



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Estudio de soluciones para el diseño y construcción del  
nuevo contradique del Puerto de Gandía (València).

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Morant Alegre, Pascual

Tutor/a: Molines Llodrá, Jorge

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

---

ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA EL DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO CONTRADIQUE DE GANDÍA  
(VALÈNCIA).

---

*Presentado por*

Morant Alegre, Pascual

---

*Para la obtención del*

Grado en Ingeniería Civil

*Curso: 2023/2024*

*Fecha: 5 de septiembre de 2024*

*Tutor: Molines Llodrá, Jorge*



## **Índice**

### **DOCUMENTO Nº1: MEMORIA**

ANEJO 1: DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA

ANEJO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

ANEJO 3: TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

ANEJO 4: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

ANEJO 5: CLIMA MARÍTIMO

ANEJO 6: ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

ANEJO 7: ESTUDIO DE SOLUCIONES DE LAS OBRAS DE ABRIGO

ANEJO 8: DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

ANEJO 9: ALTERNATIVA ELEGIDA

ANEJO 10: PROCESO CONSTRUCTIVO

ANEJO 11: VALORACIÓN ECONÓMICA

ANEJO 12: PROGRAMA DE TRABAJOS

ANEJO 13: ODS (OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE)

### **DOCUMENTO Nº2: PLANOS**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# DOCUMENTO Nº1: MEMORIA



## Índice de la Memoria

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETO DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL.....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS .....</b>	<b>8</b>
	4.1. TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA .....	8
	4.2. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA.....	8
	4.3. CLIMA MARÍTIMO.....	9
	4.4. CAMBIO CLIMÁTICO .....	10
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE SOLUCIONES.....</b>	<b>11</b>
	5.1. TIPOLOGÍA DEL CONTRADIQUE .....	11
	5.2. POSIBLES PIEZAS DEL MANTO PRINCIPAL .....	11
	5.3. CÁLCULO PREVIO DE LOS ELEMENTOS DEL MANTO PRINCIPAL .....	12
<b>6.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE ABRIGO .....</b>	<b>15</b>
	6.1. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL .....	15
	6.2. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO.....	15
	6.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE.....	15
	6.4. CÁLCULO DEL ESPALDÓN .....	16
<b>7.</b>	<b>SOLUCIÓN ADOPTADA .....</b>	<b>17</b>
	7.1. SOLUCIÓN FINAL.....	17
	7.2. ESQUEMAS DE LA SOLUCIÓN FINAL.....	20
<b>8.</b>	<b>PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>21</b>
	8.1. GESTIÓN DE RESIDUOS .....	21
	8.2. MATERIAL PRINCIPAL DEL CONTRADIQUE .....	21
	8.2.1. ESCOLLERA .....	21

8.2.2. CUBÍPODOS .....	22
8.2.2.1. FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN Y DE LOS BLOQUE .....	22
8.2.2.2. ACOPIO Y TRANSPORTE DE LOS BLOQUES.....	23
<b>8.3. EJECUCIÓN DEL NUEVO CONTRADIQUE .....</b>	<b>23</b>
8.3.1. COLOCACIÓN DE LA BARRERA DE CONTENCIÓN .....	23
8.3.2. COLOCACIÓN DE LA BERMA DE PIE E INSTALACIÓN DEL NÚCLEO.....	23
8.3.3. DISPOSICIÓN DE LA ESCOLLERA PARA EL FILTRO .....	24
8.3.4. CONSTRUCCIÓN DEL MANTO PRINCIPAL.....	24
8.3.5. EJECUCIÓN DEL ESPALDÓN .....	24
<b>9. VALORACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>24</b>
<b>10. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>25</b>

## Índice de Imágenes

Imagen 1. Localización del puerto respecto a la ciudad (Fuente: Google Earth). .....	6
Imagen 2. Situación actual del Puerto de Gandía (Fuente: Google Earth). .....	7
Imagen 3. Batimetría actual del Puerto de Gandía (Fuente: Google Earth). .....	8
Imagen 4. Mapa geológico del puerto de Gandía y alrededores (Fuente: IGME). .....	9
Imagen 5. Cambio del nivel del mar global en relación con 1900 (Fuente: IPCC). .....	10
Imagen 6. Estructura dique en talud (Fuente: Asignatura Obras Marítimas). .....	11
Imagen 7. Ubicación de cada tramo en el nuevo contradique del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración Propia). ..	14
Imagen 8. Esquema de las dimensiones relacionadas con el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016). .....	19
Imagen 9. Esquema de las dimensiones del espaldón (Fuente: Elaboración propia). .....	19
Imagen 10. Esquema de las secciones del nuevo contradique para cada tramo (Fuente: Elaboración propia). .....	20
Imagen 11. Esquema de las dimensiones del cubípodo (Fuente: Elaboración propia) .....	22

## Índice de Tablas

Tabla 1. Situación del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración Propia). .....	6
Tabla 2. Cálculo de los elementos del manto principal (Fuente: Elaboración propia). .....	13
Tabla 3. Profundidad a pie de dique, altura de ola significativa y longitud de cada uno de los tramos (Fuente: Elaboración propia). .....	14
Tabla 4. Peso y espesor del manto principal de la solución final (Fuente: Elaboración propia). .....	18
Tabla 5. Peso y espesor del filtro de la solución final (Fuente: Elaboración propia). .....	18
Tabla 6. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie de la solución final (Fuente: Elaboración propia). .....	18
Tabla 7. Dimensiones relacionadas con el espaldón de la solución final (Fuente: Elaboración propia). .....	19
Tabla 8. Características principales del cubípedo seleccionado (Fuente: Elaboración propia). .....	22



## 1. INTRODUCCIÓN

En ese proyecto se muestra el desarrollo del Trabajo final de Grado realizado por el alumno Pascual Morant Alegre, en la Universidad Politécnica de Valencia, con título "Estudio de soluciones para el diseño y construcción del nuevo contradique de Gandía (Valencia)", el cual consta de dos documentos principales:

- Documento nº1. Memoria y Anejos.
- Documento nº2. Planos.

Esta memoria trata de resumir las acciones más destacables que se llevarán a cabo. Posteriormente, en los distintos anejos y planos, se desarrollarán todos los aspectos necesarios para realizar el estudio del diseño y posterior construcción del nuevo contradique.

## 2. OBJETO DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN

El objetivo principal de este estudio es la definición, optimización, justificación y valoración económica de una propuesta de ampliación de la obra de abrigo del Puerto de Gandía. La propuesta se plantea como lo vinculado a una zona más extensa que proteja a la marina portuaria de las anegaciones y condiciones marítimas adversas, favoreciendo la operatividad del puerto y reduciendo el riesgo.

La problemática principal para abordar consiste en la comparación específica y pormenorizada de las varias soluciones factibles acerca del diseño del manto del contrario del contradique. Los distintos tipos de piezas serán considerados con respecto a la forma, el tamaño, el peso y el material de construcción. Así, desde la energía disipada por la ola, la estabilidad y la longevidad de la solución será determinado.

El estudio no solo se limita a aspectos técnicos, sino que también incorpora un análisis económico detallado. Se considerarán los costos de fabricación, transporte e instalación de las diferentes piezas, así como los gastos de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la estructura. Este enfoque integral permitirá establecer una relación óptima entre el comportamiento técnico y el costo total de la obra.

El puerto está ubicado en la ciudad de Gandía, con la playa de Gandía al norte y el río Serpis al sur. La imagen siguiente muestra la posición del puerto en relación con la ciudad, mientras que la tabla presenta sus coordenadas y la carta náutica:

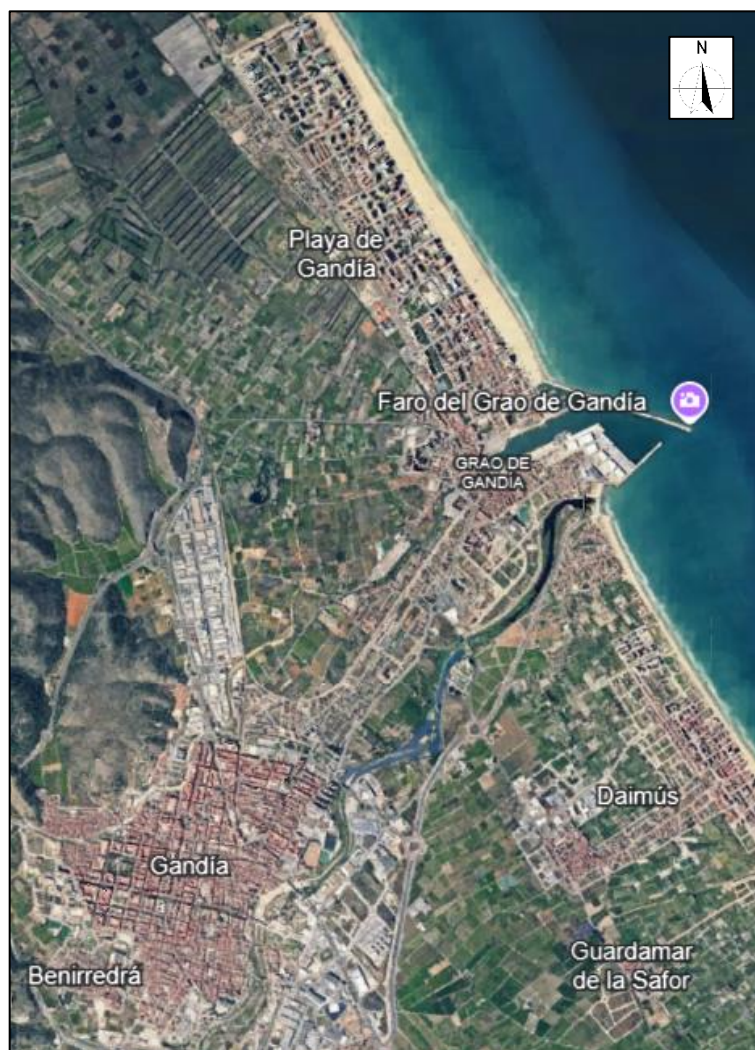


Imagen 1. Localización del puerto respecto a la ciudad (Fuente: Google Earth).

Situación del puerto	
Latitud	38º 55' 00" N
Longitud	00º 05' 00" W
Carta náutica	475

Tabla 1. Situación del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).

### 3. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

El puerto de Gandía, planificado por Rafael Yagüe en 1883, inició su construcción en 1886 y fue transferido a una compañía británica tres años después. Bajo esta gestión, se convirtió en el segundo puerto frutero de España. Tras la Segunda Guerra Mundial, el Estado español lo adquirió y declaró de interés general. En las décadas siguientes, el puerto experimentó diversas ampliaciones y diversificación de mercancías, pasando por diferentes administraciones hasta que en 1985 la Autoridad Portuaria de Valencia asumió su gestión, realizando mejoras significativas e impulsando el tráfico de diversos productos, incluyendo papel, madera y productos agrícolas locales.



*Imagen 2. Situación actual del Puerto de Gandía (Fuente: Google Earth).*

Actualmente, el puerto de Gandía está gestionado por la Autoridad Portuaria de Valencia y continúa desempeñando un papel relevante en la exportación de productos agrícolas locales como cítricos, frutas y hortalizas. Además, ha diversificado su tráfico de mercancías e implementando mejoras en las infraestructuras y adaptarlas a las necesidades actuales.

## 4. ESTUDIOS PREVIOS

### 4.1. TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

En el "Documento nº2: Planos" se presenta información detallada sobre la topografía y la batimetría del puerto de Gandía. Estos datos son esenciales para el desarrollo futuro del proyecto.

Se incluye una imagen de la batimetría del puerto de Gandía, aunque los planos ofrecerán una representación más detallada.



Imagen 3. Batimetría actual del Puerto de Gandía (Fuente: Google Earth).

### 4.2. GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA

La información geológica de la zona se encuentra en la Hoja 796 (31-33) Gandía, la cual fue redactada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). En esta hoja se detallan también mapas con la distinta geología que hay en la zona.

El Puerto de Gandía está situado en la zona noroeste del mapa perteneciente a la hoja que se va a analizar.

Los materiales geológicos presentes en el Puerto de Gandía y sus alrededores pertenecen al Holoceno y al Pleistoceno Superior, que a su vez forman parte del período Cuaternario. Los materiales del Cuaternario en esta zona son en su mayoría depósitos continentales que descienden desde los relieves circundantes en suave pendiente hacia el mar.



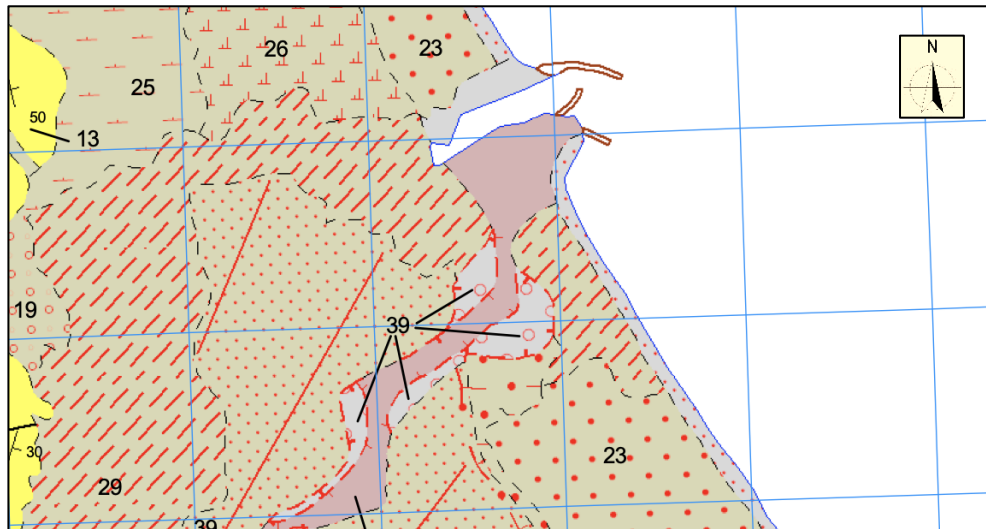


Imagen 4. Mapa geológico del puerto de Gandía y alrededores (Fuente: IGME).

Los materiales presentes en el Puerto de Gandía se componen principalmente de tres tipos de depósitos: aluviales, marinos y costeros. Los depósitos aluviales (33) consisten en gravas, arenas, limos y arcillas transportados por ríos y arroyos. Los depósitos marinos (32) incluyen sedimentos como limos, arcillas y arenas finas depositados por la acción del mar. Por último, las playas y el cordón litoral (35) están formados por acumulaciones de arena y conchas, resultado de la acción del oleaje y las corrientes marinas.

En el "Anejo nº4: Estudio geológico y geotécnico" se proporciona información detallada sobre las características geológicas y geotécnicas del área destinada a la construcción del nuevo contradique en el puerto de Gandía. Además, se incluyen los mapas utilizados para realizar estos estudios: la "Hoja 796 (31-33) Gandía" para el análisis geológico y la "Hoja 8-8/64 (Alcoy)" para el análisis geotécnico.

---

### 4.3. CLIMA MARÍTIMO

---

La caracterización del clima marítimo es crucial para entender el impacto del oleaje en las obras de protección. Por esta razón, en "Anejo nº5: Clima marítimo" se han analizado los datos de los regímenes extremal y medio, utilizando la ROM 0.3-91 y la información de la boya de Valencia, la más cercana al puerto en estudio, disponible en la página web oficial de Puertos del Estado; además de estudiar el régimen de vientos y la caracterización y propagación del oleaje en ambos regímenes.

Se destaca que el oleaje más frecuente proviene del noreste y es el que presenta la mayor altura de ola significativa. Para el régimen extremal, con una banda de confianza del 90% y un periodo de 225 años, se obtiene una altura de ola significativa de 11.73 metros. En el régimen medio, con una probabilidad de no excedencia del 99%, la altura de ola significativa es de 4.00 metros, con un periodo pico de 8.31 segundos.

Finalmente, se concluye que habrá rotura por fondo en todas las direcciones, con una altura de ola significativa uniforme de 4.57 metros.

#### 4.4. CAMBIO CLIMÁTICO

En el "Anejo nº6: Cambio climático" se discuten los posibles efectos del cambio climático en la costa, se analiza el fenómeno a nivel global y se explica qué es el IPCC, los diferentes escenarios que plantea y las soluciones propuestas para mitigar sus efectos.

En el estudio de soluciones, se consideran los cambios potenciales debido al cambio climático, incluyendo un posible aumento del nivel del mar, lo cual podría influir significativamente en el diseño de las estructuras.

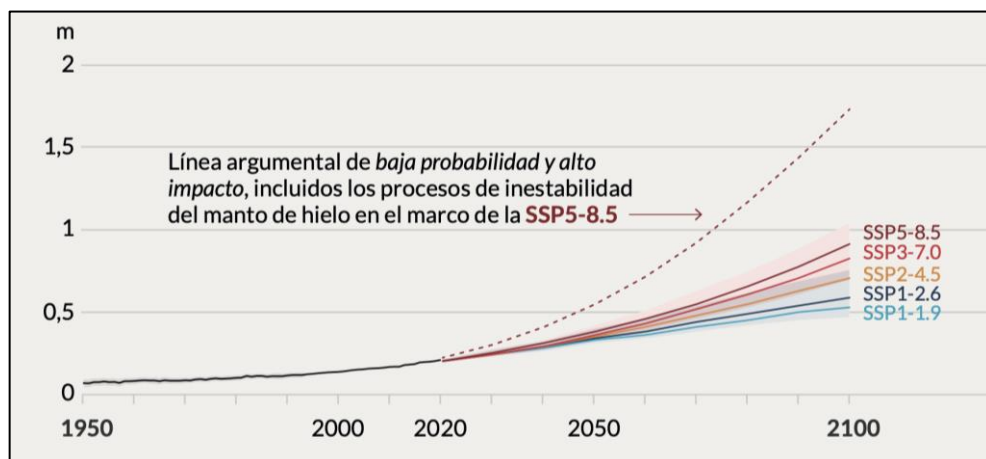


Imagen 5. Cambio del nivel del mar global en relación con 1900 (Fuente: IPCC).

El análisis del gráfico anterior revela que el escenario más desfavorable tiene una probabilidad de ocurrencia reducida. No obstante, debido a la considerable magnitud de su impacto, se incluirá en el estudio de soluciones la posibilidad de este aumento del nivel del mar. Este escenario, correspondiente al SSP5-8.5, proyecta un posible incremento del nivel del mar de 0.7 metros entre 2023 y 2100.

## 5. ESTUDIO DE SOLUCIONES

El estudio de soluciones se centra en seleccionar la tipología y estructura principal del nuevo contradique. Un contradique es una estructura secundaria que complementa al dique principal, diseñada para proteger contra el oleaje y prevenir inundaciones en zonas portuarias.

### 5.1. TIPOLOGÍA DEL CONTRADIQUE

Para elegir el tipo de contradique, fue necesario optar por una de las siguientes alternativas:

- Contradique vertical: consisten en una base de escollera que soporta una estructura de paredes verticales, generalmente construida con cajones de hormigón armado. En estos diques, el oleaje impacta y se refleja en las paredes, devolviendo la energía al mar en lugar de disiparla, lo que significa que operan mediante reflexión.
- Contradique en talud: son estructuras marítimas que protegen áreas específicas. Están formados por escolleras naturales o artificiales de distintos tamaños y a menudo incluyen respaldos de hormigón. Estos diques disipan la energía del oleaje al provocar su ruptura al impactar con la estructura.

Finalmente, para el nuevo contradique del puerto de Gandía, se opta por mantener la continuidad con un diseño en talud. En esta tipología, el manto principal es fundamental para resistir el impacto de las olas durante condiciones extremas, mientras que un núcleo de gran tamaño forma el cuerpo principal de la estructura.

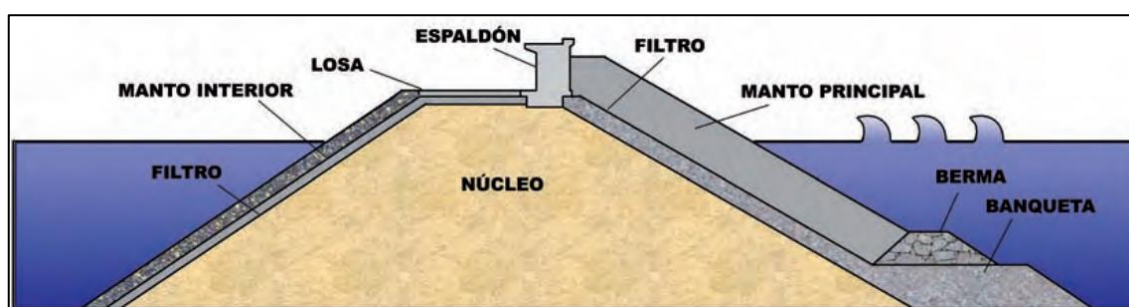


Imagen 6. Estructura dique en talud (Fuente: Asignatura Obras Marítimas).

### 5.2. POSIBLES PIEZAS DEL MANTO PRINCIPAL

Para el desarrollo del estudio de soluciones se decide estudiar las siguientes piezas para el manto principal:

1. Escollera: Material de cantera local con alta resistencia estructural, limitado por la capacidad de extracción.
2. Cubo de hormigón: Pieza cúbica sólida para mantos bicapa, con alta resistencia, pero bajo coeficiente de estabilidad hidráulica. Tiende al adoquinado durante temporales, aumentando daños y riesgo de rebasamientos. Fácil almacenamiento y manipulación.
3. Cubípodo: Bloque cúbico robusto con alta resistencia estructural. Se coloca aleatoriamente, mantiene porosidad uniforme y evita adoquinamiento. Permite construcción en una o dos capas, ofrece mayor fiabilidad y seguridad, y reduce caudales de rebase.
4. Core-Loc: Pieza premoldeada con estabilidad superior y menos movimientos post-colocación. Reduce el volumen de hormigón en 20-30% comparado con su predecesor. Tiene un coeficiente de estabilidad KD de 16, pero puede requerir más roca en la subcapa para ciertos tamaños.

Cada opción presenta ventajas y desafíos específicos. Es por eso por lo que se realizará un análisis exhaustivo de cada una de las tipologías, además de llevar a cabo un dimensionamiento del contradique en talud con cada una de las posibles opciones.

---

### 5.3. CÁLCULO PREVIO DE LOS ELEMENTOS DEL MANTO PRINCIPAL

---

En el "Anejo nº7: Estudio de soluciones de las obras de abrigo" se lleva a cabo un estudio preliminar de las diversas tipologías posibles para el contradique. Este análisis se centra en la sección más profunda de la estructura.

Para realizar este análisis se aplica la fórmula de Hudson en conjunto con los coeficientes de estabilidad especificados en el "Cubipod Manual 2016".

La fórmula de Hudson se expresa de la siguiente manera:

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

Donde:

- W: Peso medio de las piezas del manto principal (Tn)



- H: Altura de ola de diseño (m)
- $\gamma$ : Peso específico de los elementos del manto ( $Tn/m^3$ )
- $\gamma_w$ : Peso específico del agua de mar,  $1,025 Tn/m^3$
- $\alpha$ : Ángulo del talud respecto a la horizontal
- KD: Coeficiente de estabilidad

Mientras que, para determinar el espesor del manto, se utiliza la siguiente fórmula:

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

En esta ecuación:

- $D_n$ : Diámetro nominal (m)
- W: Peso de la pieza (Tn)
- $\gamma$ : Peso específico del material estudiado ( $Tn/m^3$ )

Los resultados preliminares obtenidos se reflejan en la siguiente tabla:

Tipo de pieza	Nº capas	Kd	cotg( $\alpha$ )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_w$ (t/m <sup>3</sup> )	H (m)	W (t)	$D_n$ (m)
Escollera	2	4	1,5	2,65	1,025	4,60	11,00	1,61
Cubo	2	6	1,5	2,35	1,025	4,60	11,77	1,71
Cubípodo monocapa	1	12	1,5	2,35	1,025	4,60	5,88	1,36
Core-loc	1	15	1,33	2,35	1,025	4,60	5,31	1,31

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

Basándonos en los resultados presentados en la tabla anterior, se han identificado que las distintas alternativas son viables. Para cada una de estas opciones, se procederá a realizar un dimensionamiento detallado y un análisis exhaustivo, con el fin de determinar la solución más adecuada para el proyecto del contradique.

- Alternativa 1: Contradique en talud con escollera
- Alternativa 2: Contradique en talud con cubo de hormigón
- Alternativa 3: Contradique en talud con cubípodo
- Alternativa 4: Contradique en talud con core-loc

Con el objetivo de optimizar la estructura, se ha segmentado el diseño en tres tramos diferenciados. Esta segmentación responde a las variaciones en la profundidad al pie del contradique a lo largo de su extensión, lo que conlleva diferentes alturas de ola significativa en cada sección.

Para facilitar la comprensión de este diseño segmentado del contradique, se ha incorporado una representación gráfica. Esta imagen ilustrativa muestra de manera clara la disposición espacial de cada uno de los tramos, permitiendo una visualización precisa de la estructura propuesta.

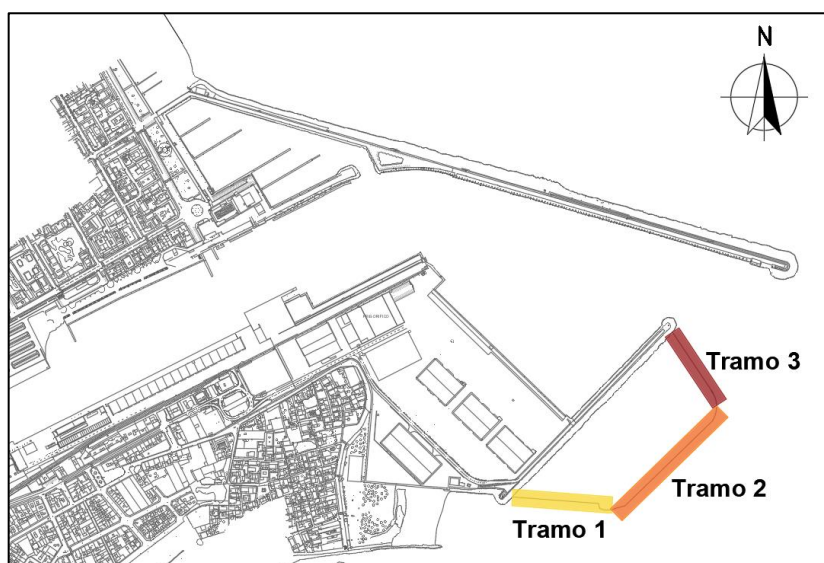


Imagen 7. Ubicación de cada tramo en el nuevo contradique del Puerto de Gandía (Fuente: Elaboración Propia).

Se presenta una tabla que resume las características principales de cada tramo del contradique. En ella se detallan tres parámetros fundamentales: la altura de ola significativa, la profundidad a pie del contradique y la extensión longitudinal de cada sección. Esta información proporciona una visión integral de las condiciones específicas que influyen en el diseño y construcción de cada tramo de la estructura.

Tramo	hs (m)	H (m)	Longitud (m)
1a Alineación	3,00	2,38	190
2a Alineación	4,50	3,50	260
3a Alineación	5,50	4,60	170

Tabla 3. Profundidad a pie de dique, altura de ola significativa y longitud de cada uno de los tramos (Fuente: Elaboración propia).

## 6. DIMENSIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE ABRIGO

El proceso de dimensionamiento de las alternativas y las comprobaciones relacionadas con los distintos modos de fallo se detalla de la siguiente manera:

---

### 6.1. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL

---

Para determinar el peso y el espesor de los diversos mantos principales, se empleará el mismo método utilizado en el apartado: "5.3. CÁLCULO PREVIO DE LOS ELEMENTOS DEL MANTO PRINCIPAL". Este proceso implica la aplicación de la fórmula de Hudson en conjunto con los coeficientes de estabilidad especificados en el "Cubipod Manual 2016".

Esta metodología permite calcular con precisión las características necesarias para garantizar la estabilidad y eficacia de los mantos principales del contradique.

---

### 6.2. DETERMINACIÓN DEL PESO Y ESPESOR DEL FILTRO

---

Estas capas, hechas de materiales granulares de tamaños crecientes, evitan que las piedras pequeñas del núcleo sean arrastradas hacia el exterior por las corrientes durante condiciones climáticas extremas. El diseño de estas capas intermedias se basa en la proporción de tamaño entre las piedras de la capa superior e inferior, que no debe exceder 2.5 veces. Además, el peso de las piedras debe estar entre  $W/10$  y  $W/20$  para garantizar que las piedras más pequeñas no atraviesen los espacios de la capa superior.

---

### 6.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BERMA DE PIE

---

Para asegurar un soporte adecuado para el manto principal de un contradique, se recomienda construir una berma de pie. Esta estructura debe ser estable para garantizar la correcta colocación de los elementos del manto. El peso de los componentes de la berma suele ser entre el 10% y el 20% del peso de las piezas del manto, optando en la mayoría de las alternativas por la elección del mismo peso tanto como para el filtro como para la berma de pie, y tiene una forma trapecial.

Para dimensionar la berma de pie, se emplea la fórmula de Van der Meer (1998), según lo propuesto por CIRIA y otros en 2007:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left( 2 + 6.2 \left( \frac{h_t}{h_s} \right)^{2.7} \right) N_{od}^{0.15}$$

#### 6.4. CÁLCULO DEL ESPALDÓN

Para el diseño adecuado del espaldón, se verificará el cumplimiento de los límites de rebase. Se utilizarán las tablas del EurOtop 2018 para determinar el máximo rebase medio permitido para este contradique. El cálculo del rebase se realizará mediante la fórmula de Smolka (2009). Según el EurOtop 2018, el rebase medio máximo permitido para este contradique es de 1 (l/s/m).

Una vez determinada la altura a la que el rebase no excede el valor máximo permitido, se procede al dimensionamiento del espaldón. Este proceso comienza con la identificación de las fuerzas que actúan sobre la estructura.

Para calcular la fuerza horizontal máxima (Fh) y la fuerza vertical (subpresiones) que afectan al espaldón del contradique en talud, se emplea el método propuesto en el "Cubipod Manual 2016". Este enfoque se fundamenta en las ecuaciones publicadas por Molines (2016) y permite determinar tanto la fuerza horizontal máxima como la fuerza vertical correspondiente (Fv(Fh)) generada por la ola que produce dicha fuerza horizontal máxima.

Una vez obtenidas las dimensiones preliminares del espaldón, se procede a realizar las comprobaciones necesarias para garantizar que la estructura sea completamente segura y cumpla eficazmente sus funciones. Estas verificaciones incluyen:

- Seguridad frente a deslizamiento
- Seguridad frente a vuelco

En ambos casos, el coeficiente de seguridad calculado debe ser igual o superior a 1.20 para asegurar la estabilidad de la estructura.

Tras estas comprobaciones, se habrán dimensionado completamente las alternativas estudiadas. El "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas" presenta un estudio exhaustivo de cada una de estas opciones.

Adicionalmente, en el "Documento 2: Planos" se representan gráficamente los resultados obtenidos para todas las alternativas consideradas en el diseño del nuevo contradique.

## 7. SOLUCIÓN ADOPTADA

La solución final se detalla en el "Anejo nº9: Alternativa elegida". Este documento presenta un análisis de las alternativas previamente dimensionadas en el "Anejo nº8: Dimensionamiento de las alternativas", finalizando en una valoración final.

Para realizar este análisis y comparar las alternativas, se han utilizado una serie de criterios que tienen gran importancia a la hora de seleccionar la alternativa final: económicos, ambientales, funcionales y estéticos.

Los criterios económicos son fundamentales, buscando minimizar costos sin comprometer la eficiencia y considerando los beneficios operativos futuros. En cuanto al aspecto ambiental, al ser una expansión de un puerto existente, se prevé un impacto ecológico limitado en comparación con la construcción de uno nuevo.

Los criterios funcionales se centran en la durabilidad, confiabilidad y robustez de la estructura, así como en su capacidad para manejar condiciones marítimas adversas. Por último, los criterios estéticos buscan una integración coherente con la infraestructura existente, considerando el potencial para atraer visitantes y crear áreas recreativas.

La selección de materiales adecuados puede influir positivamente tanto en los aspectos funcionales como estéticos, permitiendo, por ejemplo, reducir la altura del dique y mejorar la integración visual del proyecto con su entorno.

---

### 7.1. SOLUCIÓN FINAL

---

Como resultado de este estudio, se ha determinado la composición óptima para los diferentes tramos del contradique.

El primer tramo mantendrá un manto principal de escollera en todas las alternativas estudiadas.

El segundo tramo también empleará escollera, aprovechando material del antiguo contradique para lograr eficiencia económica y sostenibilidad ambiental.

Para el tercer tramo, se han elegido cubípodos, descartando piezas esbeltas debido a los desafíos técnicos y costos asociados. Además, se mantendrá una uniformidad en el espaldón a

lo largo de toda la estructura, utilizando el espaldón existente en el tramo 2, que es más grande de lo necesario para el tramo de cubípodos.

Las siguientes tablas presentan las especificaciones detalladas de la solución final adoptada para la construcción del nuevo contradique en el puerto de Gandía:

#### PESO Y ESPESOR DEL MANTO PRINCIPAL

Tramo	Tipo de pieza	Nº capas	W (t)	Dn (m)
1a Alineación	Escollera	2	1,50	0,85
2a Alineación	Escollera	2	5,00	1,25
3a Alineación	Cubípedo	1	6,00	1,40

Tabla 4. Peso y espesor del manto principal de la solución final (Fuente: Elaboración propia).

#### PESO Y ESPESOR DEL FILTRO

Tramo	Wfiltro (t)	Nº de Capas	Dn (m)
1a Alineación	0,1	2	0,35
2a Alineación	0,5	2	0,60
3a Alineación	0,5	2	0,60

Tabla 5. Peso y espesor del filtro de la solución final (Fuente: Elaboración propia).

#### DIMENSIONES DE LA BERMA DE PIE

Tramo	Anchura coronación (m)	Espesor (m)	Wberma (t)
1a Alineación	1,3	0,7	0,1
2a Alineación	2,4	1,2	0,5
3a Alineación	2,4	1,2	0,5

Tabla 6. Anchura de coronación y espesor de la berma de pie de la solución final (Fuente: Elaboración propia).

#### DIMENSIONES DEL ESPALDÓN

En lo que respecta al tercer tramo, se han llevado a cabo las verificaciones necesarias para confirmar que el espaldón utilizado en el segundo tramo es igualmente aplicable y efectivo en esta sección. Estas comprobaciones garantizan la continuidad y coherencia del diseño a lo largo de ambos tramos del contradique.

Las comprobaciones a realizar son:

- Cumplimiento de los rebases.
- Verificación de la seguridad frente a deslizamiento.
- Verificación frente a hundimiento.

Realizadas las comprobaciones anteriores, se concluye con que el espaldón del tramo 2 es aplicable también en el tramo 3.

Se presenta una imagen que muestra las dimensiones relacionadas con el espaldón, que se muestran también en la *tabla 7*.

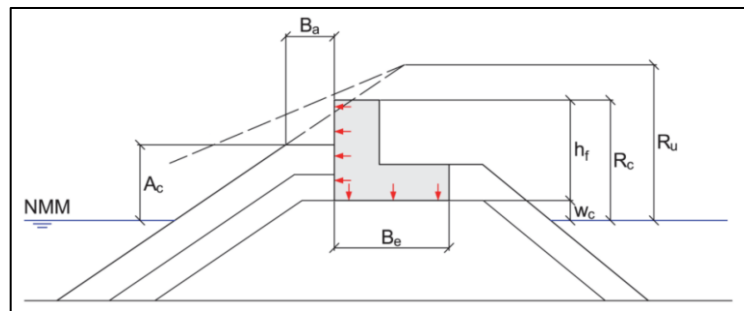


Imagen 8. Esquema de las dimensiones relacionadas con el espaldón (Fuente: Cubipod Manual 2016).

Tramo	$A_c$ (m)	$B_a$ (m)	$B_e$ (m)	$W_c$ (m)	$h_f$ (m)	$R_c$ (m)	$R_u$ (m)
1a Alineación	3,53	2,55	3,50	1,16	4,50	6,33	6,14
2a Alineación	4,86	3,75	5,00	1,16	6,80	8,66	9,03
3a Alineación	5,16	4,20	5,00	1,16	6,80	8,66	11,87

Tabla 7. Dimensiones relacionadas con el espaldón de la solución final (Fuente: Elaboración propia).

Además, se añade un esquema de las dimensiones del propio espaldón para cada tramo:

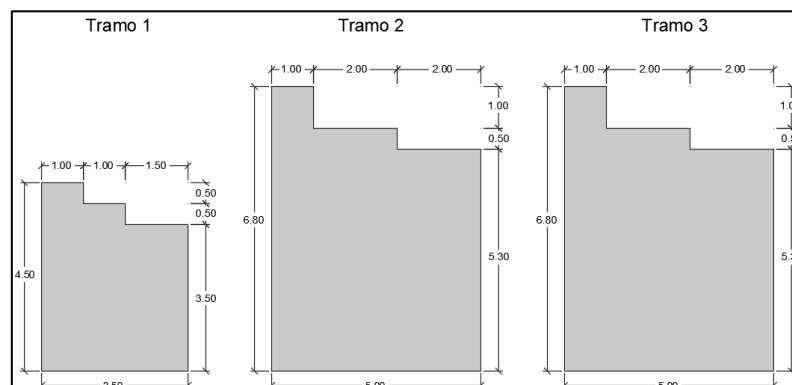


Imagen 9. Esquema de las dimensiones del espaldón (Fuente: Elaboración propia).

## 7.2. ESQUEMAS DE LA SOLUCIÓN FINAL

A continuación, se presentan esquemas de la solución adoptada para el nuevo contradique del puerto de Gandía.

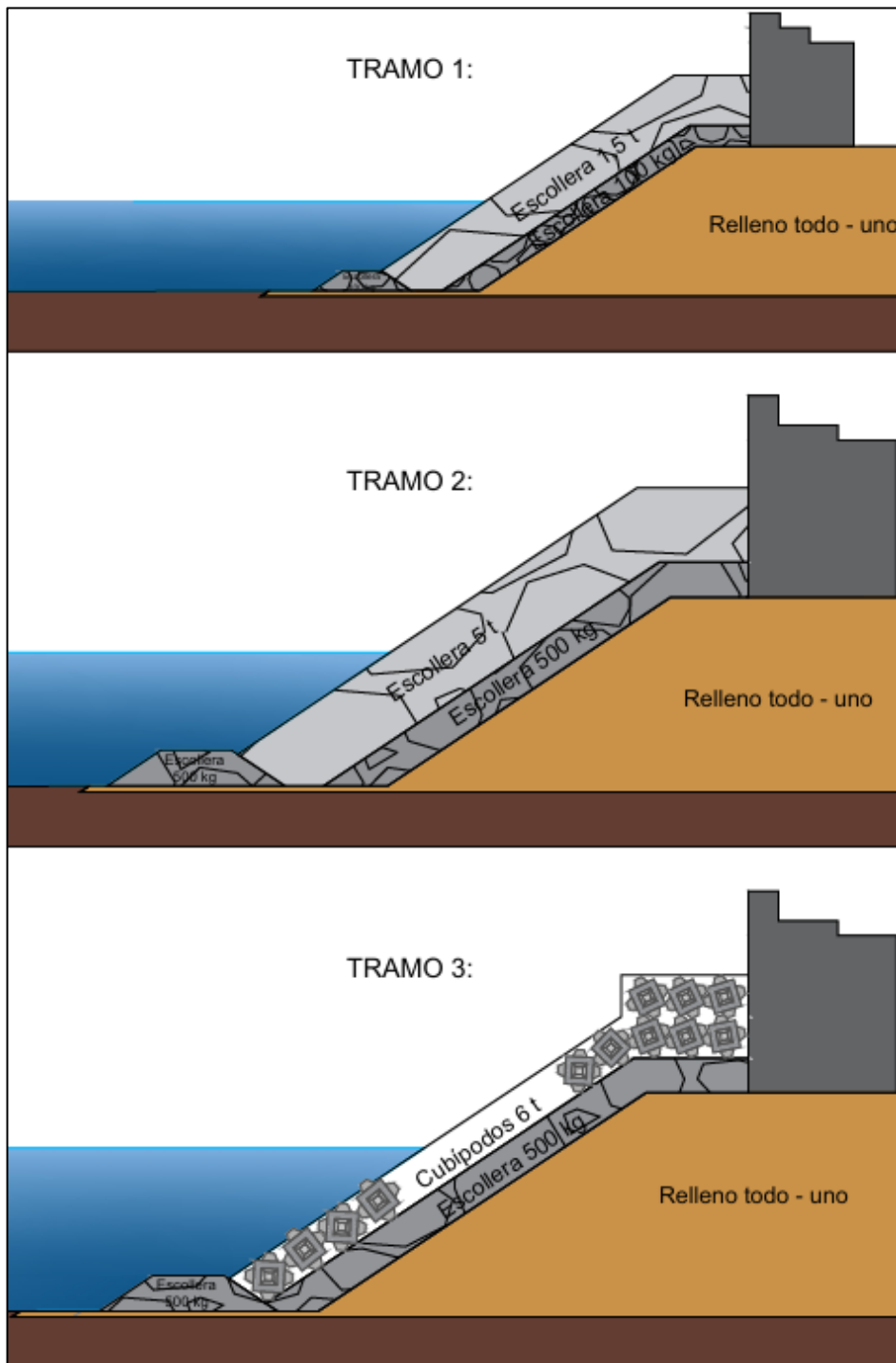


Imagen 10. Esquema de las secciones del nuevo contradique para cada tramo (Fuente: Elaboración propia).



En el "Documento nº2: Planos", se detalla de manera más exhaustiva la solución final para cada tramo del contradique.

## **8. PROCESO CONSTRUCTIVO**

El "Anejo nº10: Proceso constructivo" detalla exhaustivamente el proceso constructivo del contradique. A continuación, se presenta un breve resumen con los pasos más relevantes:

---

### **8.1. GESTIÓN DE RESIDUOS**

---

La construcción del nuevo contradique en el puerto de Gandía genera una cantidad significativa de desechos, tanto directos como indirectos. Estos residuos serán transportados a una instalación de procesamiento ubicada a 5.6 kilómetros del sitio de construcción.

---

### **8.2. MATERIAL PRINCIPAL DEL CONTRADIQUE**

---

#### **8.2.1. ESCOLLERA**

La construcción del nuevo contradique se realizará aprovechando al máximo los materiales existentes. Los tramos 1 y 2 utilizarán la escollera del manto principal del contradique actual, mientras que el filtro y la berma de pie de los tres tramos se construirán con material reutilizado de la estructura existente.

El material adicional necesario se obtendrá de una cantera situada a solo 9,5 kilómetros del puerto. Esta cercanía ofrece dos ventajas principales: reducción significativa en los costos de transporte y menor impacto ambiental debido a la reducción de emisiones por transporte.

Esta estrategia de reutilización y obtención de recursos cercanos optimiza la eficiencia del proyecto, tanto en términos económicos como ambientales, contribuyendo a una construcción más sostenible y rentable.

## 8.2.2. CUBÍPODOS

### 8.2.2.1. FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN Y DE LOS BLOQUE

La pieza elegida, debido a su gran masa, ofrece ventajas en fabricación, manejo y colocación. Su diseño reduce tensiones y riesgos de fractura, permitiendo el uso de hormigón estándar. Esto optimiza costos y flexibiliza la selección de materiales sin comprometer la integridad estructural.

La fabricación de cubípodos implica varias etapas clave. Se inicia con la preparación del encofrado, que consta de una base estática y elementos articulados superiores. El hormigón se vierte en dos fases con vibración controlada para asegurar una compactación adecuada. Después de un curado de 6 horas, el encofrado se abre verticalmente. Para facilitar el desencofrado, las caras verticales tienen una inclinación del 2.5%, una técnica tradicional que mejora la eficiencia y el rendimiento del proceso de producción.

La siguiente tabla muestra las características principales del cubípedo seleccionado para el presente proyecto:

CARACTERÍSTICAS CUBÍPODO	
Dn (m)	1,4
Peso pieza (t)	6
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	2,3
L (m)	1,4
L/2 (m)	0,7
L/4 (m)	0,35
Volumen (m <sup>3</sup> )	5604
Volumen pieza (m <sup>3</sup> )	3
Número de piezas	1868

Tabla 8. Características principales del cubípedo seleccionado (Fuente: Elaboración propia).

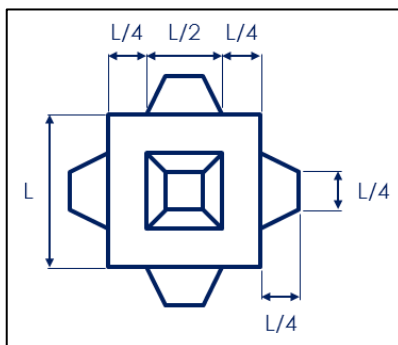


Imagen 11. Esquema de las dimensiones del cubípedo (Fuente: Elaboración propia)

### **8.2.2.2. ACOPIO Y TRANSPORTE DE LOS BLOQUES**

El acopio de cubípodos requiere una zona preparada donde las piezas permanecen 28 días para alcanzar la resistencia necesaria. El terreno se prepara con pequeños agujeros para las protuberancias de los cubípodos y una capa de material granular permeable para drenaje y estabilidad. Se propone utilizar dos parcelas contiguas, situadas a menos de 1 kilómetro del puerto, para organizar eficientemente las piezas en filas de 4 a 5 unidades de altura.

El manejo de los cubípodos en el área de acopio se realiza con pinzas de presión dobles, que ofrecen mayor eficiencia y seguridad que las eslingas. Para su transporte, las piezas se colocan en camiones sobre tablones de madera, evitando que las protuberancias inferiores afecten la estabilidad de la carga. Esta metodología garantiza un traslado seguro y eficiente desde la zona de acopio hasta el emplazamiento final de la obra.

---

## **8.3. EJECUCIÓN DEL NUEVO CONTRADIQUE**

---

### **8.3.1. COLOCACIÓN DE LA BARRERA DE CONTENCIÓN**

Al sur del puerto de Gandía, se encuentran praderas marinas, incluida una pradera de cymodocea nodosa, protegida en España. Para protegerla, se instalará una barrera de contención que reducirá los impactos negativos en el ecosistema marino cercano. Esta barrera tiene una cámara de aire en la parte superior y dos cámaras de agua en la parte inferior que actúan como lastre. Se utilizará durante la retirada del antiguo contradique y la construcción del nuevo.

### **8.3.2. COLOCACIÓN DE LA BERMA DE PIE E INSTALACIÓN DEL NÚCLEO**

La construcción del contradique comienza con la colocación de una berma de pie de escollera, que proporciona un soporte adecuado al manto principal. Esta operación se llevará a cabo por vía marítima utilizando dos gánguiles.

Simultáneamente, se verterá material todo-uno para formar una banqueteta que proteja la berma de pie y el manto principal contra la socavación, garantizando la integridad estructural del contradique a largo plazo.

### 8.3.3. DISPOSICIÓN DE LA ESCOLLERA PARA EL FILTRO

Tras el vertido del núcleo, se colocarán las capas intermedias o filtros. La instalación de la escollera se realizará utilizando una grúa especializada con un sistema de pinzas de tres brazos, conocido como "Técnica pulpo".

### 8.3.4. CONSTRUCCIÓN DEL MANTO PRINCIPAL

Tras la construcción del núcleo y las capas intermedias, se instala el manto principal, cuya composición varía según el tramo del contradique. En los tramos 1 y 2, donde la escollera pesa menos de 10 toneladas, se usa la "Técnica Pulpo" con grúas, colocando aproximadamente 1000 toneladas diarias.

Para el tramo 3, los cubípodos se transportan desde el almacenamiento mediante una góndola por la parte superior de la estructura. Una grúa con pinzas de doble presión los coloca en coordenadas predefinidas, comenzando por la fila inferior apoyada en la berma de pie y continuando hacia arriba.

Este proceso asegura una colocación precisa y eficiente de los elementos del manto principal en todo el contradique.

### 8.3.5. EJECUCIÓN DEL ESPALDÓN

El espaldón, última parte del contradique, se construirá cuando la mayoría de los asentamientos se hayan producido. Se utilizará hormigón HM-30/P/20/IIIb+Qb, adecuado para estructuras marinas sobre el nivel de pleamar.

El vertido se realizará directamente desde camiones hormigonera, optimizando tiempo y costos.

Tras 3-4 días de curado y retirada del encofrado, se colocará la escollera o cubípodos contra el espaldón, según el tramo, completando así la estructura de defensa marítima. Este método asegura eficiencia, calidad y uniformidad en la construcción del espaldón.

## 9. VALORACIÓN ECONÓMICA

En el "Anejo nº11: Valoración económica", se especifican las unidades de obra incorporadas en el proyecto, junto con sus mediciones y precios, los cuales se han determinado a partir de bases

de datos y proyectos similares. A continuación, se incluye un resumen organizado por capítulos que detalla el coste y el precio base de licitación:

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL</b>	
1. ACTUACIONES PREVIAS.....	100.000,00 €
2. DEMOLICIONES.....	248.209,60 €
3. OBRAS DE ABRIGO.....	4.822.146,79 €
4. GESTIÓN DE RESIDUOS.....	50.000,00 €
5. ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS.....	170.000,00 €
6. SEGURIDAD Y SALUD.....	115.000,00 €
<b>TOTAL.....</b>	<b>5.455.356,39 €</b>
GASTOS GENERALES (13%) .....	709.196,33 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (6%) .....	327.321,38 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (SIN IVA)</b>	<b>6.491.874,10 €</b>
IVA (21%) .....	1.363.293,56 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>7.855.167,66 €</b>

## 10. CONCLUSIÓN

Tras la información recogida en la presente memoria, teniendo en cuenta su desarrollo en los correspondientes anejos y junto con el resto de los documentos que componen el “Estudio de soluciones para el diseño y construcción del nuevo contradique de Gandía (Valencia)”, se puede concluir que la solución propuesta y desarrollada cumple con la normativa vigente y no supone un impacto negativo sobre el medio.

Por ello, considerándolo suficientemente justificado, se entrega como TFG del grado de Ingeniería Civil en la Universidad Politécnica de Valencia

Valencia, septiembre de 2024.

El estudiante de Ingeniería Civil del Proyecto:

Pascual Morant Alegre