



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Estudio de soluciones para la estabilización del frente litoral  
de la Marjal del Moro en Sagunto (Valencia)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Barjola Martínez, Claudia

Tutor/a: Molines Llodrá, Jorge

Cotutor/a: Garrido Checa, Joaquín de María

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. CONTEXTUALIZACIÓN</b> .....	<b>6</b>
1.1 EL HUMEDAL DE LA MARJAL DEL MORO.....	6
1.1.1. PROBLEMA DETECTADO Y RIESGOS AMBIENTALES.....	7
<b>2. OBJETO DEL PROYECTO</b> .....	<b>7</b>
<b>3. LA PLAYA DE LA MARJAL DEL MORO</b> .....	<b>8</b>
3.1 DESCRIPCIÓN.....	8
3.2 SITUACIÓN ACTUAL Y ANTECEDENTES.....	8
3.3 MEDIO FÍSICO .....	10
3.3.1 CLIMA .....	10
<b>4. CLIMA MARÍTIMO</b> .....	<b>11</b>
4.1.1 FUENTE DE INFORMACIÓN .....	11
4.1.1 NIVEL DEL MAR.....	12
4.1.2 RÉGIMEN DE VIENTOS .....	14
4.1.3 OLEAJE.....	16
4.1.4 COTA DE INUNDACIÓN.....	19
<b>5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS</b> .....	<b>22</b>
<b>6. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA</b> .....	<b>22</b>
6.1 CARACTERIZACIÓN DEL FONDO MARINO.....	23
<b>7. BATIMETRÍA</b> .....	<b>26</b>
<b>8. ESTUDIO DE SOLUCIONES</b> .....	<b>26</b>
8.1 OBRA ESTRUCTURAL DE DEFENSA TRANSVERSAL: ESPIGONES .....	26
8.1.1 PREDIMENSIONAMIENTO EN PLANTA .....	26
8.1.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN .....	28
8.1.3 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL .....	29
8.1.4 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN .....	30
8.2 DIQUE EXENTO CON FORMACIÓN DE TÓMBOLO .....	30
8.2.1 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN .....	31
8.2.1 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL .....	32
8.2.2 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN .....	32
8.3 DIQUE ARRECIFE CON FORMACIÓN DE HEMITÓMBOLO .....	33
8.3.1 PREDIMENSIONAMIENTO EN PLANTA .....	33
8.3.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN .....	33
8.3.1 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL .....	34
8.3.2 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN .....	34
8.4 DIQUE ARRECIFE SIN CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA .....	35
8.4.1 PREDIMENSIONAMIENTO EN PLANTA .....	35
8.4.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN .....	35
8.4.1 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL .....	35
8.4.2 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN .....	35
<b>9. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA</b> .....	<b>36</b>
<b>10. PROCESO CONSTRUCTIVO</b> .....	<b>37</b>
10.1 DIQUE EXENTO SIN VARIACIÓN EN LA LÍNEA DE COSTA.....	38

10.1.1	PRIMERA FASE: CONSTRUCCIÓN DE LAS PIEZAS.....	38
10.1.2	ENCOFRADO Y HORMIGONADO .....	40
10.1.3	TRANSPORTE .....	41
10.1.4	COLOCACIÓN.....	42
10.2	OBRA BLANDA .....	45
10.2.1	VOLUMEN DE APORTE .....	45
10.3	COLOCACIÓN EN LA PLAYA .....	47
<b>11.</b>	<b>PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS.....</b>	<b>47</b>
11.1	CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE .....	48
11.1.1	TRABAJOS PREVIOS .....	48
11.1.2	FABRICACIÓN DE LOS CUBÍPODOS .....	48
11.1.3	PUESTA EN OBRA DE LOS CUBÍPODOS .....	48
11.1.4	OTROS TRABAJOS.....	48
11.1.5	TOTAL DE DÍAS LABORALES .....	48
11.1.6	DIAGRAMA DE GANTT.....	48
11.2	REGENERACIÓN DE LA PLAYA/APORTE DE SEDIMENTOS .....	49
<b>12.</b>	<b>VALORACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>50</b>
<b>13.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Localización de la Marjal dels Moros. Fuente: Visor GVA.....	6
Figura 2	Sección esquemática de la Marjal dels Moros. Fuente: Generalitat Valenciana, Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Infraestructures i Territori.....	6
Figura 3	Esquema gráfico de una cuña salina. Fuente: Hidrología Subterránea (E.Custodio y M.R.Llamas).....	7
Figura 4	Ubicación de la playa a estudio. Fuente: Google Earth .....	8
Figura 5	Esquema visual del aporte de sedimentos en el año 2027. Fuente: Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. .	9
Figura 6	Tramos de costa analizados. Fuente: Google Earth .....	9
Figura 7	Costa en planta en el año 2020. Fuente: Google Earth .....	10
Figura 8	Costa en planta en el año 2024. Fuente: Google Earth.....	10
Figura 9	Comparación de los dos años en planta. Fuente: Google Earth.....	10
Figura 10	Localización de la boya de Valencia (En rojo) respecto de la zona de estudio (En amarillo). Fuente: Puertos del Estado .....	11
Figura 11	Localización del mareógrafo de Sagunto. Fuente: Puertos del Estado .....	12
Figura 12	Esquema de posición del mareógrafo respecto a los niveles del mar. Fuente: Puertos del Estado.....	12
Figura 13	Distribución de frecuencia relativa de mínimos y máximos observados. Fuente: Puertos del Estado .....	13
Figura 14	Histograma de nivel horario global. Fuente: Puertos del Estado.....	14
Figura 15	Ubicación zona a estudio y punto SIMAR 2081115.....	14

Figura 16 Rosa de Viento anual. Fuente: Puertos del Estado.....	15
Figura 17 Rosa del oleaje. Fuente: Puertos del Estado.....	16
Figura 18 Simulación del oleaje en la zona de actuación.....	16
Figura 19 Rosa del oleaje anual. Fuente: Puertos del Estado(Puertos del estado, n.d.).....	17
Figura 20 Direcciones del oleaje y frecuencias en régimen extremal. Fuente: Puertos del Estado.....	18
Figura 21 Ajuste de la distribución de Weibull. Fuente: Puertos del Estado.....	19
Figura 22 Cambio del nivel del mar en el Mar Mediterráneo. Fuente: web IPCC.....	20
Figura 23 Localización de la distribución de los puntos seleccionados a estudio. Fuente: Google Earth.....	20
Figura 24 Representación de la distancia de inundación con $Tr = 10$ y $Tr = 50$ años.....	21
Figura 25 Representación de la distancia de inundación con $Tr = 100$ y $Tr = 500$ años.....	21
Figura 26 Simulación del oleaje a lo largo de la costa a estudio. Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura 27 Zona a estudio en la hoja de Burjassot y su leyenda. Fuente: IGME.....	23
Figura 28 Caracterización del fondo marino. Fuente: IGME.....	24
Figura 29 Biocenosis en el ámbito de actuación. Fuente: Visor cartográfico de la Generalitat Valenciana.....	24
Figura 30 Posidonia Oceánica cerca del ámbito de estudio. Fuente: Visor Cartográfico de GVA.....	25
Figura 31 Barrera antiturbidez. Fuente: Google Imágenes.....	25
Figura 32 Batimetría general. Fuente: MITECO.....	26
Figura 33 Ubicación de los espigones en planta (En amarillo) y del punto de aporte de sedimentos de origen fluvial (En verde). Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 34 Punto de aporte de sedimentos de origen fluvial. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 35 Esquema de la sección principal del espigón. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 36 Evolución de una obra exenta en planta. Fuente: R.Silvester et al(G Sole Diaz, n.d.).....	30
Figura 37 Representación estimada del tómbolo producido por el dique exento. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 38 Esquema de la sección principal del dique exento. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 39 Estimación del saliente formado por el dique exento. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 40 Esquema de la sección principal del dique exento. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 41 Esquema de la sección principal del dique exento. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 42 Esquema de las dimensiones de los Cubípodos necesarios para el dique. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 43 Ubicación y foto aérea de la explanada propuesta. Fuente: Google Earth.....	38
Figura 44 Explanada propuesta actualmente. Fuente: Elaboración propia.....	38

Figura 45 Ejemplo de colocación de las piezas en el acopio. Fuente: Web del Cubípod.....	39
Figura 46 Propuesta de organización de las tareas de encofrado y acopio en planta. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 47 Cubípodos encofrados. Fuente: Web del Cubípod.....	40
Figura 48 Línea de encofrado en serie. Fuente: Web del Cubípod.....	40
Figura 49 Esquema de las dimensiones de los Cubípodos necesarios para el dique. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 50 Transporte de Cubípodos. Fuente: Web del Cubípod.....	41
Figura 51 Ubicación de la terminal y zona de construcción y acopio (en rojo). Fuente: Google Earth.....	42
Figura 52 Imagen de una Spud Barge. Fuente: Google Imágenes.....	42
Figura 53 Perfil del terreno. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 54 Familias constructivas y plano inclinado en REBECOS 1.0.....	43
Figura 55 Familias constructivas vistas de frente en REBECOS 1.0.....	44
Figura 56 Final de la simulación de frente en REBECOS 1.0.....	44
Figura 57 Cubípodos tras la simulación.....	44
Figura 58 Perfil del dique exento simulado.....	45
Figura 59 Esquema de las variables de la regla de Bruun. Fuente: José Manuel de la Peña Olivas y José Francisco Sánchez González.....	46
Figura 60 Ubicación cantera más próxima y duración del trayecto. Fuente: Google Earth.....	47
Figura 61. Propuesta de plan de obra para la construcción del dique exento Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 62 Propuesta de estimación del plan de obra de la regeneración con árido de cantera. Fuente: Elaboración propia.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de la temperatura según los años. Fuente: Estación meteorológica de Puçol-Ciudad Jardín.....	11
Tabla 2 Comparación de precipitaciones acumuladas durante los años. Fuente: Estación meteorológica de Puçol-Ciudad Jardín.....	11
Tabla 3 Nivel medio del mar en referencia al cero REDMAR y al NMMAlicante. Fuente: Puertos del Estado.....	13
Tabla 4 Velocidades del viento según las direcciones y frecuencias. Fuente: Puertos del Estado.....	15
Tabla 5 Periodo de Pico y Altura Significativa anual. Fuente: Puertos del Estado.....	17
Tabla 6 Direcciones y frecuencias del oleaje en nivel medio. Fuente: Puertos del Estado.....	17
Tabla 7 Alturas significante de olas según las direcciones predominantes. Fuente: Puertos del Estado.....	18
Tabla 8 Características de los puntos estudiados. Fuente: Programa IOLE.v4.....	20
Tabla 9 Distancia, cota y área de inundación en el punto 1.....	21
Tabla 10 Distancia, cota y área de inundación en el punto 2.....	21
Tabla 11 Distancia, cota y área de inundación en el punto 3.....	21

Tabla 12 Distancia, cota y área de inundación en el punto 4.....	21
Tabla 13 Longitud de cálculo de espigones según la profundidad de cierre. Fuente: Elaboración propia.....	27
Tabla 14 Resultado de las dimensiones de las piezas que forman los espigones .....	29
Tabla 15 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 1 .....	30
Tabla 16 Resultado de las dimensiones de las piezas que forman los espigones en la parte del morro.....	32
Tabla 17 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 2.....	32
Tabla 18 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 3.....	34
Tabla 19 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 4.....	36
Tabla 20 Valoración de las alternativas .....	37
Tabla 21 Recesión por la subida del nivel del mar. Fuente: Elaboración propia.....	46

## 1. CONTEXTUALIZACIÓN

### 1.1 EL HUMEDAL DE LA MARJAL DEL MORO.

La *Marjal dels Moros* es un humedal situado en la Comunidad Valenciana, perteneciente a los términos municipales de Sagunto y Puzol.



Figura 1 Localización de la Marjal dels Moros. Fuente: Visor GVA.

Se cataloga como marjal litoral y tiene una extensión total de 620,46 hectáreas siendo en su mayoría suelo no urbanizable protegido y suelo urbanizable industrial.

Se alimenta a partir de aguas subterráneas y retornos de riego, descargando tanto de forma natural por manantiales como regulada, la cual puede ser directa gracias a canales y golgas e indirecta mediante bombeo.



Figura 2 Sección esquemática de la Marjal dels Moros. Fuente: Generalitat Valenciana, Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Infraestructures i Territori

Además, La Marjal dels Moros pertenece a la Red Natura 2000, ya que es considerada Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA). También se ha declarado Lugar de Interés Comunitario (LIC) y Zona Especial de Conservación (ZEC) (Generalitat Valenciana, n.d.)

El humedal cuenta con una gran importancia ornitológica debido a que es un punto altamente frecuentado por el paso de aves durante el proceso de migración. A su vez, la Marjal dels Moros cuenta con 4 micro reservas vegetales de gran interés botánico, con 5 especies endémicas y dos reservas de

fauna con dos especies prioritarias a proteger, aunque cuenta con la presencia de más de 82 aves en peligro de extinción.

Por todo ello es una gran red de biodiversidad y un lugar de interés didáctico y científico, contando con zonas especiales para la observación de aves.

### 1.1.1. PROBLEMA DETECTADO Y RIESGOS AMBIENTALES

El problema detectado se encuentra en la costa, en la playa Sur de Sagunto, paralela al humedal.

El riesgo que presenta la *Marjal dels Moros* es debido a un proceso de erosión que hay en la costa, el cual pone en peligro la barrera litoral que evita la intrusión excesiva de agua salada en el humedal.

El agua dulce, al tener menor densidad que la salada, provoca que esta última se quede fluyendo por debajo de la primera, provocando lo que se conoce como cuña salina.

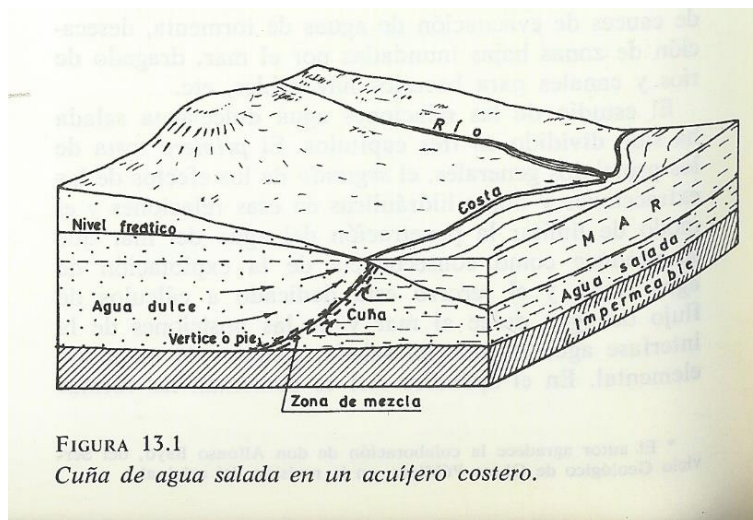


FIGURA 13.1  
Cuña de agua salada en un acuífero costero.

Figura 3 Esquema gráfico de una cuña salina. Fuente: Hidrología Subterránea (E.Custodio y M.R.Llamas)

Además, informes de *La Confederación Hidrográfica del Júcar* revelan que la masa subterránea de la Plana de Sagunto ha sufrido de un aumento del nivel piezométrico, según la información obtenida del piezómetro situado como punto de control 08.20.009 (Confederación Hidrográfica del Júcar, n.d.).

Aunque no hay pruebas de ello, esto podría deberse a un aumento de la presión subterránea provocada por el agua salada que se encuentra por debajo de la dulce empujándola, a causa de un mayor volumen de agua marina.

Además, *La Conselleria de Medi Ambient* declara en la ficha del marjal un riesgo presente de contaminación de recursos y un riesgo relevante de intrusión y erosión. (Generalitat Valenciana. Conselleria de Medi Ambient, n.d.)

La introducción de agua salada en el humedal tendría unos efectos catastróficos para el ecosistema, ya que lo alteraría completamente y afectaría a toda su fauna y flora de agua dulce.

## 2. OBJETO DEL PROYECTO

A fin de proteger el espacio natural de *La Marjal dels Moros* de la filtración de agua salada, se plantea un estudio de alternativas para conseguir la estabilización de la costa que acompaña al humedal. Dichas alternativas se valorarán según sus consecuencias en el ecosistema (tanto positivas como negativas) y facilidades constructivas.



### 3. LA PLAYA DE LA MARJAL DEL MORO

#### 3.1 DESCRIPCIÓN

La playa de La *Marjal del Moro*, denominada Playa Sur de Sagunto, es un ecosistema litoral situado en la costa mediterránea occidental, con una orientación NE - SW, paralela al humedal, perteneciente a los municipios de Sagunto y Puzol.

Se clasifica como costa de acumulación de tipo playa de canto, con un árido grueso tipo grava de un  $D_{50} = 0,47$  mm en general. (Ministerio de Medio Ambiente, n.d.)

Geomorfológicamente se caracteriza por ser una playa rigidizada por vertido de cenizas y cemento a causa del propio puerto, con la presencia de micro acantilados.

Su ancho oscila en los 20 metros antes de llegar a la zona en la que empieza a haber vegetación.

La playa Sur de Sagunto se encuentra localizada en el Golfo de Valencia, el cual corresponde a una unidad fisiográfica de primer orden que abarca desde el Cabo de San Antonio (Alicante) hasta el Delta del Ebro (Tarragona). Esto quiere decir que toda la costa perteneciente a esa zona tiene un comportamiento dinámico independiente al resto del litoral, retroalimentándose de los sedimentos presentes en ella, sin un transporte transversal.

Al contener barreras de transporte totales y parciales, la costa se puede dividir en tramos litorales independientes, concretamente, la zona de estudio se podría zonificar en una subunidad fisiográfica limitada por el Puerto de Sagunto y la playa de Puzol, la cual se usará para el estudio previo y la caracterización de la costa.

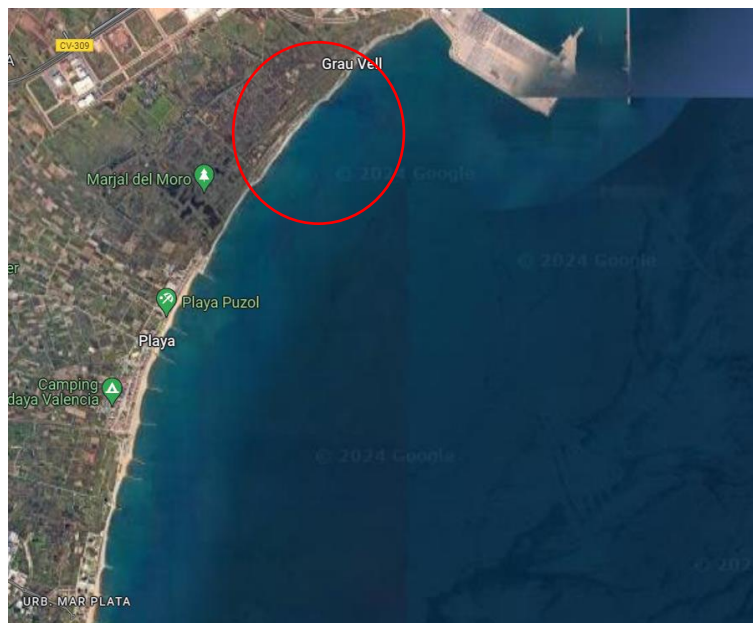


Figura 4 Ubicación de la playa a estudio. Fuente: Google Earth

#### 3.2 SITUACIÓN ACTUAL Y ANTECEDENTES

Si se observa la evolución de la costa a lo largo de los cuatro años, se puede apreciar que ha habido varios transportes de sedimentos artificiales como medida ante la recesión de la costa, exactamente en el año 2017, cuya información obtenida de la web del Ministerio para la transición ecológica y el reto

demográfico, indica que se repararon 50 metros de mota de protección moviendo unos 850 m<sup>3</sup> de material extraído al sur y norte del tramo a reparar (30S. 735.286,29 m E, 4.388.740,97 m N).



Figura 5 Esquema visual del aporte de sedimentos en el año 2027. Fuente: Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico.

Aun así, estas medidas son temporales y no proporcionan soluciones a largo plazo.

Para diagnosticar la situación que presenta la playa en términos de recesión, se ha analizado la evolución temporal de la costa que acompaña al humedal de *La Marjal dels Moros* y se ha obtenido los puntos con mayor recesión en la costa en el periodo de 2020-2024.

Para llevar esta operación a cabo, se ha dividido la costa en dos tramos, denominamos Tramo Norte (En rojo) y Tramo Sur (En azul) representados en la siguiente figura.

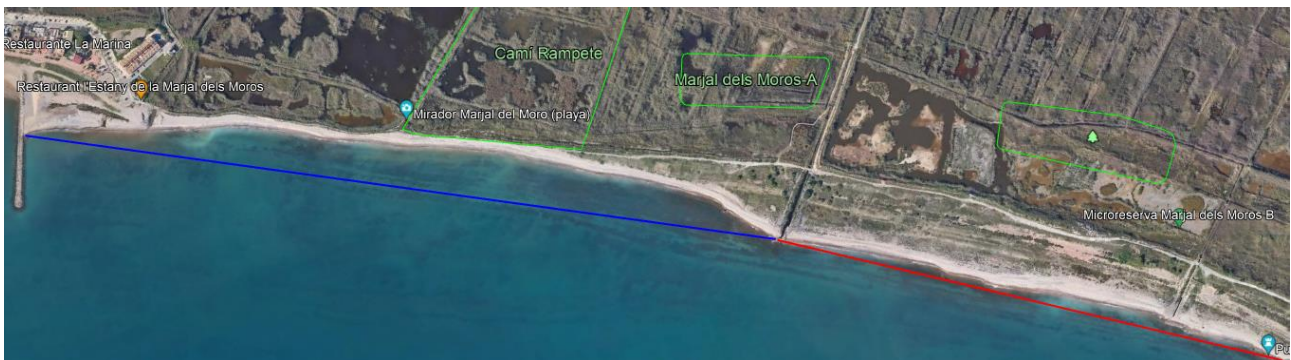


Figura 6 Tramos de costa analizados. Fuente: Google Earth

El tramo Norte tiene un total de 821 metros de longitud y el tramo Sur, es de 1.300 metros. Dado que el tramo norte es más rígido que el sur al estar apoyado por el propio puerto, se decide valorar solamente el segundo tramo, dando los siguientes resultados de recesión/acreción.



Figura 7 Costa en planta en el año 2020. Fuente: Google Earth



Figura 8 Costa en planta en el año 2024. Fuente: Google Earth

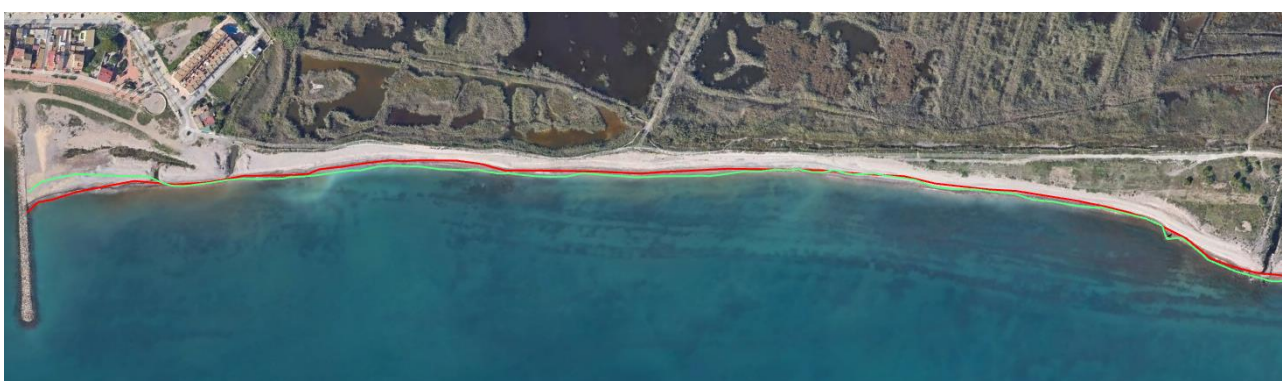


Figura 9 Comparación de los dos años en planta. Fuente: Google Earth

Como se puede observar en la Figura 9, el año 2024 presenta una mayor longitud de recesión que de acreción. Se han valorado 5 puntos a lo largo de la costa y se ha obtenido una media de 4,62 m de recesión.

A continuación, se van a estudiar los aspectos climatológicos y marinos que pueden afectar al diseño de las diferentes alternativas.

### 3.3 MEDIO FÍSICO

#### 3.3.1 CLIMA

Mediante la información proporcionada por la web de la Agencia Estatal de Meteorología se ha obtenido las principales características climáticas que pueden afectar al área de estudio

Climatológicamente hablando, España es un país con heterogéneo por su ubicación y la geomorfología variable que presenta. Concretamente, la costa a estudio se caracteriza por un clima mediterráneo, con lluvias irregulares en otoño, temperaturas altas en verano y más suaves en invierno.

### TEMPERATURA

AÑO	gen	feb	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	oct	nov	des	mín	màx	mit
2019				15,5	18,8	22,4	26,4	25,8	24,3	20,0	15,0		15,0	26,4	21,0
2020	10,9	14,1	13,9	16,1	20,8	22,7	26,1	26,7					10,9	26,7	18,9
2021	10,6			14,4	19,6	23,2	25,5	26,1	23,5	19,9	14,6	13,8	10,6	26,1	19,1
2022	10,7	12,9	13,1	15,3			28,0	28,0	25,2	21,3	17,3	14,6	10,7	28,0	18,6
2023	11,1	9,9	16,2	17,7	19,2	24,1	27,3	27,3	24,0	21,6		13,0	9,9	27,3	19,2
2024	13,4	14,1	14,6			23,5	26,2						13,4	26,2	18,4

Tabla 1 Comparación de la temperatura según los años. Fuente: Estación meteorológica de Puçol-Ciudad Jardín.

Temperatura media en el año **2023** fue de **19,2°C** y en **2022** de **18,6°C**.

### PRECIPITACIÓN

AÑO	gen	feb	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	oct	nov	des	mín	màx	mit	sum
2019				38,2	15,5	0,0	12,2	0,4	67,2	20,4	1,6		0,0	67,2	19,4	155,5
2020	114,6	2,2	69,4	26,8	18,2	18,2	13,2	6,2					2,2	114,6	33,6	268,8
2021	24,2			50,6	15,4	17,2	7,0	60,8	60,8	14,6	24,2	0,4	0,4	60,8	27,5	275,2
2022	8,0	8,0	131,0	51,8			0,2	12,6	22,0	41,6	44,4	16,2	0,2	131,0	33,6	335,8
2023	1,0	35,8	0,0	0,0	15,4	18,8	7,6	14,8	42,4	0,2		2,2	0,0	42,4	12,6	138,2
2024	5,2	10,0	20,4			16,6	26,8						5,2	26,8	15,8	79,0

Tabla 2 Comparación de precipitaciones acumuladas durante los años. Fuente: Estación meteorológica de Puçol-Ciudad Jardín.

En lo respectivo a la variable de la Precipitación acumulada, en el año **2023** fue de **138,2 mm**, bastante menor a la de **2022** que fue de **335,8 mm**.

## 4. CLIMA MARÍTIMO

### 4.1.1 FUENTE DE INFORMACIÓN

Para obtener la información necesaria se ha recurrido a la página web de Puertos del Estado.

En ella se ha conseguido tanto información histórica como en tiempo real, siendo posible el estudio en aguas profundas mediante los datos proporcionados por La Boya de Valencia.



Figura 10 Localización de la boya de Valencia (En rojo) respecto de la zona de estudio (En amarillo). Fuente: Puertos del Estado

La boya de Valencia forma parte del conjunto de datos Redext y cubre datos desde 2005, teniendo así un registro de información amplio que permite hacer estudios con fiabilidad.

Por otro lado, se ha obtenido las medidas del nivel del mar a partir del mareógrafo situado en el Puerto de Sagunto (Puertos del Estado, 2022).



Figura 11 Localización del mareógrafo de Sagunto. Fuente: Puertos del Estado

Este mareógrafo con sensor Radar se caracteriza por formar parte del conjunto de datos REDMAR, con registro desde septiembre de 2007.

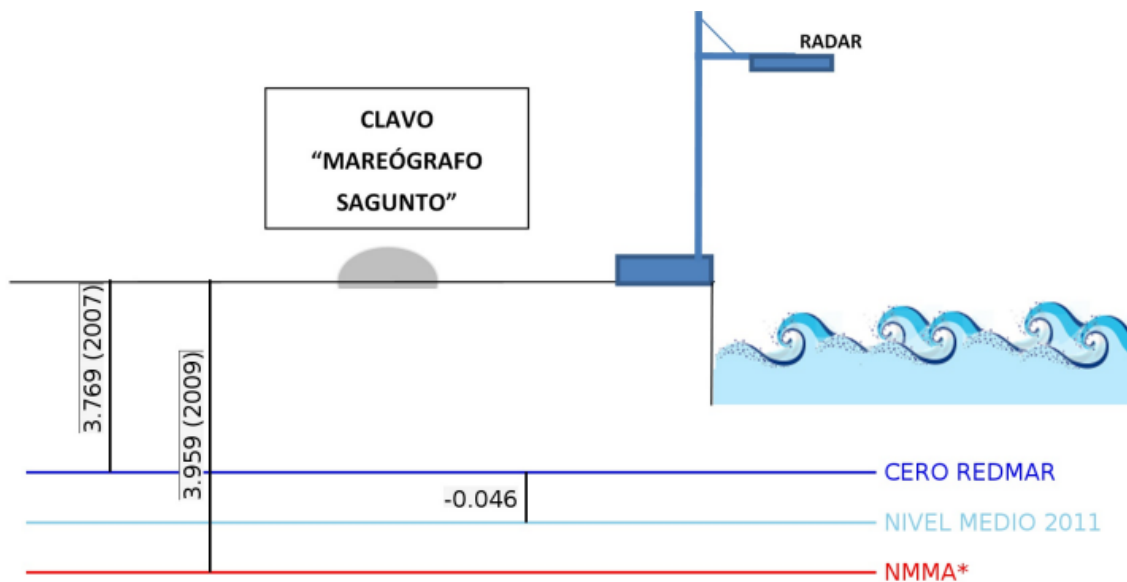


Figura 12 Esquema de posición del mareógrafo respecto a los niveles del mar. Fuente: Puertos del Estado.

#### 4.1.1 NIVEL DEL MAR

La mayor frecuencia es el nivel del mar variante entre -5 cm y 0 cm (Referenciado al cero REDMAR), sobrepasando pocas veces los 20 cm

NIVEL MEDIO DEL MAR

MES	2022		2021		2020	
	REDMAR (m)	ALICANTE (m)	REDMAR (m)	ALICANTE (m)	REDMAR (m)	ALICANTE (m)
ENERO	-1,3	-1,11	-0,36	-0,17	-0,45	-0,26
FEBRERO	1,66	1,85	-0,25	-0,06	-1,53	-1,34
MARZO	-0,91	-0,72	-1,48	-1,29	-0,48	-0,29
ABRIL	-0,66	-0,47	-0,4	-0,21	-0,03	0,16
MAYO	-0,48	-0,29	-0,84	-0,65	-0,3	-0,11
JUNIO	0,18	0,37	-0,08	0,11	0,34	0,53
JULIO	-0,08	0,11	0,02	0,21	0,32	0,51
AGOSTO	0,23	0,42	0,57	0,76	0,53	0,72
SEPTIEMBRE	0,85	1,04	0,74	0,93	0,25	0,44
OCTUBRE	0,46	0,65	0,33	0,52	0,37	0,59
NOVIEMBRE	0,61	0,8	1,17	1,36	0,48	0,67
DICIEMBRE	1,1	1,29	-0,23	-0,04	0,38	0,57

Tabla 3 Nivel medio del mar en referencia al cero REDMAR y al NMMAlicante. Fuente: Puertos del Estado.

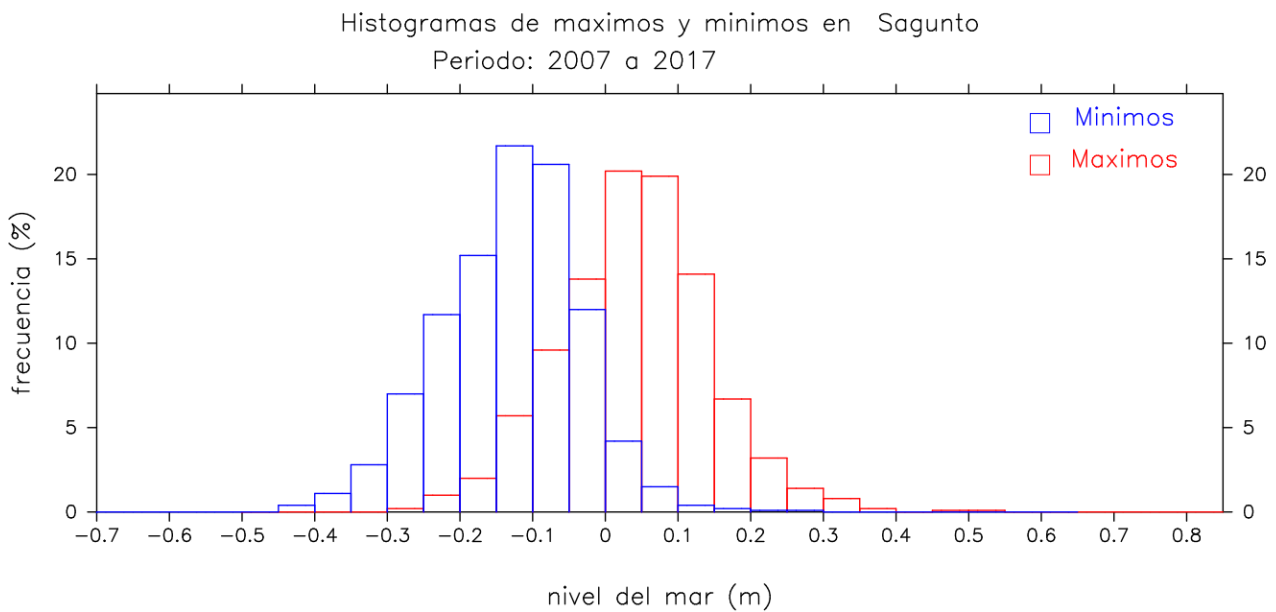


Figura 13 Distribución de frecuencia relativa de mínimos y máximos observados. Fuente: Puertos del Estado

MAXIMO HISTÓRICO: +0,55 m

MÍNIMO HISTÓRICO: -0,45 m

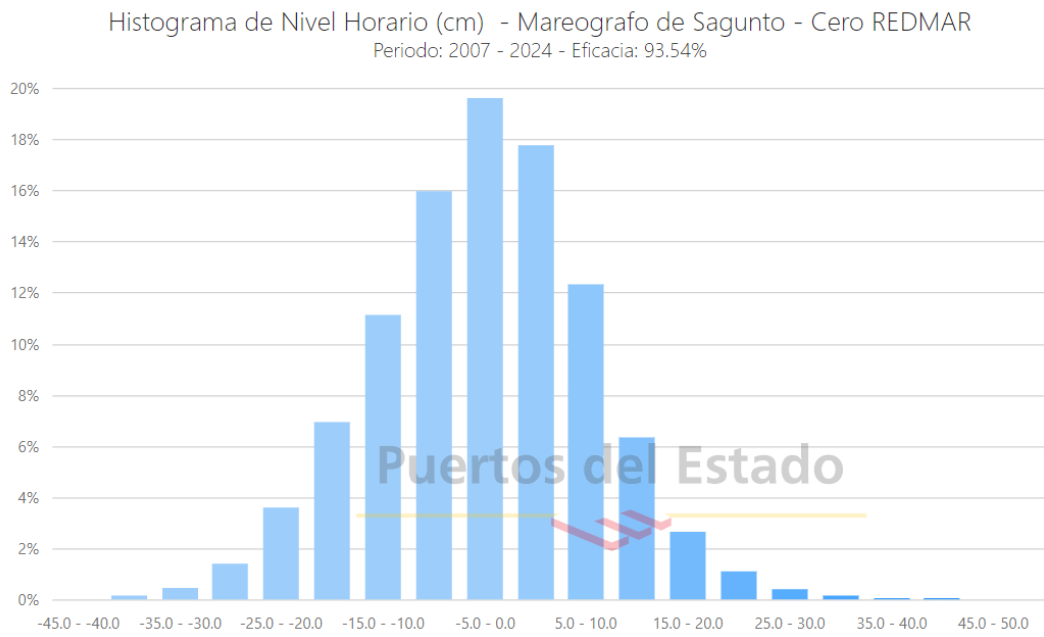


Figura 14 Histograma de nivel horario global. Fuente: Puertos del Estado

#### 4.1.2 RÉGIMEN DE VIENTOS

Se ha obtenido la información histórica del punto SIMAR más cercano a la zona de actuación para tener una mayor representatividad. (Puertos del estado, n.d.)

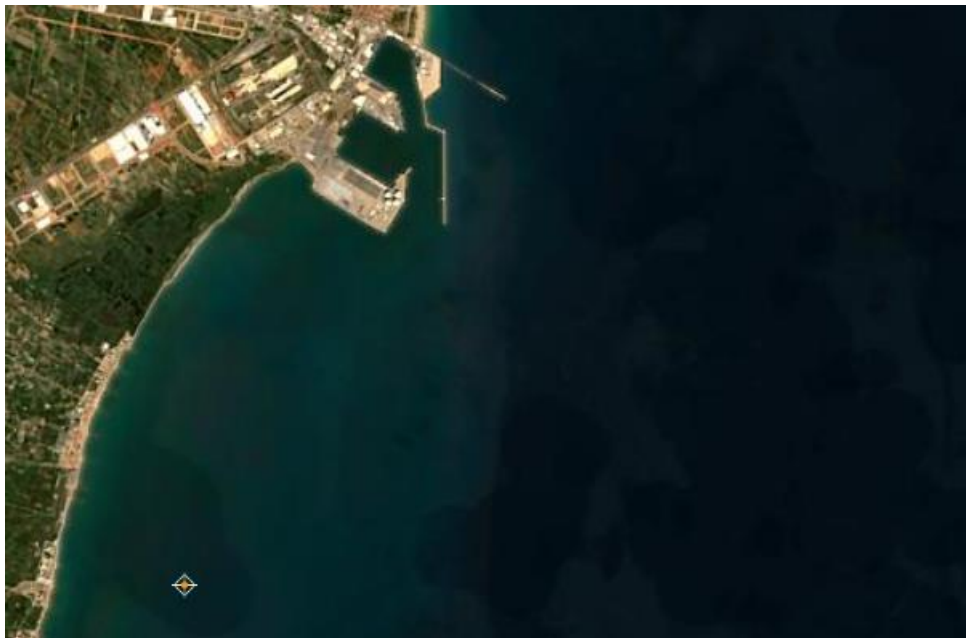


Figura 15 Ubicación zona a estudio y punto SIMAR 2081115

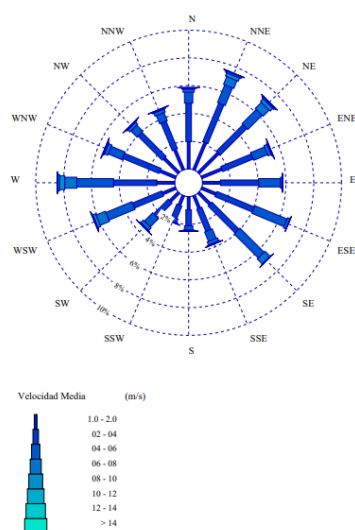


Figura 16 Rosa de Viento anual. Fuente: Puertos del Estado

Aún así, las direcciones del viento en el periodo de invierno y verano son muy diversas. En invierno frecuentan más las procedentes del oeste y en verano del este, siguiendo un régimen muy variado a lo largo del año.

Dirección	Ve (m/s)									Total
	≤ 1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	> 14.0	
CALMAS	12.809									12.809
N 0.0		1.965	2.774	.788	.227	.070	.024	.006	.002	5.857
NNE 22.5		2.124	3.023	1.375	.609	.245	.107	.041	.024	7.549
NE 45.0		2.022	2.709	1.449	.629	.254	.094	.044	.021	7.221
ENE 67.5		1.585	2.366	1.078	.245	.065	.019	.005	.002	5.365
E 90.0		1.292	2.744	1.575	.109	.021	.009	.002	-	5.751
ESE 112.5		1.134	2.916	2.498	.201	.008	.001	-	-	6.758
SE 135.0		1.174	2.753	2.455	.516	.032	.002	.001	-	6.932
SSE 157.5		.988	1.737	.738	.238	.070	.007	-	-	3.778
S 180.0		.946	1.157	.303	.064	.012	.002	.003	-	2.486
SSW 202.5		.751	.970	.275	.063	.012	.006	-	-	2.079
SW 225.0		.883	1.480	.852	.261	.061	.009	-	-	3.546
WSW 247.5		1.028	2.265	2.035	.724	.208	.052	.016	.006	6.334
W 270.0		1.281	3.121	2.641	.874	.372	.114	.026	.014	8.443
WNW 292.5		1.238	2.838	1.065	.254	.083	.022	.009	.006	5.515
NW 315.0		1.488	2.462	.627	.206	.063	.020	.014	.004	4.884
NNW 337.5		1.585	2.144	.634	.219	.077	.023	.005	.006	4.693
Total	12.809	21.485	37.457	20.387	5.439	1.653	.510	.173	.086	100 %

Tabla 4 Velocidades del viento según las direcciones y frecuencias. Fuente: Puertos del Estado.

Las velocidades con mayor frecuencia son entre 4 y 6 m/s, seguidas después por los 2 m/s y temporales de calmas (Menores a 1 m/s).



### 4.1.3 OLEAJE

Para el oleaje se ha recurrido a la rosa del oleaje que proporciona la boja de Valencia.

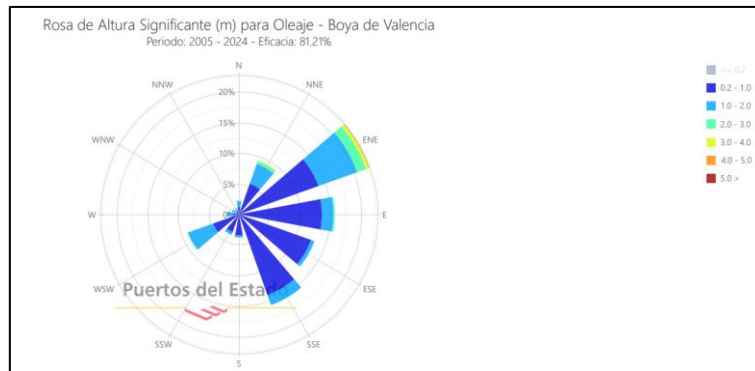


Figura 17 Rosa del oleaje. Fuente: Puertos del Estado

En ella se observan las direcciones más frecuentes en aguas profundas, las cuales se extrapolan al área de estudio a modo de simplificación ubicándola en la zona más crítica para ello, la esquina del Muelle Sur 2 del Puerto de Sagunto, ya que hace de barrera a toda el área de estudio y, por tanto, limita el oleaje en ella.

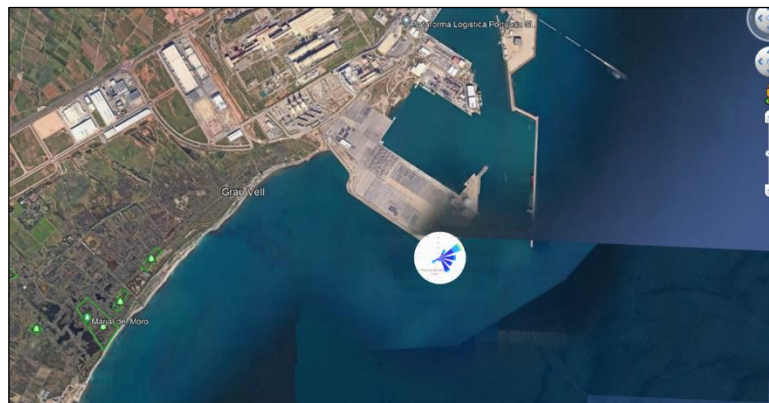


Figura 18 Simulación del oleaje en la zona de actuación

### RÉGIMEN MEDIO

El Régimen Medio se encuentra relacionado con los escenarios con mayor probabilidad de ocurrencia a los que se va a someter la estructura proyectada.

El porcentaje más alto anual es el de  $H_s = 1$  metros con un periodo de 4 segundos

Tabla Periodo de Pico (Tp) - Altura Significativa (Hs) en %

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	-	0.074	4.551	9.365	8.872	7.133	3.429	0.918	0.167	0.137	0.004	34.650
1.0	-	-	1.064	11.981	11.706	6.894	5.352	3.902	0.578	0.139	0.022	41.637
1.5	-	-	-	0.905	7.113	2.686	1.726	2.035	0.971	0.417	0.015	15.868
2.0	-	-	-	0.002	0.992	1.437	0.745	0.736	0.443	0.502	0.026	4.883
2.5	-	-	-	-	0.013	0.269	0.395	0.367	0.208	0.297	0.033	1.583
3.0	-	-	-	-	-	0.022	0.141	0.243	0.119	0.128	0.033	0.686
3.5	-	-	-	-	-	0.002	0.035	0.150	0.072	0.124	0.017	0.400
4.0	-	-	-	-	-	-	0.002	0.072	0.037	0.046	0.017	0.174
4.5	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.009	0.024	0.011	0.048
5.0	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.004	0.004	0.011	0.022
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002	0.022	0.026	0.050
Total	-	0.074	5.615	22.254	28.696	18.443	11.825	8.429	2.610	1.839	0.215	100 %

Tabla 5 Periodo de Pico y Altura Significativa anual. Fuente: Puertos del Estado

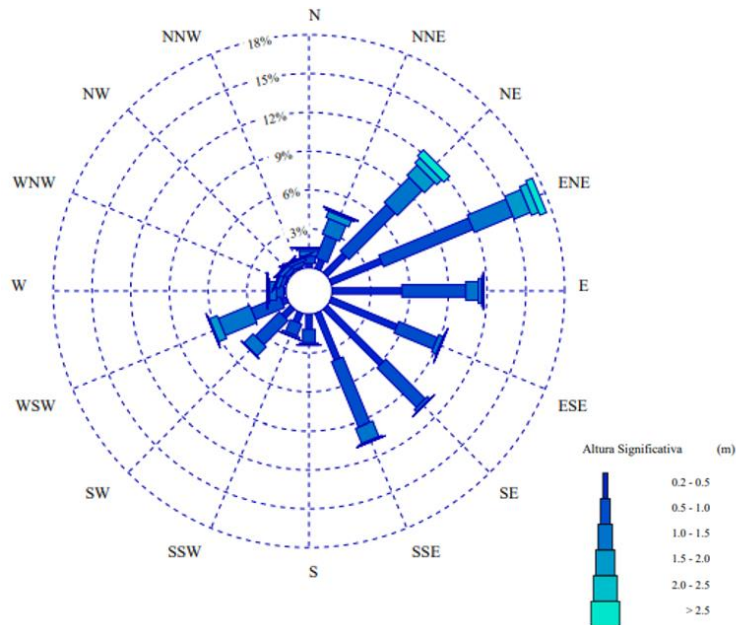


Figura 19 Rosa del oleaje anual. Fuente: Puertos del Estado (Puertos del estado, n.d.)

Como se puede observar en el gráfico, las direcciones más frecuentes son las de NE, ENE y E, llegando incluso en las dos primeras a olas mayores a 2,5 m

Destacar que, la dirección con mayor frecuencia de todas (ENE), queda anulada por la presencia del puerto de Sagunto, siendo las direcciones más frecuentes SSE y E.

Para estimar la dirección media con las direcciones restantes se ha realizado una media ponderada con los ángulos incidentes y sus respectivas frecuencias.

GRADOS ( $\alpha$ ) respecto al norte	FRECUENCIA (%)
60°	22,5
90°	16,0
120°	12,5
150°	15,0

Tabla 6 Direcciones y frecuencias del oleaje en nivel medio. Fuente: Puertos del Estado

Mediante una media ponderada y los resultados obtenidos se puede obtener la dirección de flujo medio del oleaje en la zona a estudio, que daría el siguiente resultado:

$$\alpha_{media} = 65,4^{\circ}$$

El cual coincide con una dirección ENE - E, algo que era de esperar dada la localización de la playa.

Mediante la distribución de Weibull y los datos proporcionados por Puertos del Estado, se obtienen las siguientes alturas de ola significantes para las 3 direcciones principales existentes.

Dirección	E	SE	SSE
Hs (m)	4,11	2,19	2,18

Tabla 7 Alturas significante de olas según las direcciones predominantes. Fuente: Puertos del Estado

Si se hace un estudio estacional, se concluye que, de junio a agosto, los valores de Hs tienen un porcentaje mayor en el periodo de 5 segundos aunque los valores de Hs no llegan a más de 3,5 m.

Por otro lado, de diciembre a febrero cuentan con mayores alturas de olas registradas, llegando a superar los 5 metros, aunque en periodos de pico más altos y menores porcentajes.

### RÉGIMEN EXTREMAL

En este caso, el régimen extremal se relaciona con las situaciones de temporales, las que poseen menos probabilidad de ocurrencia.

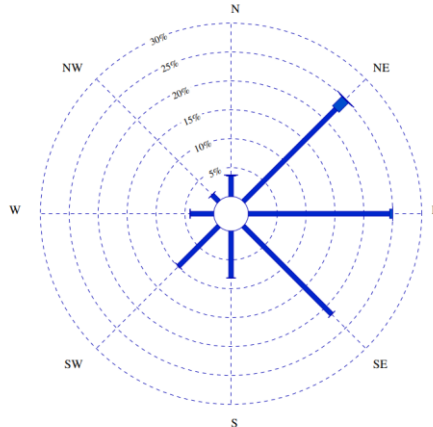


Figura 20 Direcciones del oleaje y frecuencias en régimen extremal. Fuente: Puertos del Estado.

Mediante el índice IRE e ISA se ha obtenido el periodo de retorno (Procedimiento mejor detallado en el Anejo 2 de Estudios Previos) y a partir de él se ha calculado la altura de ola significativa y periodo de pico usando los parámetros de la distribución de Weibull indicada en el informe de Régimen Extremal de la Boya de Valencia. (Puertos del Estado, n.d.)

$$Tr = \frac{Vida \text{ Útil}}{Pf}$$

$$H_s = \beta \left( -\ln \left( \frac{1}{\lambda T_r} \right) \right)^{1/\gamma} + \alpha$$

$$T_p = 4,30 H_s^{0,48}$$

Dando los siguientes resultados:

Tr = 125 años.

Hs = 10,37 m

Tp=13,21 s

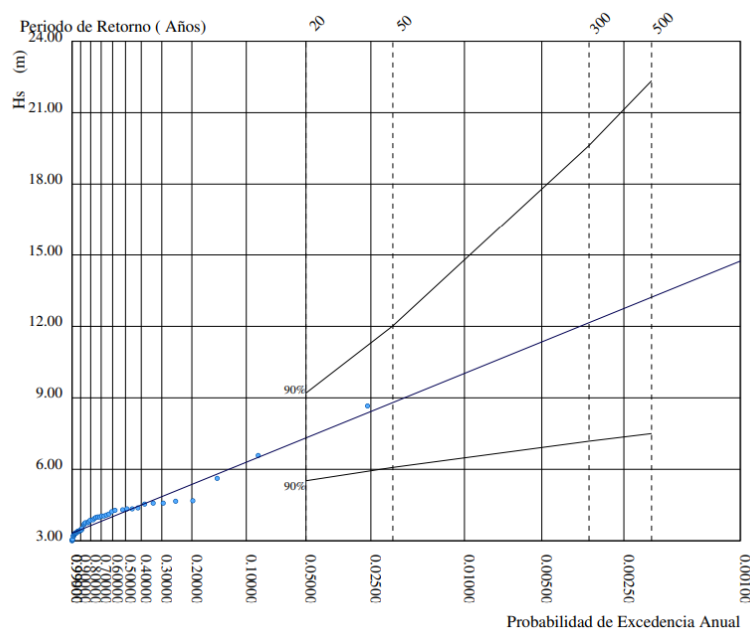


Figura 21 Ajuste de la distribución de Weibull. Fuente: Puertos del Estado

#### 4.1.4 COTA DE INUNDACIÓN

La inundación en un instante determinado (CI) corresponde a la siguiente ecuación.

$$CI = MM + MA + NMM + RU + CC$$

Siendo:

NMM: Nivel Medio del mar

MM: Marea meteorológica

MA: Marea astronómica

RU: Run – Up

CC: Cambio climático

Mediante el programa IOLE.v4, (IH Cantabria, n.d.) obtiene cota y distancia máxima de inundación en el litoral que acompaña a *La Marjal dels Moros* añadiendo el dato de aumento del nivel del mar igual a 0.1 m en el mar mediterráneo (Periodo cercano) a causa del cambio climático

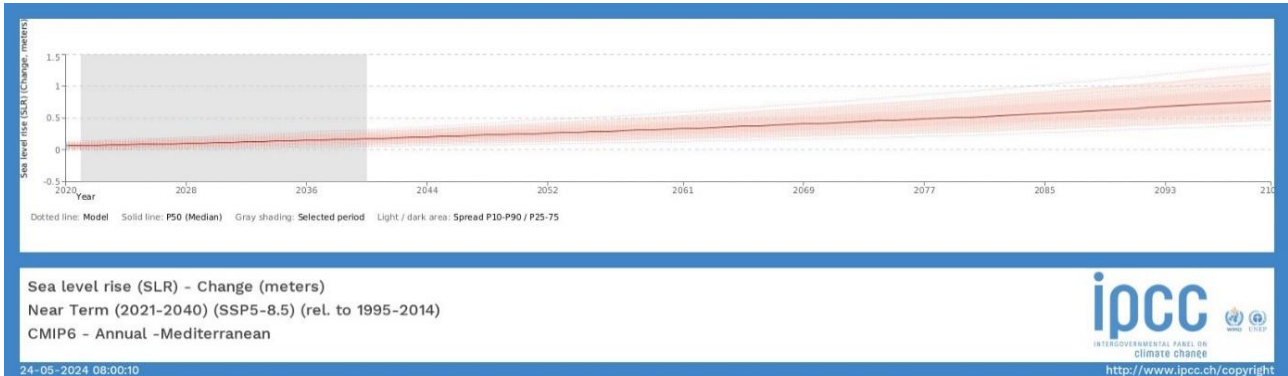


Figura 22 Cambio del nivel del mar en el Mar Mediterráneo. Fuente: web IPCC

Para el estudio se ha dividido toda la costa de interés en 4 puntos cuyas características se muestran en la tabla siguiente.



Figura 23 Localización de la distribución de los puntos seleccionados a estudio. Fuente: Google Earth

CARACTERÍSTICAS	PUNTO			
	1	2	3	4
Pendiente (%)	3.3	1,7	3,1	3,1
Profundidad de cierre (m NMMA)	2,5	4,3	2,3	2,1

Tabla 8 Características de los puntos estudiados. Fuente: Programa IOLE.v4

Una vez introducidos los datos del cambio climático y los puntos a estudio se obtienen los perfiles sumergidos y emergidos de cada uno (Véase Anejo 2), de los cuales se obtiene la distancia y cota de inundación descrita previamente mediante un ajuste extremal haciendo uso de la distribución POT (Peaks Over Threshold) para los periodos de retorno de 10, 50 100 y 500 años

Las siguientes tablas muestran los resultados:

m	Tr			
PUNTO 1	10	50	100	500
Distancia	289,19	299,10	302,70	308,11
Cota	1,37	1,40	1,42	1,45
Área (m <sup>2</sup> )	396,99	418,61	429,05	446,34

Tabla 9 Distancia, cota y área de inundación en el punto 1

m	Tr			
PUNTO 2	10	50	100	500
Distancia	88,91	95,07	95,51	95,95
Cota	1,52	1,57	1,58	1,60
Área (m <sup>2</sup> )	135,48	149,18	151,17	153,61

Tabla 10 Distancia, cota y área de inundación en el punto 2

m	Tr			
PUNTO 3	10	50	100	500
Distancia	144,96	154,79	154,79	154,79
Cota	1,28	1,77	1,80	1,84
Área	185,25	274,60	279,03	285,06

Tabla 11 Distancia, cota y área de inundación en el punto 3

m	Tr			
PUNTO 4	10	50	100	500
Distancia	79,46	102,71	120,16	170,54
Cota	0,96	2,05	1,90	1,01
Área	76,54	210,46	228,24	172,63

Tabla 12 Distancia, cota y área de inundación en el punto 4



Figura 24 Representación de la distancia de inundación con Tr = 10 y Tr= 50 años.



Figura 25 Representación de la distancia de inundación con Tr = 100 y Tr = 500 años.

La inundación **llega al área de La Marjal dels Moros**, por tanto, se requiere de una acción para frenar esta tendencia.

## 5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para la estimación del transporte de sedimentos, se va a tener en cuenta solamente el tramo Sur, ya que el Norte aparte de ser el más rigidizado, tiene anuladas las direcciones de oleaje más significantes por estar más próximo al Puerto de Sagunto, obteniendo valores depreciables a la hora del transporte.



Figura 26 Simulación del oleaje a lo largo de la costa a estudio. Fuente: Elaboración propia

### RESULTADO

Primero se obtiene el transporte medio con el método de Longuet – Higgins y después se calcula el caudal mediante la fórmula de CERC a la altura del punto 3 y 2 indicados anteriormente, ya que se consideran como los más representativos al no estar tan cerca del espigón. Todo el procedimiento y resultados quedan mejor detallados en el Anejo 2 de Estudios Previos.

Finalmente se obtiene que, al año, por el punto 3 se transportan 39.000 tn de sedimentos, llegándole del punto 2 un total de 34.000 tn.

La diferencia entre ambos da el resultado de la cantidad total que se queda depositada entre estos dos puntos, siendo igual a: **-5.000 tn**

Se evidencia así el **proceso erosivo** que sufre la costa al tener un balance total negativo, reflejando que por el punto tres se transportan más sedimentos del que le llegan en sentido longitudinal.

## 6. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Según el Mapa Geológico Nacional,(Instituto Geográfico Minero Español, n.d.) la costa a estudio presenta las siguientes características geológicas

- 32 LIMOS PARDOS
- 31 ALBUFERA. LIMOS NEGROS
- 2 ARENISCAS
- 35 ALUVIAL-COLUVIAL. ARCILLAS ARENOSAS CON CANTOS
- 26 LIMOS DE INUNDACIÓN. LIMOS GRISES

- 28 MANTOS DE ARROYADA. ARCILLAS ROJAS CON NIVELES DE CANTOS
- 27 MANTOS DE ARROYADA. ARCILLAS ROJAS CON NIVELES DE CANTOS Y COSTRAS ZONALES

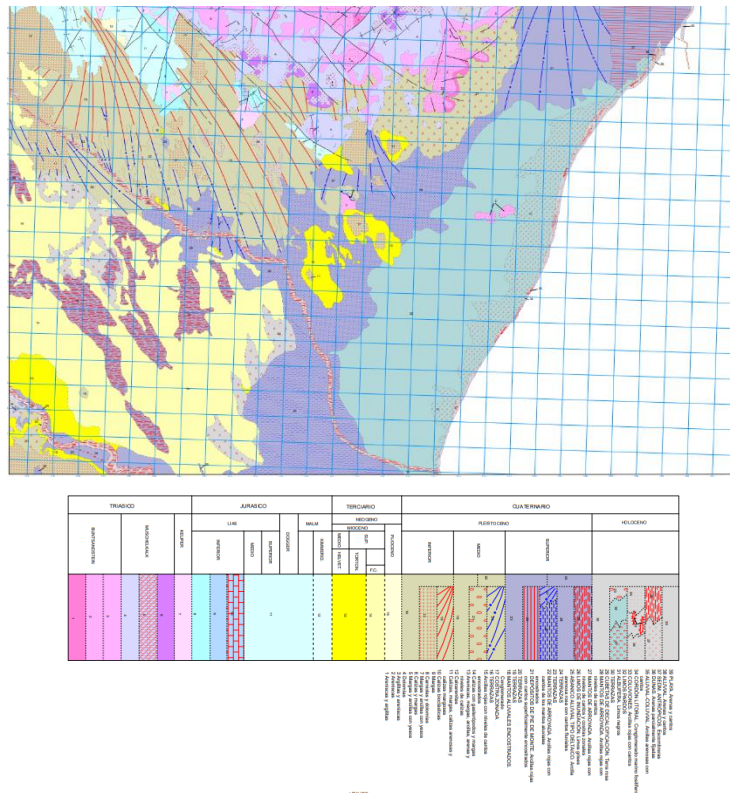


Figura 27 Zona a estudio en la hoja de Burjassot y su leyenda. Fuente: IGME

### 6.1 CARACTERIZACIÓN DEL FONDO MARINO

El fondo marino correspondiente al área de estudio se encuentra formado, según el *Instituto Geográfico y Minero Español* (IGME) por sedimentos no consolidados muy finos y, a más o menos dos kilómetros de la línea de costa, sedimentos no consolidados medios/ gruesos, muy finos y bastante vegetación de alta densidad en algunas áreas.



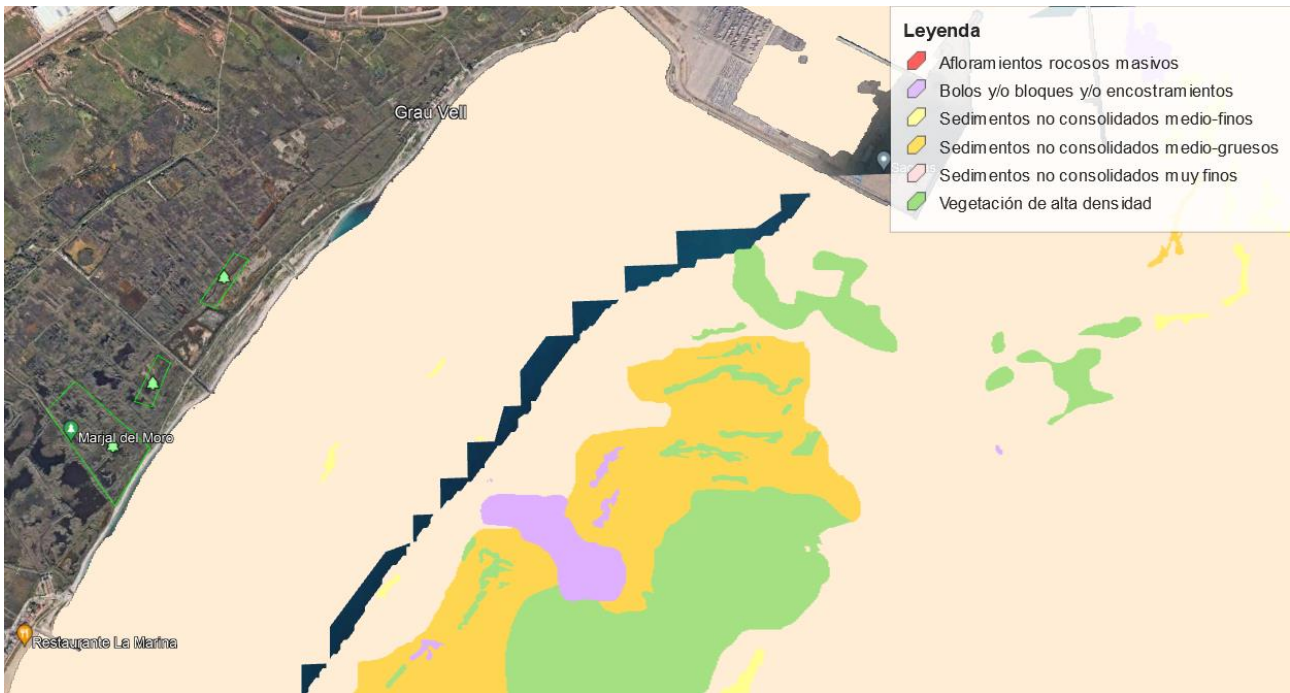


Figura 28 Caracterización del fondo marino. Fuente: IGME

### LIMITACIONES MEDIOAMBIENTALES

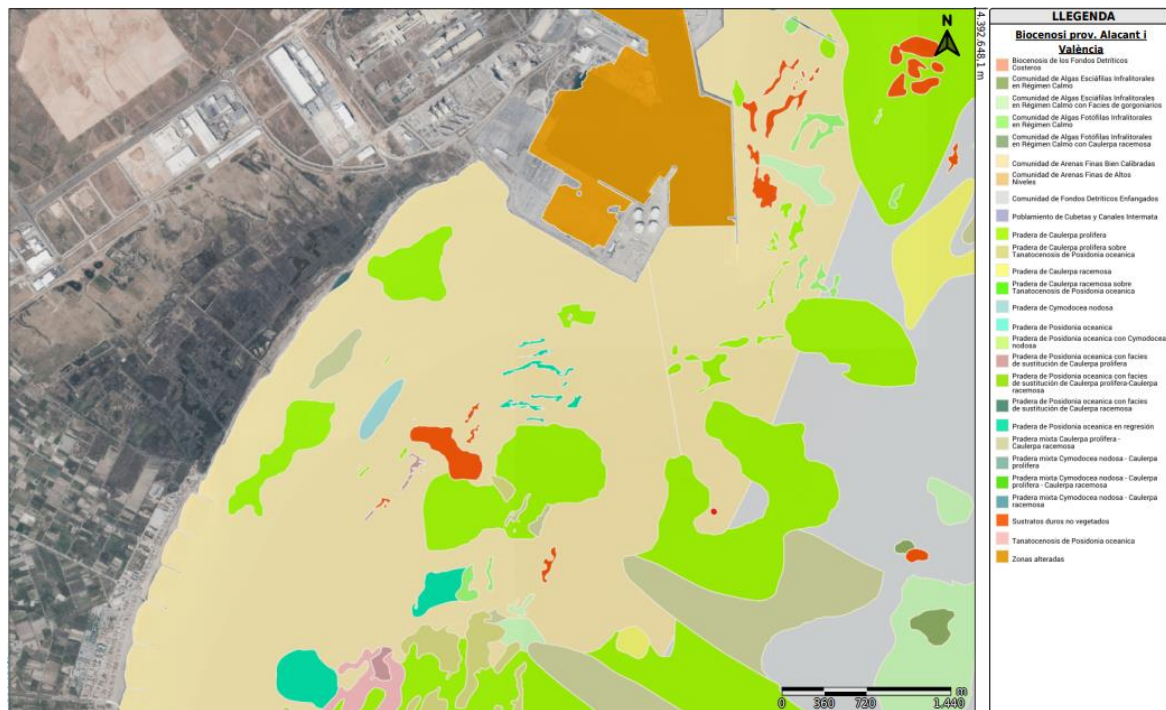


Figura 29 Biocenosis en el ámbito de actuación. Fuente: Visor cartográfico de la Generalitat Valenciana

Hay que destacar la presencia de *Posidonia oceánica* en cerca del ámbito de actuación.



Figura 30 Posidonia Oceánica cerca del ámbito de estudio. Fuente: Visor Cartográfico de GVA.

Esta planta acuática perteneciente a la familia *Posidoniaceae* se caracteriza por ser endémica del mar Mediterráneo y tiene una elevada importancia para el ecosistema marino, ya que en ella albergan multitud de animales marinos, a la vez que sirve de alimento para otros y emite oxígeno al realizar la labor de la fotosíntesis.

También ayuda a controlar la erosión excesiva de la costa produciendo sedimentos y a controlar el oleaje.

Aunque su ubicación es lejana a la costa, es una planta bastante sensible con la que hay que tomar medidas medioambientales con el fin de evitar causarle cualquier tipo de afección. Lo óptimo será el uso de **barreras antiturbidez** que eviten la alteración del fondo en exceso al frenar el paso de elementos suspendidos que puedan contaminarlas.



Figura 31 Barrera antiturbidez. Fuente: Google Imágenes.

Por último, se observa bastante cantidad de *Caulerpa Prolifera*, comúnmente denominada Oreja de Liebre, la cual es un tipo de alga verde perteneciente a la familia *Caulerpaceae*.

## 7. BATIMETRÍA



Figura 32 Batimetría general. Fuente: MITECO

A modo resumen, se concluye que la batimetría en sentido transversal a la costa se observa bastante homogénea, con más pendiente en el primer kilómetro de costa (Se ha aproximado a un ángulo de  $25^\circ$ ) y luego siendo un poco más horizontal (Unos  $15^\circ$ ). En sentido paralelo a la costa, hay algunas discontinuidades que pueden deberse a la presencia del propio Puerto de Sagunto, que al frenar las distintas corrientes y oleaje ha causado cambios en el fondo marino, ya que estas discontinuidades van variando conforme se alejan del mismo.

## 8. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Para poder garantizar una estabilidad en el frente litoral de protección para la Marjal del Moro, será necesario recurrir a una obra de regeneración y protección costera, mediante una combinación de obra dura y obra blanda.

Entran a estudio las opciones como espigones y diques exentos o arrecifales como obra dura, las cuales crean un impacto difícil de revertir en el ecosistema. De igual manera será necesario estudiar la opción de técnica no estructural obra blanda.

Al ser un trabajo de carácter académico, se va a suponer que el oleaje y las corrientes que indica el punto SIMAR en aguas profundas equivale al que habría en la costa, ya que no se dispone de los datos necesarios para poder interpolar en la línea de costa.

### 8.1 OBRA ESTRUCTURAL DE DEFENSA TRANSVERSAL: ESPIGONES

#### 8.1.1 PREDIMENSIONAMIENTO EN PLANTA

Esta actuación perpendicular a la línea de costa sirve de apoyo para paralizar el transporte de sedimentos ya que es un obstáculo para el flujo de corrientes que evita que se depositen sedimentos a sota mar de este, evitando la recesión al otro lado de la obra.

Con todo ello, se plantean dos espigones perpendiculares situados a la altura del punto 3 identificado anteriormente.

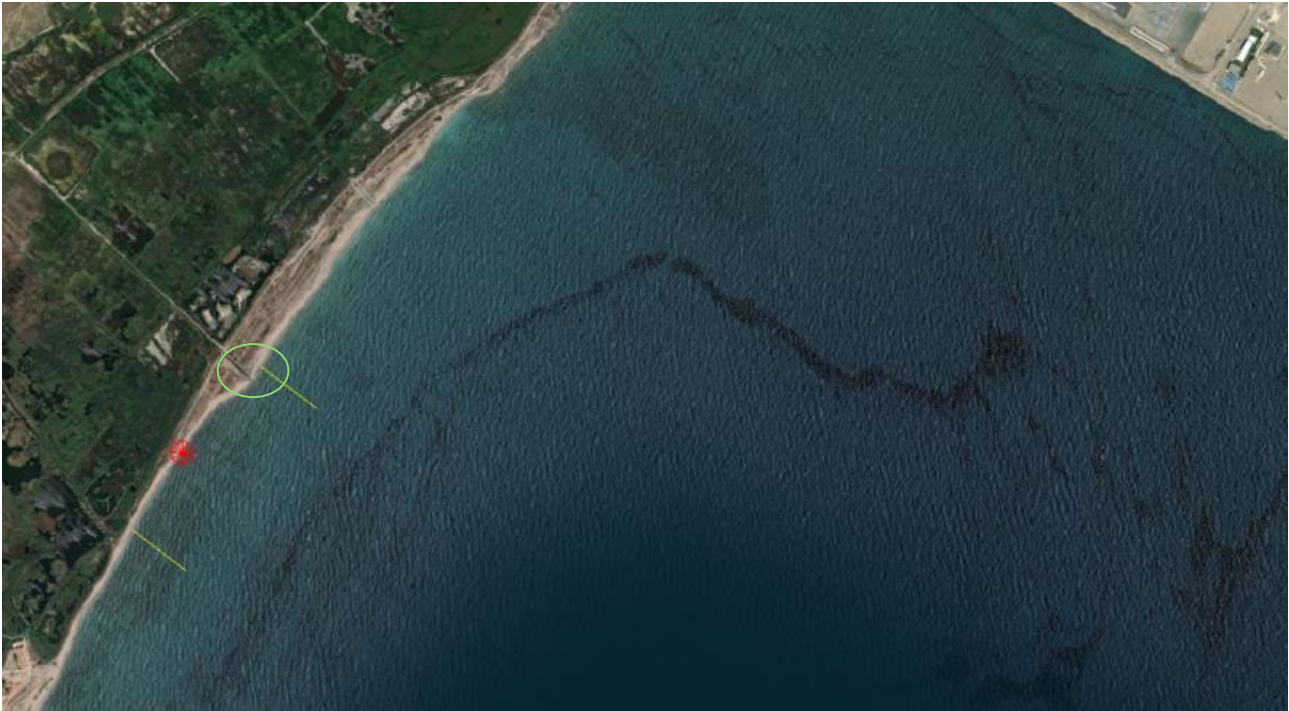


Figura 33 Ubicación de los espigones en planta (En amarillo) y del punto de aporte de sedimentos de origen fluvial (En verde). Fuente: Elaboración propia.



Figura 34 Punto de aporte de sedimentos de origen fluvial. Fuente: Elaboración propia

La longitud de los dos se obtiene relacionando la profundidad de cierre con la batimetría y obteniendo una longitud de cálculo que después se reduce para no frenar al 100% el paso de sedimentos transversamente

	h*(m)	Longitud de cálculo(m)	Longitud final (m)
Próximo al 3	2.3	107	<b>100</b>

Tabla 13 Longitud de cálculo de espigones según la profundidad de cierre. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se calcula el caudal saliente del punto tres con la suposición de la presencia de los espigones, habiendo ahora una diferencia de 2.222 kg de sedimentos que se quedan depositados entre

el punto dos y tres, demostrando que aumenta el volumen de sedimentos depositados entre ambos puntos siendo una opción **válida** para a su estabilización.

### 8.1.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN

Para predimensionar los espigones, se tiene como base la sección de un dique en talud tipo Ahrens, sin ninguna estructura en su coronación.

Con ello se definen unas características iniciales que posteriormente se pueden variar si los resultados lo requieren para una mejora de su comportamiento.

En este caso, se define un

- Manto principal formado por escollera
- La anchura de coronación será de 4 m
- Carrera de marea de 0,5 m

Mediante la fórmula de estimación de Hudson (Medina & Vidal, 2014) generalizada, basada en la de Iribarren (1938) se obtiene el peso de las piezas del manto principal

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

Siendo en este caso:

- $K_D=2$ , que es el coeficiente de estabilidad para el diseño con oleaje rompiente en la estructura (Demostrado en el Anejo 4), para la sección perteneciente al tronco.
- $H$ = Altura de ola de diseño en rotura, la cual es igual al calado más desfavorable (En este caso 2 metros por ser la línea batimétrica correspondiente al morro del espigón) multiplicado por 0,55, cuyo valor es 1,1 m
- $\alpha= 64,43^\circ$  por seleccionar el talud 1:2
- Por último,  $\gamma_w$  y  $\gamma_r$  son las densidades del agua marina y del árido de cantera, con resultado de  $1027 \text{ kg/m}^3$  y  $2500 \text{ kg/m}^3$  respectivamente.

Finalmente, la ecuación da como resultado **W = 1.179 Kg**.

Sabiendo el peso de cada pieza, se puede obtener el diámetro nominal de cada una, aplicando la siguiente ecuación y obteniendo los siguientes resultados:

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

- $D_{50 \text{ manto principal}}$  da un valor de 0,80 m, que al multiplicarlo por dos se obtiene el espesor total de su manto correspondiente.
- De igual forma, la mitad del  $D_{50 \text{ del manto principal}}$  corresponde con el del filtro, que da un valor de  $D_{50 \text{ filtro}}$  igual a 0.40 m.
- El espesor de la capa de filtro es igual a  $D_{50 \text{ manto principal}} * 1,5$  con resultado de 1,2 m

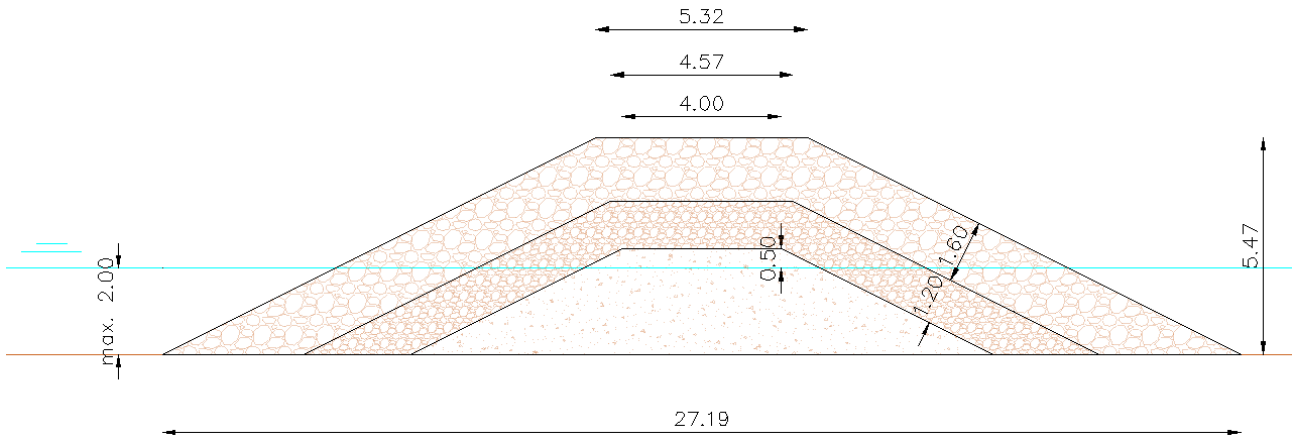


Figura 35 Esquema de la sección principal del espigón. Fuente: Elaboración propia

Para la zona del morro del espigón se disminuye el coeficiente  $K_d$  a 1,3 por mayor seguridad al ser la zona más expuesta al oleaje

$K_D$	W (Kg)	$D_{50 \text{ principal}}$ (m)	$D_{50 \text{ filtro}}$ (m)
1,3	1.813	0,90	0,45

Tabla 14 Resultado de las dimensiones de las piezas que forman los espigones

### 8.1.3 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

La obra blanda lo que procura es un mantenimiento de la línea de costa, pero de forma temporal, ya que sin obras duras los sedimentos terminan depositándose aguas abajo, requiriendo otra vez de más aportes.

Cada alternativa requiere de distintos volúmenes de aporte, por tanto, en esta primera estimación se van a valorar solo las erosiones localizadas, las cuales estiman el volumen necesario para regenerar directamente las pérdidas de sedimento mediante la siguiente fórmula: (Millán, 2023) Una vez concretada la alternativa escogida se tendrán en cuenta otros valores como el cambio climático y el transporte longitudinal.

$$V(m^3) = L \times x \times (d + h)$$

Cuyas variables son:

L: la longitud del tramo

x: erosión durante los años

d+h: Suma de la profundidad de cierre y la altura de berma

Lo común para las 4 alternativas es la longitud del tramo en el que actuar (1.300 metros) y la variación de ancho de la playa en planta, la cual se ha obtenido midiendo la diferencia en 5 puntos en retroceso en el año actual respecto al año 2020, a lo largo del tramo en el que se actúa y se ha obtenido una media de 4,62 metros durante los cuatro años, lo que da un valor de 1,15 metros por año (x).

También se considerará una altura de berma (h) igual a 2 m y una profundidad de cierre (d) de 5,97 m, obtenida en el apartado de cálculo de transporte de sedimentos.

Aplicando la fórmula descrita con anterioridad se obtiene un volumen de:

$$V(m^3) = 1300 \times 4.62 \times (5.97 + 2) = \mathbf{41.861,82 \text{ m}^3}$$

Como la erosión se ha obtenido con la diferencia de los años 2020 y 2024, el volumen por año necesario será de 10.466 m<sup>3</sup>

### 8.1.4 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN

Para la valoración económica se ha recurrido a los datos abiertos de la web Base de datos de construcción. En el Anejo 5 se indica con mayor detalle el procedimiento para obtener la estimación del coste de ejecución

COSTE (€) / t		MEDICIÓN (t)	PRECIO (€)
Núcleo	18,19	6.222,5	113191,26
Ejecución mantos	19,50	15.992,5	311876,14
Alimentación artificial	6,82	108.840,73	742.293,79
<b>ALTERNATIVA 1</b>		<b>1.592.428,58 €</b>	

Tabla 15 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 1

### 8.2 DIQUE EXENTO CON FORMACIÓN DE TÓMBOLO

En esta alternativa, se va a estudiar la construcción de un dique exento con formación de tómbolo.

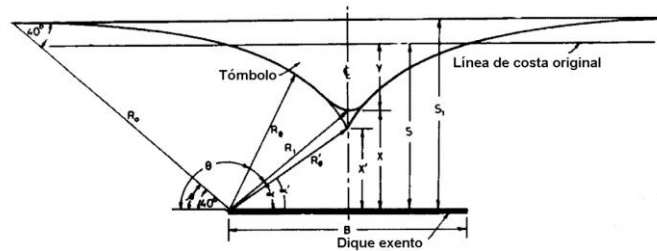


Figura 36 Evolución de una obra exenta en planta. Fuente: R.Silvester et al(G Sole Diaz, n.d.)

Para el predimensionamiento del dique con formación de tómbolo se hace uso de la relación determinada por Hsu y Silvester, que indicaban que si  $S/B=0,192$ , se forma un tómbolo 100% desarrollado

Se predimensiona la longitud del dique a 200 m (B), siendo S = a 266 m desde la línea de costa.

Mediante trigonometría y la siguiente fórmula se puede hacer una apreciación del tómbolo producido.

$$\frac{S1}{B} = 0.1112 + 1,082 * \left(\frac{S}{B}\right)$$

- S1 = 310 m.
- El valor de R0 = 482 m
- Como el objetivo es crear un tómbolo, X = 0
- $\alpha' = 59,32^\circ$



Figura 37 Representación estimada del tómbolo producido por el dique exento. Fuente: Elaboración propia.

### 8.2.1 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN

Para el predimensionamiento de la sección del dique se sigue el mismo procedimiento detallado en la alternativa 1, optando también por un manto principal formado por escollera artificial, pero con un talud distinto, siendo en este caso un 4:3

- Manto principal formado por escollera
- La anchura de coronación será de 4 m
- Carrera de marea de 0,5 m
- Profundidad a la que permanecerá el dique = -4 m por ser la batimétrica en la que sustenta

Los parámetros de la fórmula de Hudson tienen los siguientes valores:

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

- $K_D=2$ , que es el coeficiente de estabilidad para el diseño con oleaje rompiente en la estructura.
- $H$ = Altura de ola de diseño en rotura, la cual es igual al calado más desfavorable (En este caso 4 metros por ser la línea batimétrica correspondiente al morro del espigón) multiplicado por 0,55 cuyo valor es 2.2 m
- $\alpha= 36,87^\circ$
- Y por último  $\gamma_w$  y  $\gamma_r$  son las densidades del agua marina y del árido de cantera, que tienen los mismos valores que los usados en la primera alternativa ( $1.027 \text{ kg/m}^3$  y  $2.500 \text{ kg/m}^3$  respectivamente).

Cada pieza de escollera de la sección principal tendrá un peso de **W = 6.015 Kg**.

Volviendo a usar la siguiente ecuación, se obtiene el diámetro nominal medio de las piezas del manto principal, el cual es igual a 1,35 m. Multiplicando este resultado por 2, calcula el espesor total del manto. De la misma manera, multiplicando  $1,35 \cdot 0,5$  se obtiene el  $D_{50}$  de la capa del filtro, cuyo espesor es igual a  $1,70 \cdot 1,5$ .



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

- $D_{50}$  manto principal da un valor de 1,35 m, que al multiplicarlo por dos se obtiene el espesor total de su manto correspondiente.
- $D_{50}$  filtro igual a 0,68 m.
- El espesor de la capa de filtro es igual a  $D_{50 \text{ filtro}} * 1,5$  con resultado de 1,02 m

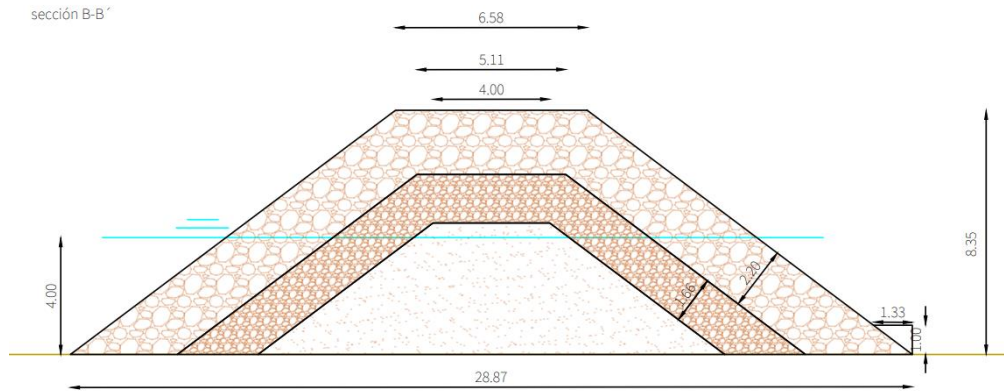


Figura 38 Esquema de la sección principal del dique exento. Fuente: Elaboración propia.

Igual que en la primera alternativa, el coeficiente de estabilidad se reduce a 1,3 para calcular el peso de las piezas de escollera en los extremos del dique exento.

$K_D$	W (Kg)	$D_{50}$ principal (m)	$D_{50}$ filtro (m)
1,3	9.253	1,5	0,7

Tabla 16 Resultado de las dimensiones de las piezas que forman los espigones en la parte del morro

### 8.2.1 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

En esta alternativa se debe tener en cuenta el tómbolo como extra en el aporte de sedimentos, ya que, si no, se obtendrá el volumen para formarlo igualmente, causando erosión.

El área que ocupa en planta es igual a 36.590 m<sup>2</sup>, con una ocupación de línea de costa de 714 m. Sabiendo eso se calcula el volumen necesario para generar el tómbolo y también regenerar la longitud de playa restante:

$$V_{\text{tombolo}}(m^3) = 36.590 \times (5,97 + 2) = 291.622 m^3$$

$$V_{\text{playa}}(m^3) = (1300 - 714) \times 4,62 \times (5,97 + 2) = 21.600 m^3$$

$$V_{\text{total}}(m^3) = V_{\text{tombolo}} + V_{\text{playa}} = 313.199,35 m^3$$

### 8.2.2 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN

COSTE (€) / t	MEDICIÓN	PRECIO	
Núcleo y camino auxiliar	18,19	38.666,35	703.365,653
Ejecución mantos	19,50	53.590	1.045.080,03
Alimentación artificial	6,82	814.318,31	5.553.650,87
<b>ALTERNATIVA 2</b>			<b>7.302.096,55 €</b>

Tabla 17 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 2

### 8.3 DIQUE ARRECIFE CON FORMACIÓN DE HEMITÓMBOLO

#### 8.3.1 PREDIMENSIONAMIENTO EN PLANTA

En este caso, el dique exento será de tipología arrecife homogéneo sumergido.

Se proyecta la formación de saliente, siendo la relación S/B con resultado dentro del intervalo 5 y 0,75

Se vuelve a suponer una longitud de 200 metros de dique y se obtiene la cifra S = 600 metros perpendiculares a la costa.

Para obtener X se emplea la fórmula:

$$\frac{X}{B} = 0.6784 * \left(\frac{S}{B}\right)^{1.2148}$$

- X = 515,37 m.
- Ro = 1044,72 m. Por otro lado, también se calcula



Figura 39 Estimación del saliente formado por el dique exento. Fuente: Elaboración propia

#### 8.3.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN

El dique homogéneo se caracteriza por la ausencia de núcleo en su interior, lo cual es beneficioso, ya que de esta forma aumenta la porosidad y como resultado permite más paso de sedimento en sentido perpendicular a la estructura.

- 3 capas de piezas apiladas que quedan a ras de la lámina de agua.
- Profundidad de -7 metros.

Se divide la profundidad en tres partes y da un resultado de 2,33 m de ancho cada capa.

Se opta por el uso de piezas especiales de hormigón tipo *Cubípodo*.

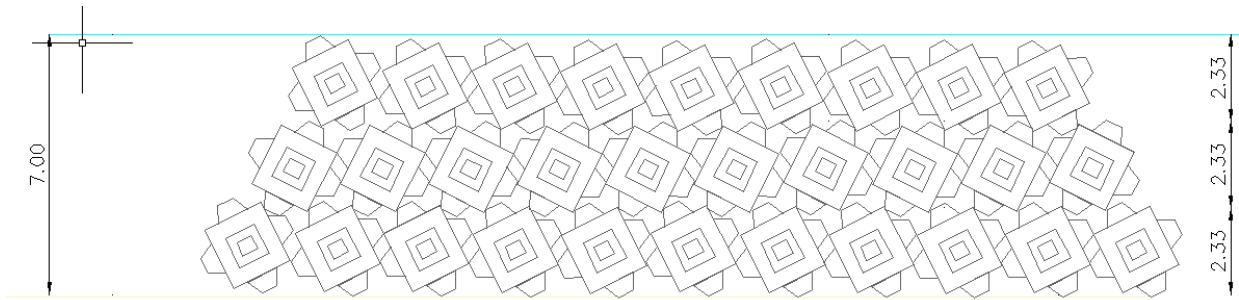
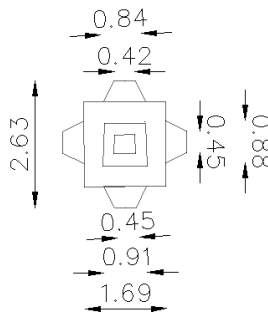


Figura 40 Esquema de la sección principal del dique exento. Fuente: Elaboración propia.

Los Cubípodos deberán de tener las siguientes dimensiones para cumplir con lo representado en la



El peso de cada pieza corresponderá a **W = 42 Tn**, obtenido, otra vez, mediante la fórmula:

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

De la cual se despeja W sabiendo el diámetro nominal de cada pieza (2,63 m) y la densidad del hormigón, que generalmente es igual a 2.300 kg/m<sup>3</sup>

### 8.3.1 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

Igual que en la alternativa 2, se debe tener en cuenta la formación de hemitómbolo, el cual ocupa un área de 41.794,35 m<sup>2</sup> y un espacio en línea de costa de 602 m.

$$V_{\text{hemitómbolo}}(\text{m}^3) = 41.794,35 \times (5,97 + 2) = 333.110 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{playa}}(\text{m}^3) = (1.300 - 602) \times 4,62 \times (5,97 + 2) = 25.701 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}}(\text{m}^3) = V_{\text{tómbolo}} + V_{\text{playa}} = \mathbf{358.803 \text{ m}^3}$$

### 8.3.2 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN

El cálculo para la obtención de la estimación del coste de ejecución se encuentra mejor detallada en el Anejo 5 de Presupuesto y en el Anejo 4 de Alternativas.

	COSTE (€/t)	MEDICIÓN (m3)	PRECIO (€)
Fabricación Cubípodos	94,36	14.060,80	1.326.756,63
Implantación en localización final	44,40	14.060,80	624.356,06
Alimentación artificial	6,82	932.887,8	6.362.294,80
<b>ALTERNATIVA 3</b>			<b>8.313.407,49</b>

Tabla 18 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 3

## 8.4 DIQUE ARRECIFE SIN CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA

### 8.4.1 PREDIMENSIONAMIENTO EN PLANTA

En este caso la relación entre la longitud del dique y la distancia a la orilla es igual a  $S/B > 5$

Volviendo a optar por  $B = 200$  m,  $S$  es igual a 1.000 m

### 8.4.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN

Se vuelve a optar por un dique arrecife homogéneo sumergido y se sigue el mismo procedimiento detallado en la tercera alternativa.

- Profundidad -8.5 m.
- 4 capas

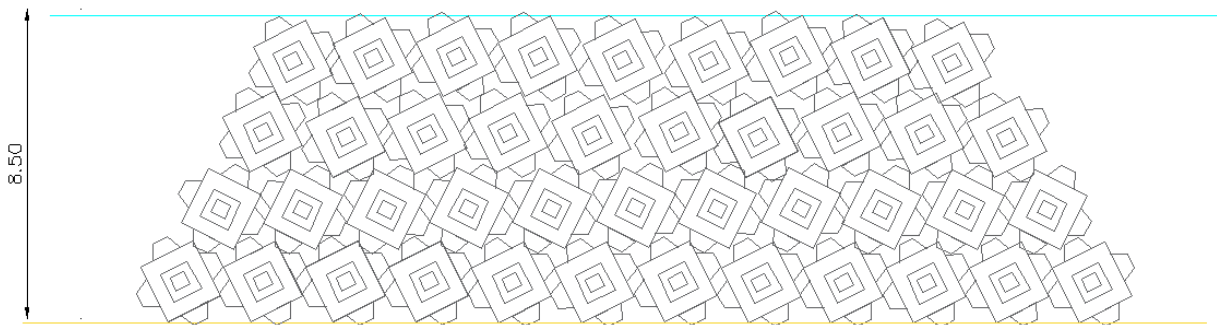


Figura 41 Esquema de la sección principal del dique exento. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, las dimensiones de cada Cubípodo corresponderán a lo detallado en la siguiente imagen.

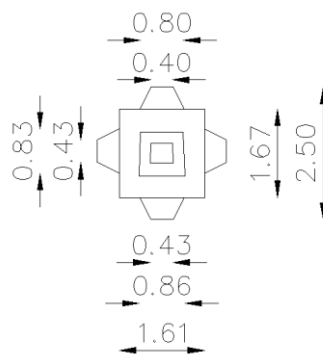


Figura 42 Esquema de las dimensiones de los Cubipodos necesarios para el dique. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el peso de cada Cubípodo corresponde al valor de  $W = 36$  Tn aproximadas de hormigón y  $D_n$  igual a 2,5 m.

### 8.4.1 ESTIMACIÓN DE ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

En esta última alternativa, solo se busca mantener la anchura de playa requerida, por ello el aporte necesario es el mismo que en la primera alternativa ( $10.466$  m<sup>3</sup>/año) ya que así se recuperan los metros perdidos en la diferencia de los 4 años y se mantienen con el tiempo gracias a la obra construida

### 8.4.2 ESTIMACIÓN DE COSTE DE EJECUCIÓN

Para esta última alternativa se sigue el mismo procedimiento detallado en el punto 6.3 y se obtiene el siguiente resultado:

	COSTE (€/m <sup>3</sup> )	MEDICIÓN (m <sup>3</sup> )	PRECIO (€)
Fabricación Cubípodos	94,26	16.484,38	1.553.881,41
Implantación en localización final	44,36	16.484,38	731.238,311
Alimentación artificial	6,82	108.840,73	742.293,79
<b>ALTERNATIVA 4</b>		<b>3.027.357,85</b>	

Tabla 19 Estimación de coste de ejecución de la Alternativa 4

## 9. ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para la elección de la alternativa a ejecutar, hay que tener en cuenta los siguientes condicionantes: El **procedimiento constructivo, el precio, el impacto ambiental y visual y el nivel de protección** que genera.

De todas las alternativas, las tres que menos **impacto visual** generan son la 1, 3 y 4.

La primera alternativa trata de espigones que coinciden con lo implantado en la playa del Puig, por tanto, no destacaría demasiado ni negativamente en el paisaje.

La 3 y 4, al ser diques arrecifes, no sobresalen prácticamente del agua. Además, se encuentran relativamente alejados de la costa, por tanto, el ruido visual que podrían generar se puede considerar prácticamente nulo.

Lo único que sí que habría que destacar es que en sí, la alternativa tres como obra civil no causa un impacto visual elevado, pero la formación del saliente sí. Aun así, la peor alternativa para este condicionante es, sin duda, el dique exento con formación de tómbolo, ya que posee un francobordo de 5.10 metros y de todos los diques propuestos es el que más cerca se encuentra de la orilla, además de la variación de la forma de la playa que causaría dicho tómbolo.

A lo referido con los **procesos constructivos**, los diques homogéneos tienen de positivo que sus piezas se pueden construir cerca del ámbito de la obra o en alguna ubicación apta para su acopio, necesitando solo el encofrado y hormigón determinados. Esto ahorra visitas a canteras para la obtención de escollera, favoreciendo también al medio ambiente ya que no se produce tanto tránsito de camiones para traer el material. También, al ser piezas independientes, se pueden colocar con precisión y permiten un desmantelamiento o cambio de posición de una forma rápida y sencilla.

Cabe destacar que sí es necesario de material granular para la construcción de una mota auxiliar que sirva como plataforma de trabajo, en el caso de que se decida construir por medios terrestres. Esta mota se desmantelará al finalizar la construcción de los diques exentos. Lo más adecuado es que todo se haga por medios terrestres quitando la alternativa 4, que puede ser apta construir por medios marinos dada su profundidad.

Sí que es verdad que, en el caso de los espigones, se construye avanzando desde tierra, siendo la mota auxiliar el núcleo de la estructura y una vez alcanzada la longitud total se construye en movimiento inverso, rematando las capas restantes. De esta forma se aprovecha la mota auxiliar y no hace falta retirar nada al terminar la obra.

Teniendo esto en cuenta, la peor alternativa debido al procedimiento constructivo es la 2, ya que se necesita de mota auxiliar y su construcción es más elaborada, al tener que realizar sus distintas capas y conseguir la escollera o arena apta para cada una de ellas.

Los diques exentos arrecifes con piezas especiales son los más positivos para el **medio ambiente**, ya que, aunque son un obstáculo para el paso de transporte, son menos agresivos que los que poseen escollera. Por otro lado, se caracterizan por ser aptos para colonizarlos con corales, no solo no perjudicándolos si no favoreciéndolos, ayudando a conservar en muchos casos la biodiversidad marina.

A pesar de ello, la huella de carbono es mayor en la producción del hormigón que en la de escollera y la construcción de ambos es la más profunda, habiendo más riesgo de alterar el ecosistema marino durante la construcción.

Siguiendo en la línea del medio ambiente, la alternativa que menos varía la playa en planta manteniendo un frente litoral estable es la Alternativa 4, y la peor la 2.

Descartando la alternativa 2 por ser la más desfavorable en todos los condicionantes planteados hasta ahora, se valora la cantidad aproximada de material para la obra blanda necesaria en las alternativas restantes. Las que tienen un valor menor estimado de aporte son la 1 y la 4, lo cual aparte de ser mejor por variar menos la playa en planta, es más favorable económicamente.

Valorando los criterios descritos, se concreta que las mejores alternativas para la estabilización del frente litoral de la Marjal del Moro son la 1 y la 4, junto con su obra blanda correspondiente.

La Alternativa 4 tiene dos opciones de construcción, mediante medios marítimos o terrestres. Dada su profundidad, lo más sencillo será la primera opción, ya que montar una mota auxiliar que luego a de deshacerse con una longitud de 1.000 metros es demasiado requiriendo de volumen de material para su construcción muy elevado.

En la siguiente tabla se observa la puntuación de las diferentes alternativas en los condicionantes valorados, siendo la que obtiene mayor resultado numérico la más favorable de todas,

	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	COSTE	IMPACTO AMBIENTAL Y VISUAL	PROTECCIÓN	APORTE DE ARENA
ALTERNATIVA 1	2	5	3	5	5
ALTERNATIVA 2	1	3	0	5	1
ALTERNATIVA 3	1	1	1	5	3
ALTERNATIVA 4	5	1	5	5	5

Tabla 20 Valoración de las alternativas

Finalmente, **se escoge la alternativa 4**, a construir por medios marítimos por la simplicidad de ser un único dique homogéneo formado por piezas especiales, al contrario que la Alternativa 1, que aunque ha sido la segunda con mayor puntuación requería de la construcción de dos espigones y un mayor aporte de material de cantera en sus tres capas distintas.

## 10. PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción de este dique se puede dividir en dos fases claramente diferenciadas: La primera sería la construcción de los Cubípodos que lo forman y la segunda es la colocación de estos, formando así el dique homogéneo.

## 10.1 DIQUE EXENTO SIN VARIACIÓN EN LA LÍNEA DE COSTA

### 10.1.1 PRIMERA FASE: CONSTRUCCIÓN DE LAS PIEZAS.

La fabricación de los Cubípodos sigue un proceso muy simple, solo es necesario el encofrado correspondiente a las dimensiones acordadas y el hormigón indicado, no siendo necesaria una calidad excepcional al ser en masa.

Lo idóneo es que tanto la fabricación como el almacenamiento coincidan en espacio, siendo este un lugar apto para aguantar las cargas producidas por el peso de las piezas y el paso de maquinaria y que a su vez se encuentre en un radio próximo a la obra.

Sabiendo que el dique consta de un total de piezas 194 piezas, se puede realizar una estimación del área que se va a necesitar para su construcción y almacenamiento.

Se propone un acopio en altura de 5 pisos de Cubípodos, estando cada uno formado por 39 piezas, lo que equivale a 97 metros de largo (Esta longitud puede completarse en varias líneas en planta, no es obligatorio que sea en línea recta) y ocuparía un área total de 243 m<sup>2</sup>, a la cual habría que sumar la línea de fabricación junto con una mota auxiliar elevada para poder realizar el hormigonado.

Para la fabricación y acopio se propone la siguiente explanada perteneciente al Puerto de Sagunto, situada en el muelle sur.

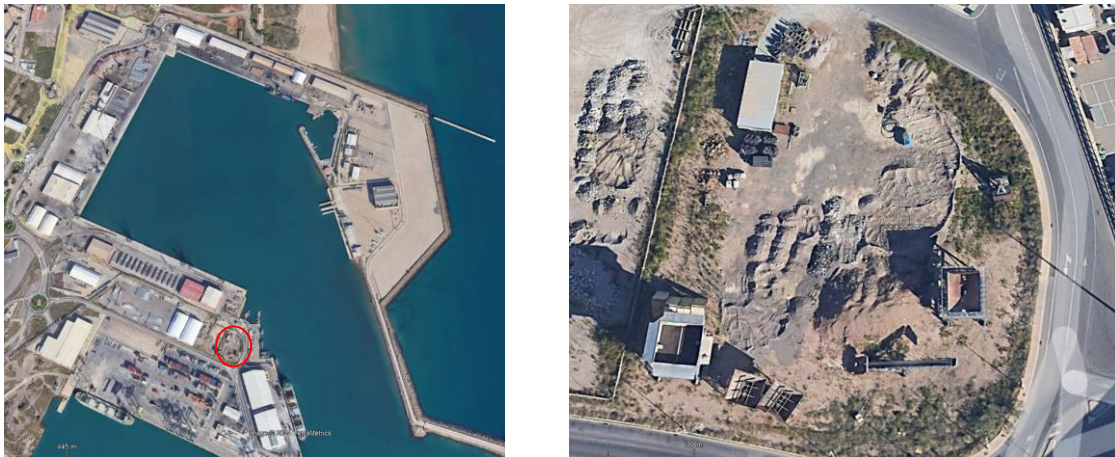


Figura 43 Ubicación y foto aérea de la explanada propuesta. Fuente: Google Earth



Figura 44 Explanada propuesta actualmente. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 46, actualmente la explanada no tiene más uso a parte del de acopio de material. Consta de un área total de 3.660 m<sup>2</sup> y su ubicación es muy beneficiosa para la obra constructiva, ya que se encuentra dentro del propio puerto y eso facilita el transporte de las piezas a la pontona que acercará los Cubípodos a la ubicación para depositarlos en su lugar correspondiente.

Para ello sería necesario solicitar un alquiler a la Autoridad Portuaria y realizar una serie de trabajos previos para adecuar la explanada. En ellos entrarían tareas como desbroce de la vegetación, adecuación del terreno para soportar las cargas (Como podría ser insertar capas de suelo seleccionado y compactarlas) y nivelación del terreno, sobre todo el destinado al acopio. También sería necesario construir el vial auxiliar elevado para hormigonar las piezas en serie, el cual tendría una altura de dos metros y un ancho de 5.

Además, se deberá de realizar huecos en el suelo que permitan introducir las protuberancias de los Cubípodos acopiados y así mantener las demás alturas de forma estable.



*Figura 45 Ejemplo de colocación de las piezas en el acopio. Fuente: Web del Cubipod.*

En la siguiente figura se muestra una opción de como distribuir la ubicación de la fabricación y acopio en obra para que se pueda trabajar sin choques en los itinerarios.



*Figura 46 Propuesta de organización de las tareas de encofrado y acopio en planta. Fuente: Elaboración propia.*



El área roja señala la opción donde colocar la zona de hormigonado, el área verde sería la destinada a el acopio y la azul la puerta de entrada y salida de vehículos.

### **10.1.2 ENCOFRADO Y HORMIGONADO**

El encofrado se caracteriza por permitir el desencoframiento vertical a las 6 u 8 horas de hormigonar, de una forma sencilla por tener conicidad y chaflán en las aristas

También tienen de positivo que ocupan menos espacio y responden mejor ante los residuos de la obra y las posibles irregularidades del terreno, siendo más fácil para hormigonar piezas en menos tiempo, ya que se pueden realizar líneas con los diferentes encofrados y que estas se hormigonen desde arriba en serie.



*Figura 47 Cubípodo encofrado. Fuente: Web del Cubípod.*



*Figura 48 Línea de encofrado en serie. Fuente: Web del Cubípod.*

Con todo ello, se pueden obtener de una a tres puestas en un mismo día.

En la presentación de la alternativa se detalló las dimensiones correspondientes al Cubípodo, al cual le corresponde un valor de peso igual a 36 Tn por pieza.

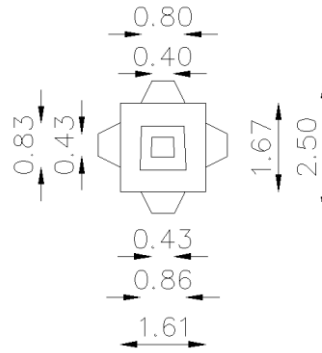


Figura 49 Esquema de las dimensiones de los Cubípodos necesarios para el dique. Fuente: Elaboración propia.

## SEGUNDA FASE: TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE LAS PIEZAS.

### 10.1.3 TRANSPORTE

Las piezas se transportarán mediante camiones plataforma o barcazas, manteniendo la base del encofrado para proporcionar una estabilidad mayor durante el paso por carretera. Una vez allí, se trasvasarán a una pontona que los acercará a la zona de obra por medios marítimos.



Figura 50 Transporte de Cubípodos. Fuente: Web del Cubípod.

Es necesario definir pues el muelle por el que se colocarán los Cubípodos en la pontona mediante pinzas de doble presión.

En el Puerto de Sagunto hay varias terminales que ofrecen sus servicios mediante tarifas máximas de euro por tonelada. En total, multiplicando el número de Cubípodos por el peso de cada uno se obtienen 6.984 toneladas a transportar.

La terminal *Noatum Terminal* se encuentra en el muelle sur y ofrece la carga de terminal a buque por la tarifa máxima de 25,11 euros por tonelada para piezas especiales de más de 60 tn. Valorando otros precios de terminales restantes, se puede hacer una estimación de que en el caso de piezas de menos de 60 tn, el precio rondaría los 15 euros por tonelada, que en el caso de este estudio daría un valor de 569.700 euros. Lo bueno de esta terminal es que se encuentra muy próxima a la zona de fabricación y acopio de los Cubípodos, por tanto se reduce en tiempo y coste a la hora de transportarlos.



Figura 51 Ubicación de la terminal y zona de construcción y acopio (en rojo). Fuente: Google Earth

Los Cubípodos se colocarán en la pontona mediante una grúa apta para movilizar piezas de mínimo 36 tn y con pinzas de presión simples.

#### 10.1.4 COLOCACIÓN

La colocación de los Cubípodos por medios marítimos y, por consiguiente, el no uso de una mota auxiliar, requiere de una plataforma auxiliar situada en el mar que mantenga estable una grúa de pinzas simples equipada en su pluma de posicionamiento GPS que coloque los Cubípodos donde indica la malla de posición ya definida. El rendimiento que se suele conseguir con estas grúas es de 8 a 12 Cubípodos/hora

Dada la profundidad de calado a la que se va a construir, lo óptimo va a ser el uso de un tipo de barcaza denominada *Spud Barge*, la cual proporciona una plataforma estable y sólida apta para los trabajos marítimos en el mar.



Figura 52 Imagen de una Spud Barge. Fuente: Google Imágenes.

Aunque la colocación de los Cubípodos no requiere de apoyo mediante buzos, se propone realizar una inspección marítima final con el fin de asegurar la correcta disposición y estado de la estructura.

### SIMULACIÓN DE LA COLOCACIÓN DE LOS CUBÍPODOS CON REBECOS 1.0

Mediante el software REBECOS 1.0 se ha simulado de una forma realista y rápida la colocación de los Cubípodos en su lugar final, proporcionando una vista 3D del proceso y facilitando su diseño, ya que permite tener en cuenta el proceso constructivo de una forma más sencilla.

Para ello, se ha definido la malla de colocación de las piezas en forma de familias constructivas y se ha proporcionado un plano 3D inclinado simulando la batimetría del terreno. Esta inclinación se ha obtenido realizando un corte en el terreno a la altura del dique exento y calculado su línea de tendencia mediante las distancias desde la costa hasta las distintas líneas batimétricas.

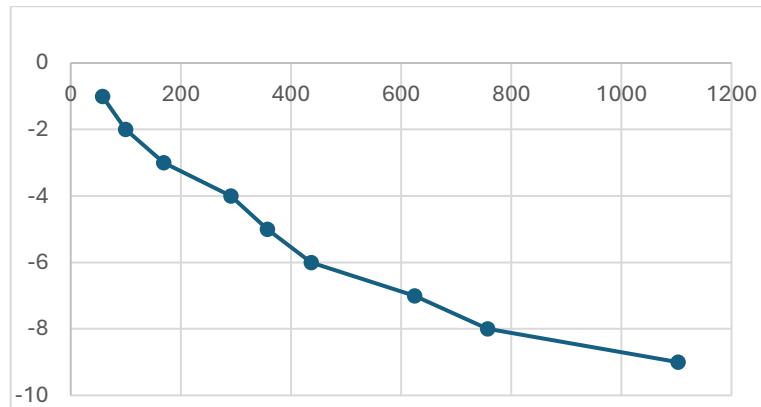


Figura 53 Perfil del terreno. Fuente: Elaboración propia.

En total, la línea de tendencia presenta una pendiente del 45%, pero como el dique se encuentra paralelo a la costa y, se asentaría teóricamente sobre una misma línea batimétrica (8,5), se decide despreciar las inclinaciones anteriores. ya que en dicha batimétrica el perfil de la playa presenta una tendencia más horizontal, concretamente de 10 grados menos. Por tanto, la inclinación del plano 3D que simulará la batimetría del terreno escogida finalmente es de 15 grados, con una pendiente del 27%.

Por otro lado, cada familia simula cada una de las capas del dique exento, teniendo un total de 4.

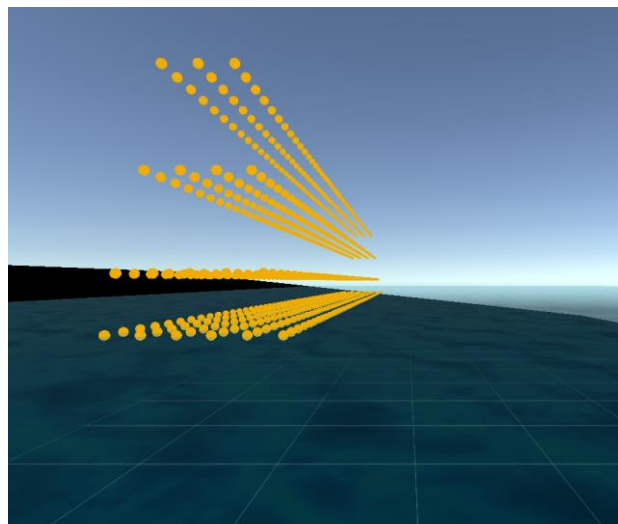


Figura 54 Familias constructivas y plano inclinado en REBECOS 1.0.

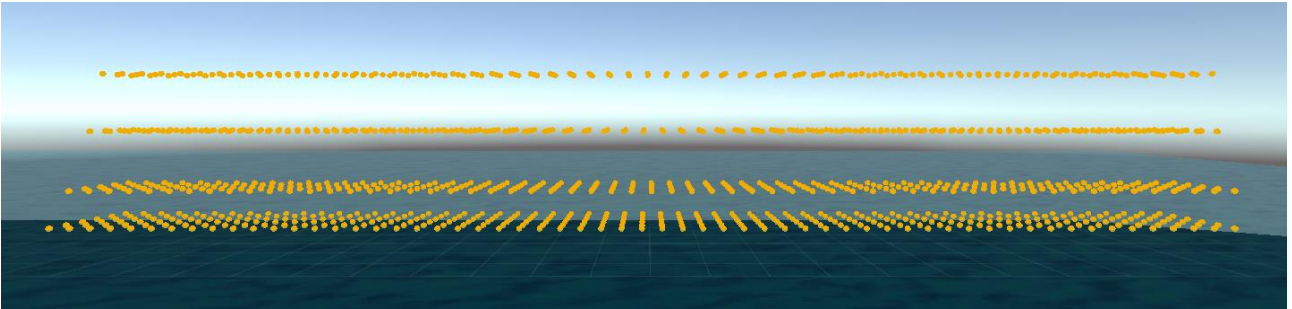


Figura 55 Familias constructivas vistas de frente en REBECOS 1.0.

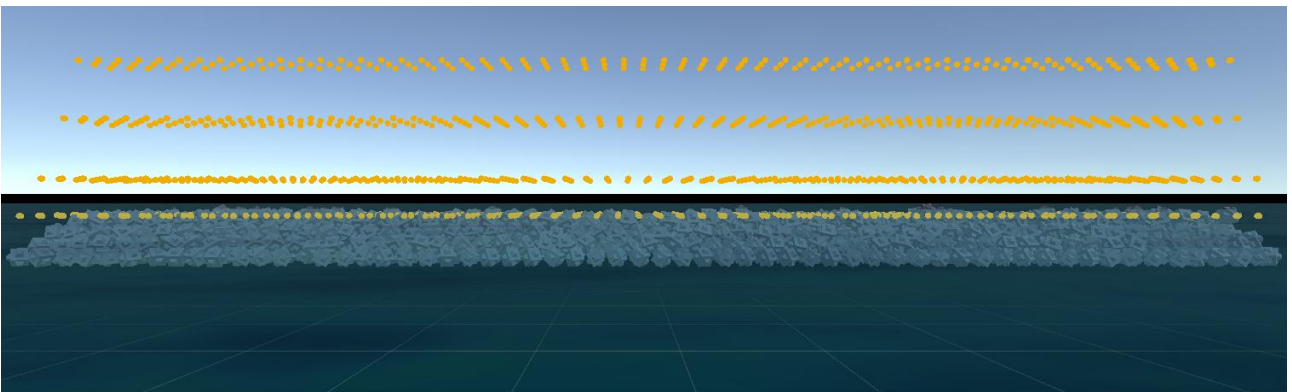


Figura 56 Final de la simulación de frente en REBECOS 1.0.

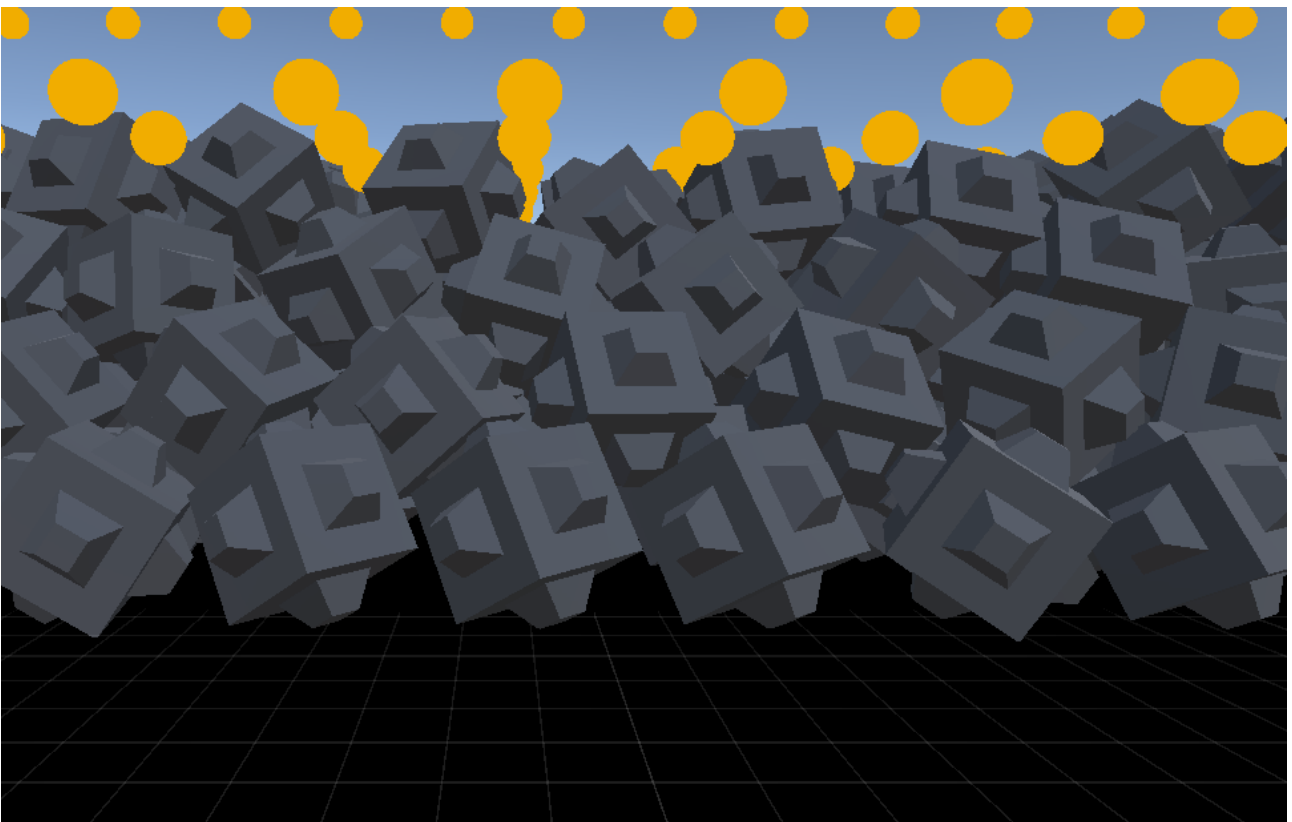


Figura 57 Cubipodos tras la simulación

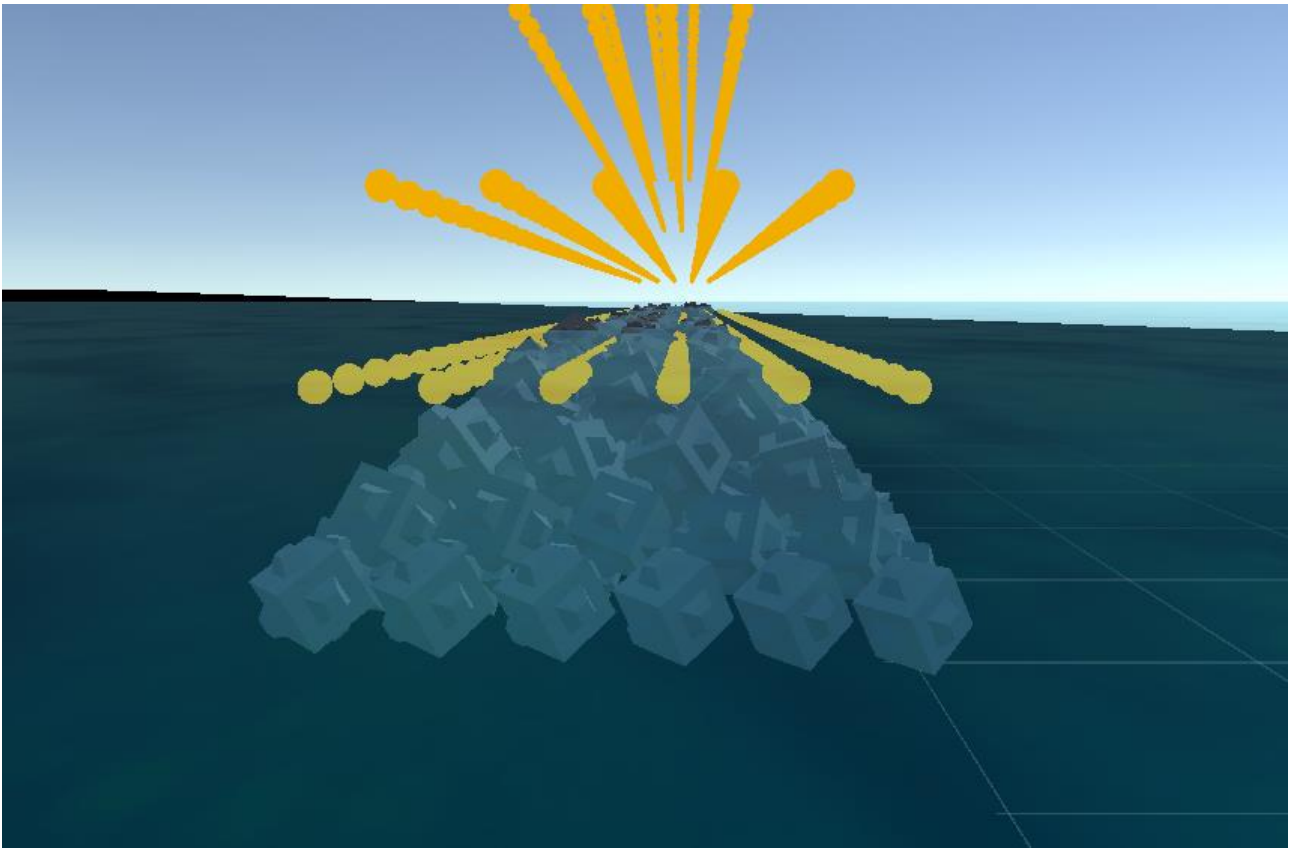


Figura 58 Perfil del dique exento simulado

## 10.2 OBRA BLANDA

### 10.2.1 VOLUMEN DE APORTE

En el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ha calculado la estimación de volumen necesario para regenerar las zonas de playa localizadas que han sufrido de erosión. Para obtener el volumen necesario con el que se regeneraría la playa de la Marjal del Moro, es necesario tener en cuenta no solo el volumen perdido de una forma localizada, también el ocasionado por el transporte longitudinal y por la subida del nivel medio del mar a causa del cambio climático.

#### *EROSIÓN DEBIDA A DINÁMICA LITORAL.*

Se ha estimado un volumen total necesario de: **41.862 m<sup>3</sup>** para regenerar el volumen perdido en 4 años.

#### *EROSIÓN POR CAMBIO CLIMÁTICO*

En este caso, el volumen se calcula de una forma generalizada obteniendo el valor necesario para regenerar la anchura de playa perdida por el ascenso del nivel medio del mar.

Para ello, se usa las fórmulas correspondientes a la Regla de Bruun, publicadas por De la Peña y Sánchez en 2018 en la Revista Digital del CEDEX. (Manuel De La, Olivas, & Francisco Sánchez González, n.d.)

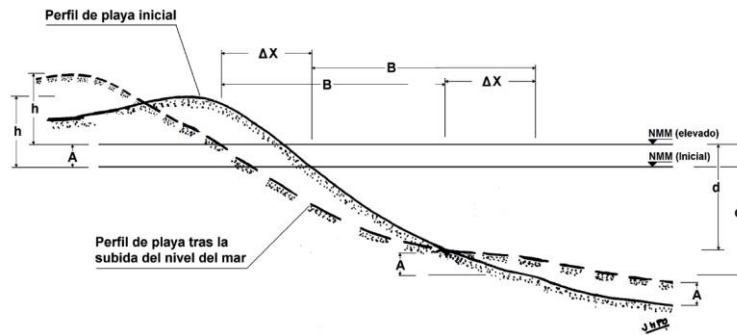


Figura 59 Esquema de las variables de la regla de Bruun. Fuente: José Manuel de la Peña Olivas y José Francisco Sánchez González

$$AB = \Delta X(h + d)$$

$$\Delta X = \frac{AB}{(h + d)} = \frac{A}{\tan \theta}$$

Siendo:

A = Subida del nivel del mar (0,1 en un período cercano)

B = Por la distancia entre la orilla y la profundidad de cierre (420m)

$\Delta X$  = Retroceso de la orilla

h = Berma (2 m)

d = Profundidad de cierre (5,97 m)

La distancia a la profundidad de cierre se ha obtenido como media de diferentes puntos del tramo a actuar hasta la isóbara de -6 metros, ya que es la más representativa a la profundidad de cierre de -5,97 m

Una vez despejada la erosión, se multiplica por la longitud del tramo (1.300 m), dando un valor total de 6.850 m<sup>3</sup> necesarios para corregir la disminución de playa causada por el cambio climático.

Como el valor de subida del mar es el perteneciente a un periodo cercano, el cual abarca de 2021 a 2040, se debe dividir el valor obtenido entre los 19 años para obtener el valor de recesión por año.

AB	42 m <sup>3</sup> /m
$\Delta X$	5,27 m
$\Delta X * L_{total}$	6.851 m <sup>2</sup>
Volumen	54.600
Por año	<b>2.880 m<sup>3</sup></b>
En 4 años	<b>11.520 m<sup>3</sup></b>

Tabla 21 Recesión por la subida del nivel del mar. Fuente: Elaboración propia

### TRANSPORTE LONGITUDINAL

Como se ha indicado en el apartado 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.;** **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** por el punto a la altura del tramo se pierden 5.000 tn de sedimentos que llegan de aguas arriba.

Para regenerar el total de 4 años, se necesitarán 20.000 tn de sedimentos, o lo que es igual a **7.692,31 m<sup>3</sup>** de sedimentos.

## TOTAL

El volumen total de necesario para regenerar la costa perdida durante un período de 4 años, teniendo en cuenta las erosiones por el transporte longitudinal, la subida del nivel del mar y las erosiones localizadas es la suma de los resultados de las tres, siendo esta operación igual a **61.074 m<sup>3</sup>**

### 10.3 COLOCACIÓN EN LA PLAYA

Como se ha calculado previamente, es necesario un total de 53.390 m<sup>3</sup> de sedimentos para conseguir estabilizar la erosión producida en cuatro años.

La playa Sur de Sagunto se caracteriza morfológicamente como una playa de arenas medias y grises con un árido de diámetro medio igual a 0,47 mm.

Para que el aporte sea eficiente, el diámetro medio de los sedimentos incorporados deberá de ser mayor o igual al diámetro medio existente.

Las playas vecinas a el Puerto de Sagunto no cuentan con un árido de tamaño similar apto para hacer un trasvase de arena, la única sería la playa de la Almardá, cuyo diámetro es mucho más superior, siendo igual a 2,28 mm.

Por otro lado, se ha valorado la opción del banco de arena situado a la altura de Cullera, pero sus sedimentos son finos y, por tanto, menores a los que se necesitan para la playa Sur al Puerto de Sagunto.

Finalmente, la mejor opción será conseguir el volumen necesario a partir arenas artificiales, las cuales se obtienen de canteras mediante un machaqueo, redondeo, clasificación y lavado. Después se transportan a la playa y se colocan por tongadas, extendiéndolas sobre el área y reperfilando el perfil después.

La cantera más próxima en radio a la zona de actuación sería la cantera de Lafarge, siendo una opción válida para conseguir el árido requerido.

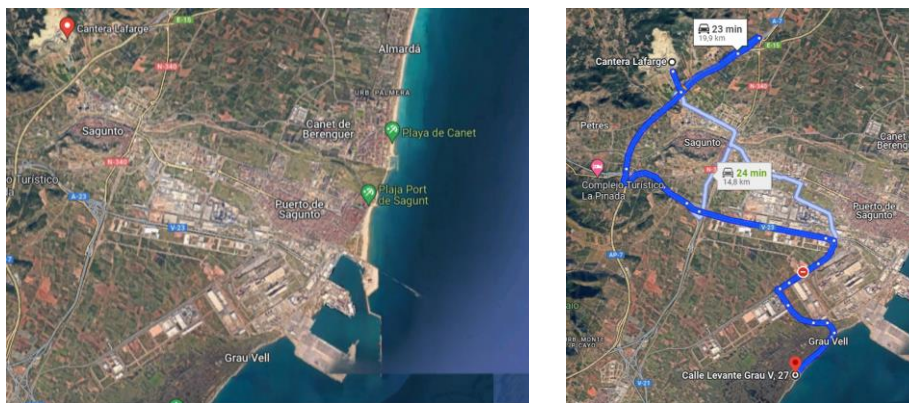


Figura 60 Ubicación cantera más próxima y duración del trayecto. Fuente: Google Earth.

Como se puede observar en la figura anterior, la cantera se encuentra dentro del término municipal de Sagunto, a unos 25 minutos de trayecto por carretera hasta llegar a la zona de vertido.

## 11. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS

Para el plan de trabajo, se ha dividido la obra en dos partes, la construcción del dique y la regeneración de la playa mediante obra blanda.



## 11.1 CONSTRUCCIÓN DEL DIQUE

La construcción del dique se puede dividir en tres actividades individuales: Los trabajos previos, la fabricación de los Cubípodos y la puesta en obra de los mismos/construcción del dique.

### 11.1.1 TRABAJOS PREVIOS

Los trabajos previos incluyen las actividades de adecuación de la explanada para la fabricación y acopio de los Cubípodos, así como la señalización y balizamiento de las obras y obtención de los equipos necesarios para la construcción de las piezas.

Se estima un total de 2 semanas para ello.

### 11.1.2 FABRICACIÓN DE LOS CUBÍPODOS

Para la fabricación de los Cubípodos se propone un total de 18 encofrados para hormigonar en línea. El rendimiento esta acción oscila los 3 Cubípodos por día, hormigonando al día un total de 54 Cubípodos.

Siendo el total de Cubípodos necesarios para construir el dique igual a 1.055, se necesitarán 20 días laborables para la fabricación de estos.

### 11.1.3 PUESTA EN OBRA DE LOS CUBÍPODOS

Se va a considerar un rendimiento de colocación de 8 Cubípodos por hora por medios marítimos. Esto implica un total de 132 horas necesarias para colocar los 1.055 Cubípodos en su lugar correspondiente.

Se considera también un total de 12 horas por día en las que se puede trabajar por haber luz solar, por tanto, los días necesarios para la colocación de las piezas en obra son 11.

### 11.1.4 OTROS TRABAJOS

Durante todo el proceso de obra, será necesario de un seguimiento ambiental y de seguridad y salud. Además de una gestión de residuos constante, desde las actividades previas hasta el desmantelamiento total de todos los equipos y sitios de trabajo.

### 11.1.5 TOTAL DE DÍAS LABORALES

Para la construcción del dique exento será necesario de 45 días laborales.

### 11.1.6 DIAGRAMA DE GANTT

Para la realización de las obras en el mar, se debe tener en cuenta el clima marítimo y cual sería la mejor época para que los trabajos se vean lo menor posible entorpecidos por las acciones del mar.

El período de mayor porcentaje de calma es el que abarca de junio a agosto, lo único es que, al tratarse de una obra marítima, lo más conveniente sería que no se solapara con la época estival, con el fin de no afectar demasiado a los posibles turistas que quieran disfrutar del mar y la playa en verano.

Por ello, se decide proponer como fecha de comienzo abril de 2025, para poder terminar la obra del dique en junio.

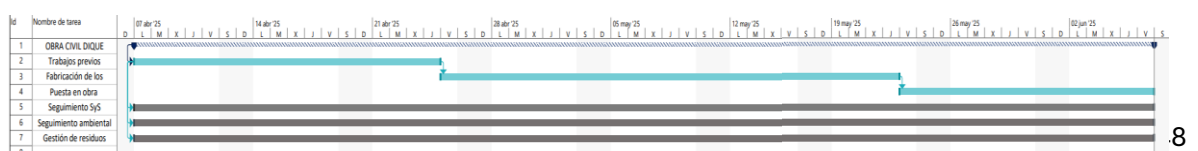


Figura 61. Propuesta de plan de obra para la construcción del dique exento Fuente: Elaboración propia.

## 11.2 REGENERACIÓN DE LA PLAYA/APORTE DE SEDIMENTOS

La regeneración de la playa Sur del Puerto de Sagunto mediante árido de cantera solo cuenta del transporte de este a la playa y el extendido del material.

Sabiendo que se necesita un total de 61.074,31 m<sup>3</sup>, se propone el uso de camiones con semirremolque basculante de 18 m<sup>3</sup> de capacidad, siendo necesarias 3.394 cargas a camión para completar el transporte de volumen necesario.

Por otro lado, la cantera se encuentra a unos 25 minutos en carretera y 20 km de distancia. Cada carga tendrá 25 minutos de ida y otros 25 minutos de vuelta, dando esto un total de 2.473 horas de transporte totales.

Se proponen 10 camiones con semirremolque basculante que trabajen a la vez para reducir el tiempo, dando así un total de 340 horas por camión necesarias para el transporte total de los sedimentos, lo que equivale, en jornadas de 12 horas laborales, a 29 días de transporte.

El número de días varía según los camiones destinados a el transporte de los sedimentos.

El perfilado y extendido del material se hará según lleguen los camiones con el material, siendo tareas paralelas.

La época que se propone para la regeneración es a partir de septiembre, con el final de verano y el dique exento construido para garantizar el mantenimiento de los áridos vertidos sin entorpecer los usos de la playa durante los meses de verano.

Siguiendo los condicionantes descritos que estima el siguiente plan de obra:



Figura 62 Propuesta de estimación del plan de obra de la regeneración con árido de cantera. Fuente: Elaboración propia.

## 12. VALORACIÓN ECONÓMICA


En este apartado se muestra el resumen del Presupuesto Base de Licitación de la alternativa escogida junto con la aportación de sedimentos a la playa. Los distintos capítulos junto con sus unidades de obra y mediciones están en el Anejo 5.

CAPÍTULO	RESUMEN	COSTE
1	ACTUACIONES PREVIAS	6.269,38
2	OBRA CIVIL DIQUE EXENTO	2.285.064,06
3	REGENERACIÓN PLAYA	1.082.236,77
4	OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	155.000
5	SEGURIDAD Y SALUD	15.000
6	GESTIÓN DE RESIDUOS	3.154
<b>COSTE TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>		<b>3.546.724,22</b>
13%GG		461.074,15
6%BI		212.803,45
<b>TOTAL</b>		<b>4.220.601,82</b>
IVA		886.326,382
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>		<b>5.106.928,20 €</b>

El presupuesto base de licitación asciende a la cantidad de CINCO MILLONES CIENTO SEIS MIL NOVECIENTOS VEINTIOCHO euros con VEINTE céntimos.

Firmado por Claudia Barjola Martínez

1 de septiembre de 2024:



## 13. REFERENCIAS

- [1]. Confederación Hidrográfica del Júcar. (n.d.). INFORME DE EVOLUCIÓN DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR (2022-2023). Retrieved from <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/redescontrol/Paginas/Piezometria.aspx>
- [2]. Puertos del Estado. (n.d.). *Clima medio del oleaje*. Retrieved from [www.puertos.es](http://www.puertos.es)
- [3]. Millán, M. del C. (2023). *Estudio de la regeneración de las playas entre el Puerto de Valencia y el Faro de Cullera, provincia de Valencia*.
- [4]. G Sole Diaz. (n.d.). *Capítulo II: Concepto de bahía de equilibrio. Revisión de métodos*.

- [5]. Generalitat Valenciana. (n.d.). *Marjal dels Moros*. Retrieved from <https://www.mendeley.com/reference-manager/reader-v2/9338f172-ca66-3819-838e-04d7b754bf04/1659470c-1e95-4f09-7a21-afa39814698f>
- [6]. Generalitat Valenciana. Conselleria de Medi Ambient. (n.d.). *MEMORIA JUSTIFICATIVA DEL CATALOGO ZONAS HUMEDAS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA*. Retrieved from <https://mediambient.gva.es/es/web/espacios-naturales-protectidos/fitxes-de-les-55-zones-humides>
- [7]. IH Cantabria. (n.d.). *Elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo requeridos por RD903/2010 en la costa española*.
- [8]. Instituto Geográfico Minero Español. (n.d.). Carta 668.
- [9]. Manuel De La, J., Olivas, P., & Francisco Sánchez González, J. (n.d.). *Respuesta de la costa a las variaciones del nivel del mar: efecto sobre las playas en España Coastal Responses to Changes in Sea Level: Sea-Level Rise and Its Impact on Spanish Coastal Zones*.
- [10]. Medina, J. R., & Vidal, C. (2014). Design and construction of mound breakwaters. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 28. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3074>
- [11]. Ministerio de Medio Ambiente. (n.d.). *ESTUDIO ECOCARTOGRAFICO DEL LITORAL DE LAS PROVINCIAS DE ALICANTE Y VALENCIA REF: 28/4710/05 FICHA DE PLAYAS Hoja 5000*.
- [12]. Puertos del Estado. (n.d.). *Extremos máximos de oleaje por direcciones*.
- [13]. Puertos del Estado. (2022). REDMAR: Informe anual 2022 de Sagunto.
- [14]. Puertos del Estado. (n.d.). *Clima medio de viento*. Retrieved from [www.puertos.es](http://www.puertos.es)