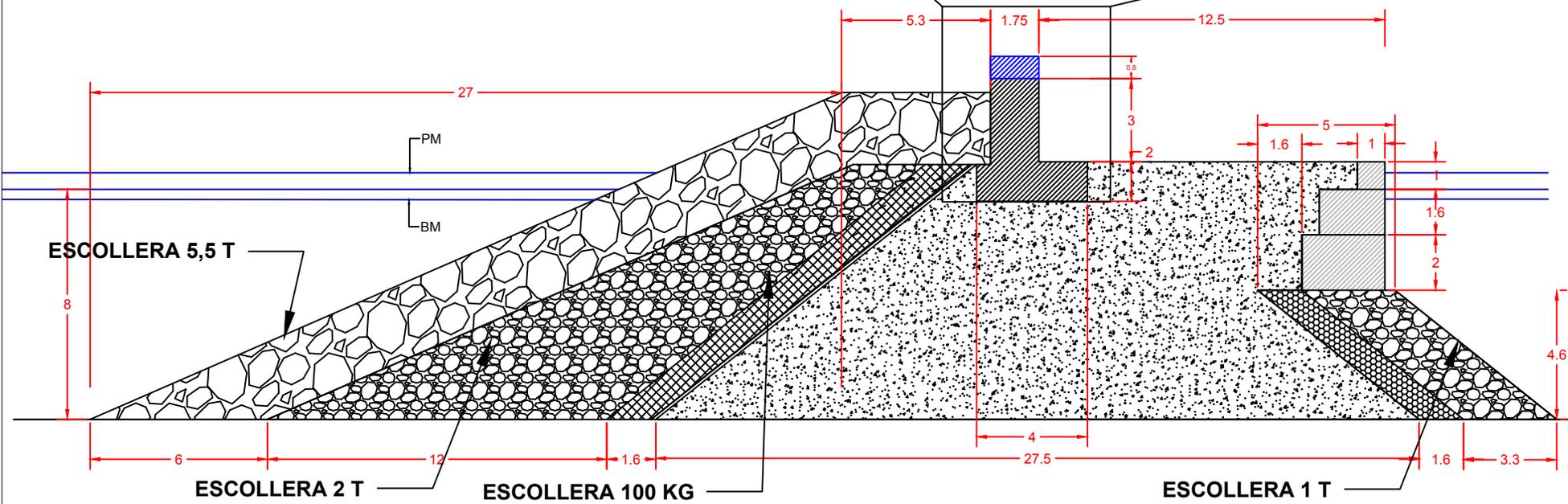
AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS	UNIDADES: METROS	FECHA: 29/05/2023	Nº PLANO: 10	ESCALA: VARIAS	FIRMA: 		
PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (1EULADA, ALICANTE)			PLANO: PROPUESTA DIQUE				
			GRADO EN INGENIERÍA CIVIL				

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS MODIFICACIÓN ESPALDÓN

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
HORMIGÓN (aumento espaldón)	1,8	1,8
	DIÁMETRO [mm]	CANTIDAD
ACERO CORRUGADO B500S	20	60



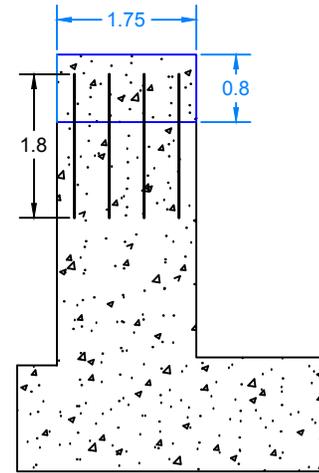
SECCIÓN TRAMO 2A



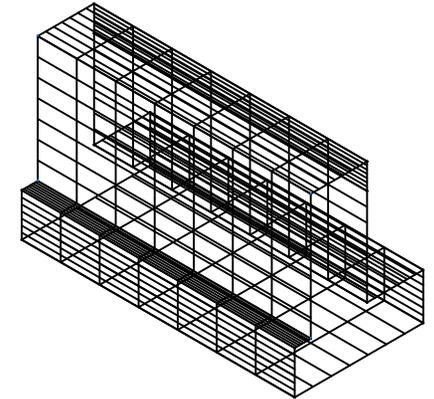
<p>AUTOR:PABLO BALLESTER MONTESINOS</p>	<p>UNIDADES: METROS</p>	<p>FECHA: 29/05/2023</p>	<p>Nº PLANO: 11</p>	<p>ESCALA: 1/210</p>	<p>FIRMA:</p> 	
<p>PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)</p>			<p>PLANO: PROPUESTA TRAMO 2.A</p> <p>GRADO EN INGENIERÍA CIVIL</p>			

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS MODIFICACIÓN ESPALDÓN

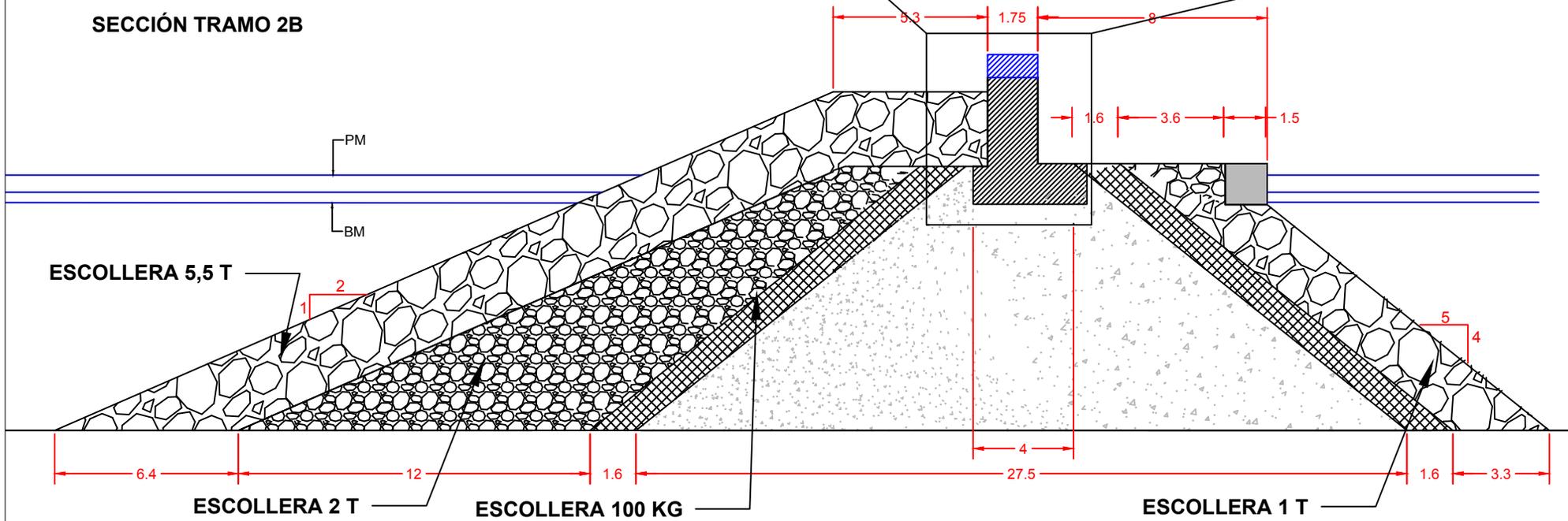
MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
HORMIGÓN (aumento espaldón)	1,8	129,6
	DIÁMETRO [mm]	CANTIDAD
ACERO CORRUGADO B500S	20	348



DETALLE 3D



SECCIÓN TRAMO 2B



AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS

UNIDADES:
METROS

FECHA:
29/05/2023

Nº PLANO:
12

ESCALA:
1/210

FIRMA:



PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)

PLANO: PROPUESTA TRAMO 2.B

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS ESPALDÓN

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
HORMIGÓN EN MASA	25	125

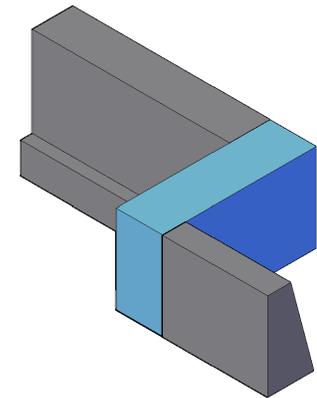
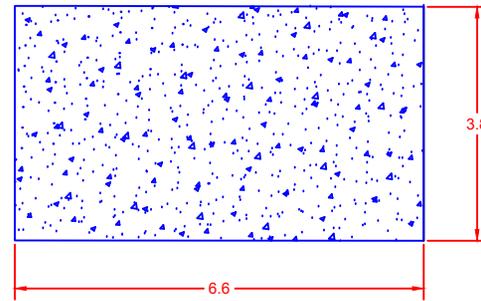
CUADRO DE CARACTERÍSTICAS BERMA DE PIE

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
ESCOLLERA 3 t	4	20

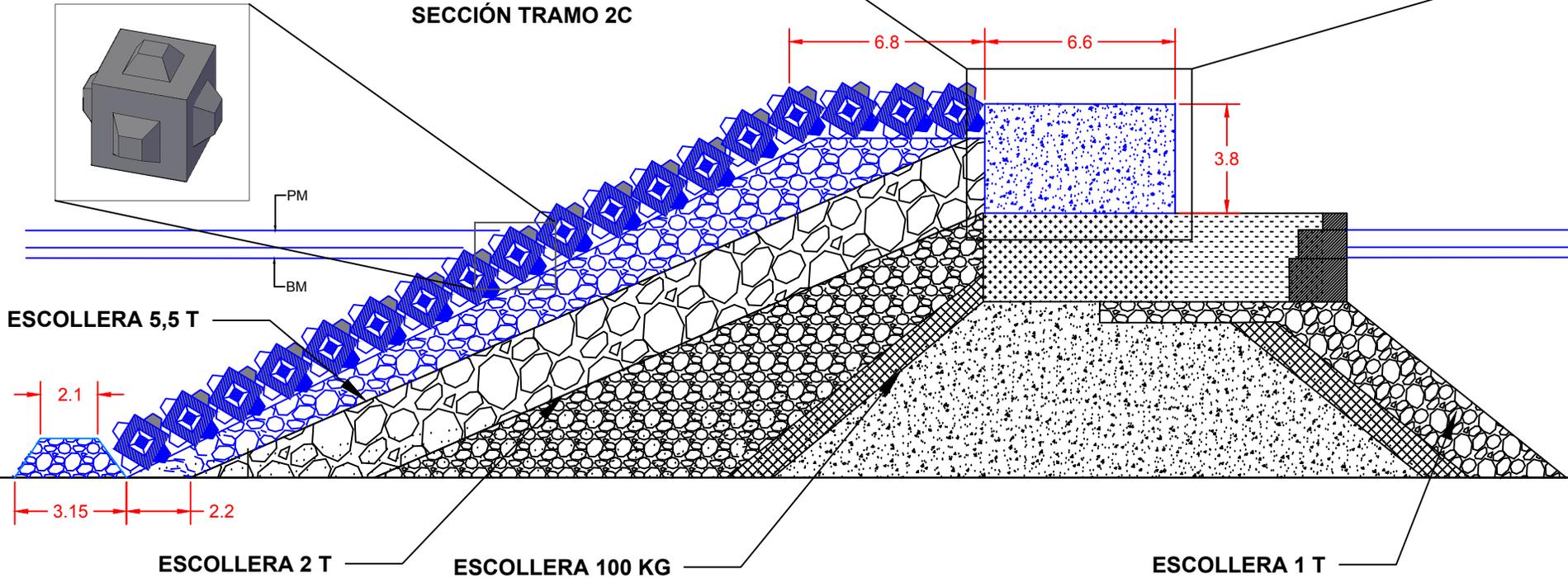
CUADRO DE CARACTERÍSTICAS MANTO

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
ESCOLLERA (Relleno manto)	44,5	222,5
HORMIGÓN (Cubipodo)	33,9	169,5

DETALLE 3D



SECCIÓN TRAMO 2C



AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS

UNIDADES:
METROS

FECHA:
29/05/2023

Nº PLANO:
13

ESCALA:
1/210

FIRMA:



PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)

PLANO: PROPUESTA TRAMO 2.C

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS ESPALDÓN

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
HORMIGÓN EN MASA	7,9	1.650

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS BERMA DE PIE

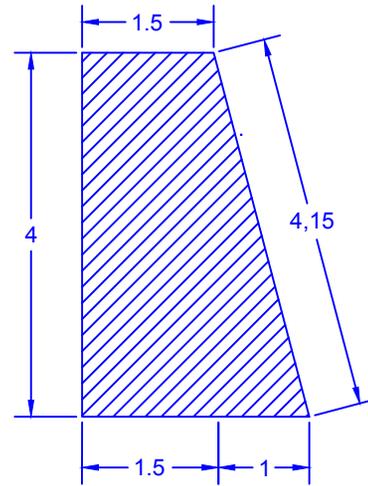
MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
ESCOLLERA 3 t	4	1.140

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS MANTO

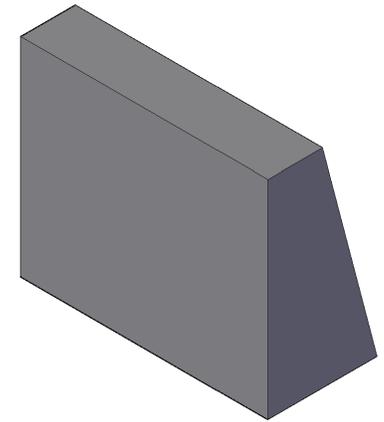
MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
ESCOLLERA (Relleno manto)	44,5	12.682,5
HORMIGÓN (Cubípodo)	33,9	6.373

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS AMARREA

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
HORMIGÓN (Bloques)	5,1	1.428
TODO UNO	13,4	3.858,9



DETALLE 3D



SECCIÓN TRAMO 3

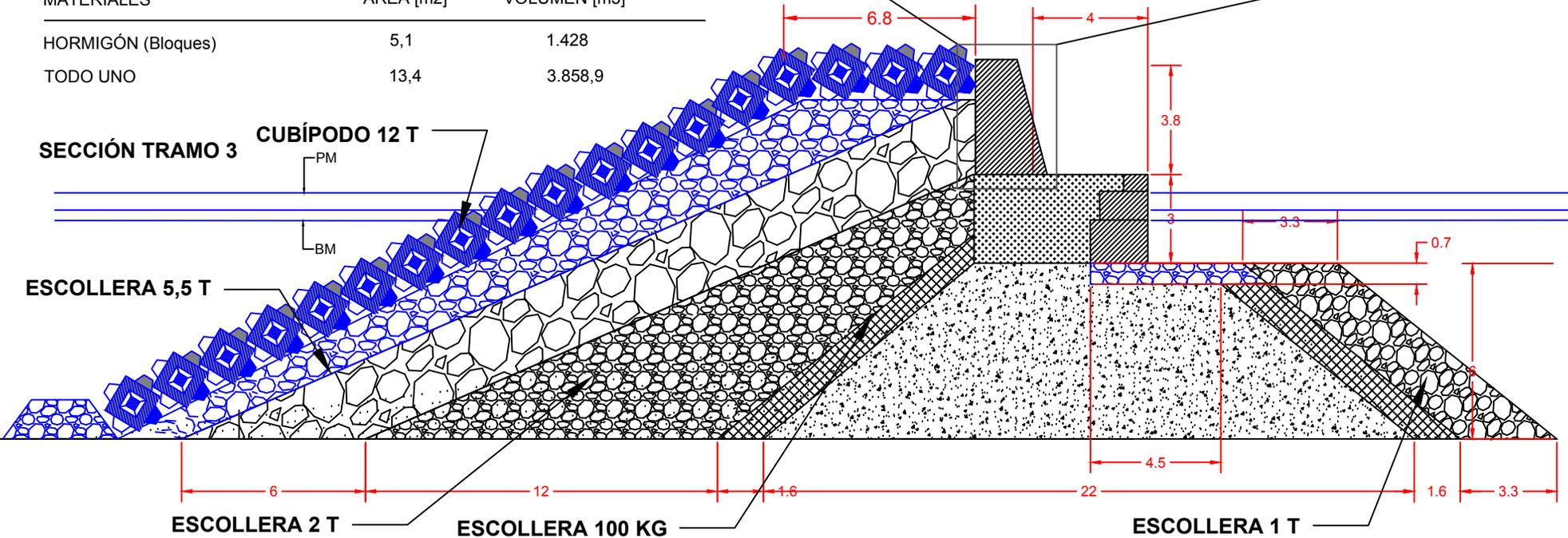
CUBÍPODO 12 T

ESCOLLERA 5,5 T

ESCOLLERA 2 T

ESCOLLERA 100 KG

ESCOLLERA 1 T



AUTOR: PABLO BALLESTER MONTESINOS

UNIDADES:
METROS

FECHA:
29/05/2023

Nº PLANO:
14

ESCALA:
1/210

FIRMA:



PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)

PLANO: PROPUESTA TRAMO 3

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS ESPALDÓN

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
HORMIGÓN EN MASA	7,9	2.251,5

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS BERMA DE PIE

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
ESCOLLERA 3 t	4	305

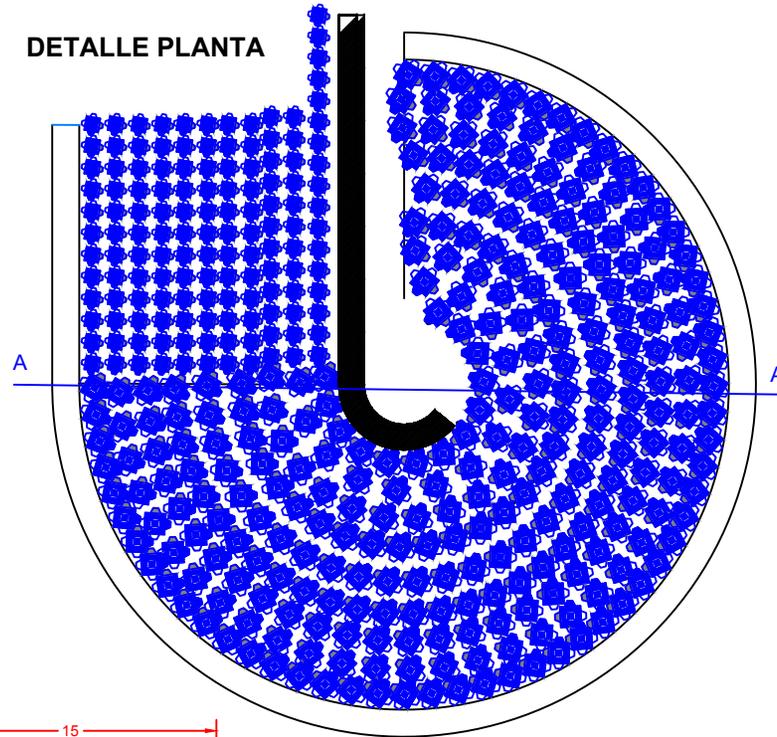
CUADRO DE CARACTERÍSTICAS MANTO

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
ESCOLLERA (Relleno manto)	44,5	3.382
HORMIGÓN (Cubípedo)	52	3.969

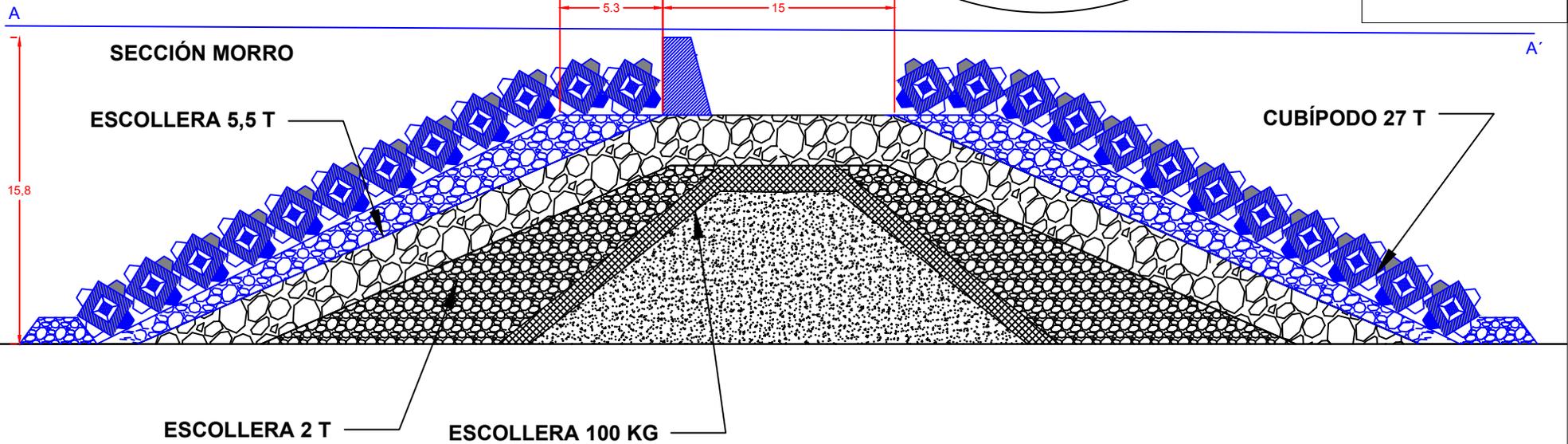
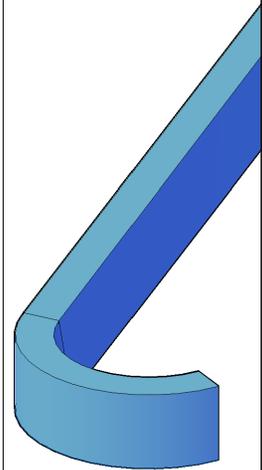
CUADRO DE CARACTERÍSTICAS AMARRE

MATERIALES	AREA [m2]	VOLUMEN [m3]
HORMIGÓN (Bloques)	5,1	3.969

DETALLE PLANTA



DETALLE ESPALDÓN 3D



AUTOR:PABLO BALLESTER MONTESINOS

UNIDADES:
METROS

FECHA:
29/05/2023

Nº PLANO:
15

ESCALA:
1/240

FIRMA:



PROYECTO: ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL DIQUE DE ABRIGO DEL PUERTO DEPORTIVO DE MORAIRA (TEULADA, ALICANTE)

PLANO: PROPUESTA MORRO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

REFERENCIAS

- ROM 1.0-09. (2009). ROM 1.0-09 Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo. (Parte 1a: Bases y factores para el proyecto. Agentes climáticos). Puertos del Estado. Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- ROM 1.0.5-05. (2005). ROM 1.0.5-05 Recomendaciones geotécnicas para Obras marítimas y Portuarias. Puertos del Estado. Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- Molines, J. (2010). Estabilidad de los espaldones de diques en talud con mantos de cubos y Cubípodos. Asociación Técnica de Puertos y Costas, Madrid 24/07/2010.
- CIRIA (2007). The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition). Londres.
- Molines, J.; Medina, JR. (2016). Explicit wave overtopping formula for mound breakwaters with crown walls using CLASH neural network-derived data. Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering.
- Molines, J.; Herrera Gamboa, MP.; Medina, JR. (2018). Estimations of wave forces on crown walls based on wave overtopping rates. Coastal Engineering.
- NCSE-02 (2002). Norma de Construcción Sismorresistente. Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- EUROTOP (2008). Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual
- EUROTOP (2018). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures
- MEDINA, J. R y GÓMEZ-MARTÍN, M.E., (2015) Manual del Cubípedo® 2015. Valencia: Universitat Politècnica de València
- Medina, J.R., Gómez-Martín, M.E., Corredor, A. 2010. Influence of armor unit placement on armor porosity and hydraulic stability. Proc. 32nd ICCE, ASCE, Paper No. 255 (in press).
- Ng, C. W. W., C. E. Choi, S. R. Goodwin, y W. W. Cheung. 2017. "Interaction between Dry Granular Flow and Deflectors".
- España, Instituto Geológico y. Minero de. s/f. "IGME". Igme.es. Consultado el 2 de septiembre de 2023. <https://www.igme.es/>.
- De Esteban Chapapría, V. (2021). Apuntes de la asignatura: Obras Marítimas. Universidad Politécnica de Valencia.

Estudio de soluciones para la adaptación al cambio climático del dique de abrigo del Puerto deportivo de Moraira (Teulada, Alicante)

Alicante, Cámara de Comercio de. s/f. "Alicante en Cifras". Anuario estadístico de la provincia de Alicante. Consultado el 4 de marzo de 2023. <https://www.alicanteencifras.com/m01-geograficos.htm>.

"Base de datos meteorológicos". Datosclima.es. Consultado el 26 de febrero de 2023. <https://datosclima.es/Aemethistorico/Prestad.php>.

"Cambio Climático en el Mediterráneo español". s/f. IEO.es. Consultado el 18 de febrero de 2023. <https://www.ieo.es/documents/10640/31690/Temas+de+Oceanograf%C3%ADa+01+.pdf/1253ed3d-e4af-4d01-bf09-c704ccbeeca9>.

Navionics. (2022) Chart viewer . Recuperado el 4 de mayo de 2023 de <https://webapp.navionics.com/?lang=fr#boating/search@10&key=sw%60mFnjS>

Cress.nl. (s.f). Wind waves and swell. Recuperado el 10 de Mayo 2023 de <http://www.cress.nl/Regel.aspx>

"Club Náutico Moraira". s/f. Cnmoraira.com. Consultado el 13 de marzo de 2023. <http://cnmoraira.com/el-club-nautico-moraira/>.

"Datos de las olas del mar". s/f. EHU.es. Consultado el 22 de marzo de 2023. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/olas/ola.html>.

"Información General - Puertos - Generalitat Valenciana". s/f. Puertos. Consultado el 2 de febrero de 2023. <https://politicaterritorial.gva.es/es/web/puertos/puertos-cv/puertos-gv/moraira/informacion-general>.

"RRP.6 Futuros Cambios Climáticos - CIE WGI Resumen para responsables de políticas". s/f. IPCC.ch. Consultado el 1 de mayo de 2023. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/spmssp6-6.html.

"IPCC AR6-WGI Atlas". s/f. IPCC.Ch. Consultado el 4 de mayo de 2023. <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>.