



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Estudio del uso de arrecifes artificiales para proteger  
tramos de costa con grandes praderas de Posidonia  
oceanica degradadas. Aplicación al hemitómbolo de El  
Puig (Valencia).

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: García Cárcel, Alejandro

Tutor/a: Gómez Martín, María Esther

Cotutor/a: Medina Folgado, Josep Ramon

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## TRABAJO FINAL DE MÁSTER



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# *ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITÓMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).*



AUTOR:

**GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO**

TITULACIÓN:

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS**

TUTORES:

**GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER**

**MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMÓN**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE





## ÍNDICE GENERAL

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



### Documento N°1: Memoria y anejos

#### 1. Memoria

#### 2. Anejos de la memoria

- ANEJO N°1.- ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO
- ANEJO N°2.- ESTUDIO DE PIEZAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARRECIFES
- ANEJO N°3.- ENCUADRE GEOGRÁFICO, ACCESOS Y DATOS PREVIOS
- ANEJO N°4.- BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
- ANEJO N°5.- ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO
- ANEJO N°6.- CLIMA MARÍTIMO Y ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR
- ANEJO N°7.- ESTUDIO DE SOLUCIONES
- ANEJO N°8.- DISEÑO DE SOLUCIÓN ADOPTADA
- ANEJO N°9.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DEL ESTUDIO

### Documento N°2: Planos

# DOCUMENTO N°1: MEMORIA Y ANEJOS

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





# MEMORIA

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## RESUMEN

---

En numerosas playas mediterráneas, se observa un claro retroceso de la línea de costa debido a la presencia de diversas barreras artificiales, como diques litorales y presas fluviales, que perturban el flujo natural de sedimentos, a los cuales se suma la degradación de las praderas de Posidonia oceánica. Con el aumento previsto del nivel del mar debido al calentamiento global, la erosión costera se agravará aún más en algunas zonas. El propósito de este estudio es abordar estos desafíos en ingeniería costera, que son de gran relevancia en la actualidad y lo serán aún más en el futuro, en un contexto de cambio climático y degradación de ecosistemas, centrándose especialmente en el área del Hemitómbolo del Puig, que ha sido gravemente afectada por estos procesos erosivos debido a la desaparición de las grandes praderas de Posidonia oceánica existentes en el siglo XX.

Para encontrar soluciones efectivas, se llevará a cabo un estudio de soluciones globales sostenibles que puedan contrarrestar la erosión en las playas mediterráneas y su evolución ante el cambio climático, enfocándose en el análisis de la restitución artificial del servicio ecosistémico proporcionado por las praderas de Posidonia oceánica, que ofrecen una protección natural costera. Se busca restituir el efecto de reducción de la energía del oleaje mediante la implementación de estructuras artificiales arrecifales que promuevan la biodiversidad marina.

Tras evaluar diversas tipologías de piezas para crear arrecifes artificiales y caracterizar los principales condicionantes de la actuación, se han propuesto tres alternativas. De estas opciones, se ha determinado que la solución óptima para abordar el problema en cuestión consiste en la construcción de módulos arrecifales cuadrados, que se destacan por su facilidad de construcción y transporte, ya que serán prefabricados y trasladados por medios terrestres hasta la zona de intervención. Estos módulos cuadrados contarán con espacios huecos en su interior para permitir la colocación de estructuras alveolares, que ofrecen diversos beneficios a los ecosistemas marinos, tal como se detallará en este estudio.

## ABSTRACT

---

Many Mediterranean beaches are in regression due to a multitude of artificial coastal barriers (dykes) and river barriers (dams) that interrupt the natural sediment flow, as well as other factors such as the degradation of Posidonia oceanica meadows. Global warming and the rise in average sea level in the coming decades will aggravate already severe erosion on some beaches. The aim of this study is to provide a solution to these coastal engineering problems of particular relevance at present and even more so in the future within a scenario of appreciable sea level rise, progressive erosive processes, climate change and ecosystem degradation, focusing especially on the area of the Puig Hemitómbolo, which has been seriously affected by these erosive processes.

In order to solve these problems, a study is going to be carried out on global sustainable solutions that can reverse the erosive process of Mediterranean beaches and its evolution with climate change, focusing on the analysis of the artificial restitution of the natural ecosystem service of coastal protection offered by the Posidonia oceanica meadows. The aim is to restore the effect of reducing wave energy with artificial reef structures that offer benefits for marine biodiversity.

Once the different typologies of existing pieces for the creation of artificial reefs had been analysed and after characterising the main conditioning factors of the action, three alternatives were proposed. Once they have been analysed, it has been found that the optimum solution to the problem that this study seeks to solve involves the construction of a series of square reef modules, which are easy to build and transport, as their design takes into account that they will be built in prefabricated plants and transported by land to the area of action. These square modules will be hollow inside, so that, once anchored and settled, hollow core structures will be placed inside some of the modules. These hollow core structures have a large number of holes which, as will be seen in this study, provide great benefits for the marine ecosystems.



# ÍNDICE

<b>1. Objeto del estudio</b> .....	<b>6</b>	<b>9.4. CÁLCULO DE ESTABILIDAD</b> .....	<b>20</b>
<b>2. Análisis de las praderas de Posidonia oceánica</b> .....	<b>6</b>	<b>9.5. BALIZAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS</b> .....	<b>20</b>
2.1. ESTUDIO DE LA POSIDONIA OCEÁNICA.....	6	<b>9.6. PLAN DE VIGILANCIA</b> .....	<b>21</b>
2.1.1. Descripción de la Posidonia oceánica en la costa Valenciana.....	7	9.6.1. Futuras actuaciones a realizar.....	21
<b>3. Encuadre geográfico</b> .....	<b>7</b>	9.6.2. Desmantelamiento de las estructuras.....	21
3.1. PUERTO DE SAGUNTO.....	8	<b>10. Procedimiento constructivo</b> .....	<b>21</b>
<b>4. Estudio de arrecifes artificiales</b> .....	<b>8</b>	10.1. EMPRESA ENCARGADA DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS.....	21
4.1. CLASIFICACIÓN DE MÓDULOS ARRECIFALES.....	8	10.2. TRANSPORTE DE LOS MÓDULOS AL PUERTO DE SAGUNTO.....	21
<b>5. Batimetría y topografía</b> .....	<b>9</b>	10.3. FONDEO DE LOS MÓDULOS.....	22
<b>6. Clima marítimo y nivel del mar</b> .....	<b>10</b>	10.3.1. Transporte de los módulos hasta su posición final.....	22
6.1. ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR.....	10		
6.1.1. Variaciones del nivel del mar.....	10		
6.1.2. Vida útil y período de retorno.....	11		
6.2. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE.....	11		
<b>7. Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018</b> .....	<b>12</b>		
<b>8. Estudio de soluciones</b> .....	<b>13</b>		
8.1. ALTERNATIVA Nº1: ESTRUCTURAS ALVEOLARES A BAJA PROFUNDIDAD.....	13		
8.2. ALTERNATIVA Nº2: DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA (HLCS).....	14		
8.3. ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES.....	15		
8.4. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.....	16		
8.5. CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	16		
<b>9. Diseño de la solución adoptada</b> .....	<b>17</b>		
9.1. MATERIAL: HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO.....	17		
9.2. DISEÑO FINAL DE LOS MÓDULOS ARRECIFALES.....	17		
9.2.1. Efectos de las estructuras diseñadas sobre el oleaje.....	19		
9.2.2. Piezas interiores para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad.....	19		
9.2.3. Piezas interiores para reclamo turístico-buceo.....	19		
9.3. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS ESTRUCTURAS ARRECIFALES.....	19		

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dibujo esquemático de Posidonia oceánica. (Fuente: Duerte et.al, 2001). .....	6
Figura 2. Distribución de Posidonia en la costa valenciana. (Fuente: MITECO, 2007).....	7
Figura 3. Mapa comarcas de la Comunitat Valenciana. (Fuente: Institut Cartogràfic Valencià, 2023).....	7
Figura 4. Distancia entre el Puerto de Sagunto y la zona de estudio. (Fuente: Google Earth).....	8
Figura 5. Batimetría general de la costa valenciana. (Fuente: Navionics, 2023) .....	9
Figura 6. Batimetría de detalle de la zona de estudio. (Fuente: MITECO, 2007).....	10
Figura 7. Principales niveles de referencia del mar incluyendo sobreelevación por cambio climático. (Fuente: elaboración propia).....	11
Figura 8. Rosa direccional del oleaje en Boya de Valencia. (Fuente: Puertos del Estado). .....	11
Figura 9. Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018. (Fuente: plano 2.2, 2023) .....	12
Figura 10. Prediseño de la estructura alveolar. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	13
Figura 11. Disposición y distribución en planta de las estructuras alveolares. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	14
Figura 12. Dimensiones habituales de los cubípodos en función del parámetro L. (Fuente: plano 5, 2023).....	14
Figura 13. Sección transversal del diseño del HLCS. (Fuente: plano 5, 2023).....	15
Figura 14. Dimensiones de los módulos diseñados para la alternativa 3. (Fuente: plano 6.1, 2023) .....	15
Figura 15. Prediseño de configuración TCT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6, 2023). .....	15
Figura 16. Vista 3D de la configuración TCT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6.3, 2023).....	16
Figura 17. Propuesta de dosificación del hormigón reforzado con fibras. (Fuente: Espinoza Montenegro, A., 2010). .....	17
Figura 18. Distancia de colocación de las estructuras respecto la línea de costa. (Fuente: plano 7.8, 2023).....	18
Figura 19. Diseño y dimensiones de las piezas. (Fuente: plano 7, 2023).....	18
Figura 20. Vista 3D de la solución adoptada. (Fuente: plano 7.2, 2023) .....	18
Figura 21. Sección transversal de la estructura asentada en el fondo. (Fuente: plano 7.1, 2023)	18
Figura 22. Piezas para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad. (Fuente: Planos 7.3 y 7.4, 2023).....	19
Figura 23. Piezas interiores diseñadas para reclamo turístico. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	19
Figura 24. Distribución de los módulos en bloques. (Fuente: plano 7.6, 2023) .....	20
Figura 25. Localización del sistema de balizamiento. (Fuente: plano 7.16, 2023).....	20

Figura 26. Dimensiones del camión incluida la carga. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	21
Figura 27. Recorrido final hasta el Puerto de Sagunto. (Fuente: Google Maps, 2023).....	22
Figura 28. Procedimiento constructivo a seguir. (Fuente: plano 8, 2023) .....	22
Figura 29. Embarcaciones utilizadas para el transporte y fondeo de los módulos. (Fuente: plano 8.2, 2023).....	23

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vida útil y período de retorno de la obra a proyectar. (Fuente: elaboración propia).....	11
Tabla 2. Características oleaje en aguas profundas. (Fuente: elaboración propia, 2023). .....	12
Tabla 3. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección NE. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	12
Tabla 4. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección E. (Fuente: elaboración propia, 2023). .....	12
Tabla 5. Definición de los pesos de los criterios y subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	13
Tabla 6. Matriz de valoración de las alternativas en función de los subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	16
Tabla 7. Puntuación final de las alternativas: definición de alternativa óptima. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	16



## 1. Objeto del estudio

El objetivo de este estudio es dar solución a los problemas de ingeniería costera relacionados con la recesión de la línea de costa provocada por las barreras que interrumpen el flujo sedimentario natural, las cuales son litorales (diques) y fluviales (presas), además de otros factores como la degradación de las praderas de Posidonia oceánica. Estos problemas son de especial relevancia en la actualidad y lo serán mucho más en el futuro, ya que este estudio se enmarca en un escenario de subida apreciable del nivel del mar, procesos erosivos progresivos, cambio climático y degradación de ecosistemas.

Para dar solución a estos problemas, se va a realizar un estudio de soluciones globales sostenibles que pueden revertir el proceso erosivo de las playas mediterráneas y su evolución con el cambio climático, centrándose en el análisis de la restitución artificial del servicio ecosistémico natural de protección de costas que ofrecen las praderas de Posidonia oceánica. Se trata de restituir el efecto de reducción de la energía del oleaje con estructuras artificiales arrecifales que ofrezcan beneficios sobre la biodiversidad marina.

Tras completar el análisis de las soluciones globales, se procederá a analizar un enfoque práctico para evaluar las alternativas propuestas, con el propósito de determinar cuál de ellas es la más apropiada para abordar la pérdida de las praderas de Posidonia oceánica en la playa del Puig. Estas praderas desempeñaron un papel fundamental en la formación del reconocido "hemitómbolo del Puig" al reducir esta la energía del oleaje incidente sobre la costa.

## 2. Análisis de las praderas de Posidonia oceánica

### 2.1. ESTUDIO DE LA POSIDONIA OCEÁNICA

A continuación, puede leerse un breve extracto que resume el papel de las praderas de Posidonia oceánica, el cual ha sido redactado tomando como referencia el artículo: "Las praderas de Posidonia oceánica y la regeneración de playas" (Duerte et.al, 2001).

Las praderas de Posidonia oceánica son elementos de la naturaleza los cuales son vitales para proteger el ecosistema marino de las costas mediterráneas españolas, y, por tanto, se requiere de una atención especial a este espécimen durante la planificación y construcción de proyectos de obras marítimas, así como en la gestión integrada del litoral mediterráneo. La Posidonia oceánica es una planta endémica del Mediterráneo la cual posee características únicas que deben conocerse para evitar graves errores ambientales. La Posidonia oceánica es especialmente vulnerable al aumento de la turbidez del agua debido a vertidos al mar y a la erosión persistente de la playa sumergida, que puede arrancar sus raíces y rizomas.

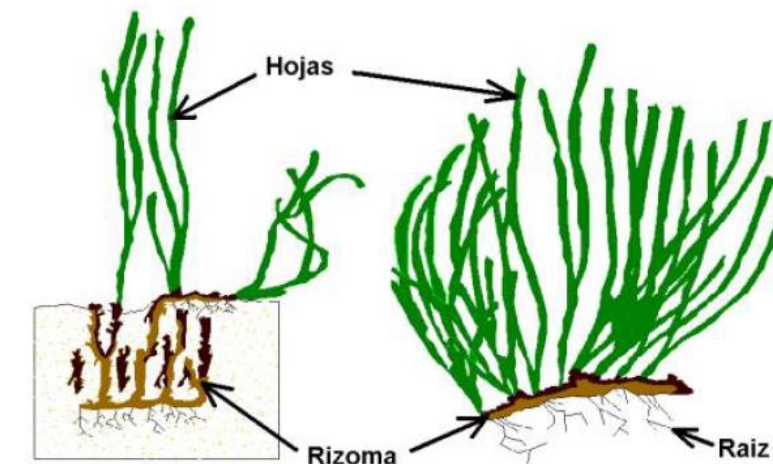


Figura 1. Dibujo esquemático de Posidonia oceánica. (Fuente: Duerte et.al, 2001).

La principal característica que influye en este estudio y es el motivo por el cual se busca realizar una restitución artificial de estas praderas de Posidonia es su **influencia sobre la propagación del oleaje**. Como se verá con mayor detalle en el anejo N°1 "Antecedentes y objeto del estudio", la presencia de praderas de Posidonia oceánica tiene un efecto significativo en la rugosidad del fondo marino, lo que altera la propagación del oleaje y su impacto en la costa. El caso particular que se va a analizar en este estudio es el del hemitómbolo de El Puig (Valencia), el cual es un ejemplo clásico de los efectos de la pradera sobre el oleaje y la costa, donde una gran pradera de Posidonia oceánica formó en el pasado un hemitómbolo de gran escala. La

desaparición progresiva desde los años 70 de esta pradera aumentó la capacidad de transporte de sedimentos y redujo el tamaño del hemitómbolo, lo que provocó fuertes erosiones locales y daños en cadena cuando se utilizaron técnicas duras de protección de costas.

### 2.1.1. Descripción de la Posidonia oceánica en la costa Valenciana

En la mayor parte de la Comunidad Valenciana, los fondos del piso infra litoral estaban estructurados por praderas de Posidonia oceánica. Como se menciona en el *Atlas de las praderas marinas de España* (IEO, 2005), la Posidonia oceánica no presenta una distribución homogénea ya que está distribuida de manera equitativa a lo largo del litoral alicantino, mientras que en las costas valencianas y castellanenses presenta una distribución muy reducida. La presencia de praderas de Posidonia oceánica en las costas de Valencia se reduce a pequeñas praderas o haces aislados.

En el caso particular en el que se va a desarrollar este proyecto (playa del Puig), con los datos extraídos del *Atlas de las praderas marinas de España* (IEO, 2005), se observa que el último reducto de pradera se encuentra al NE, a una profundidad entre 14 y 17 m. En la actualidad presenta una escasa cobertura y densidad. Se encuentran también algunas manchas aisladas en profundidad hasta fondos de 25 m.

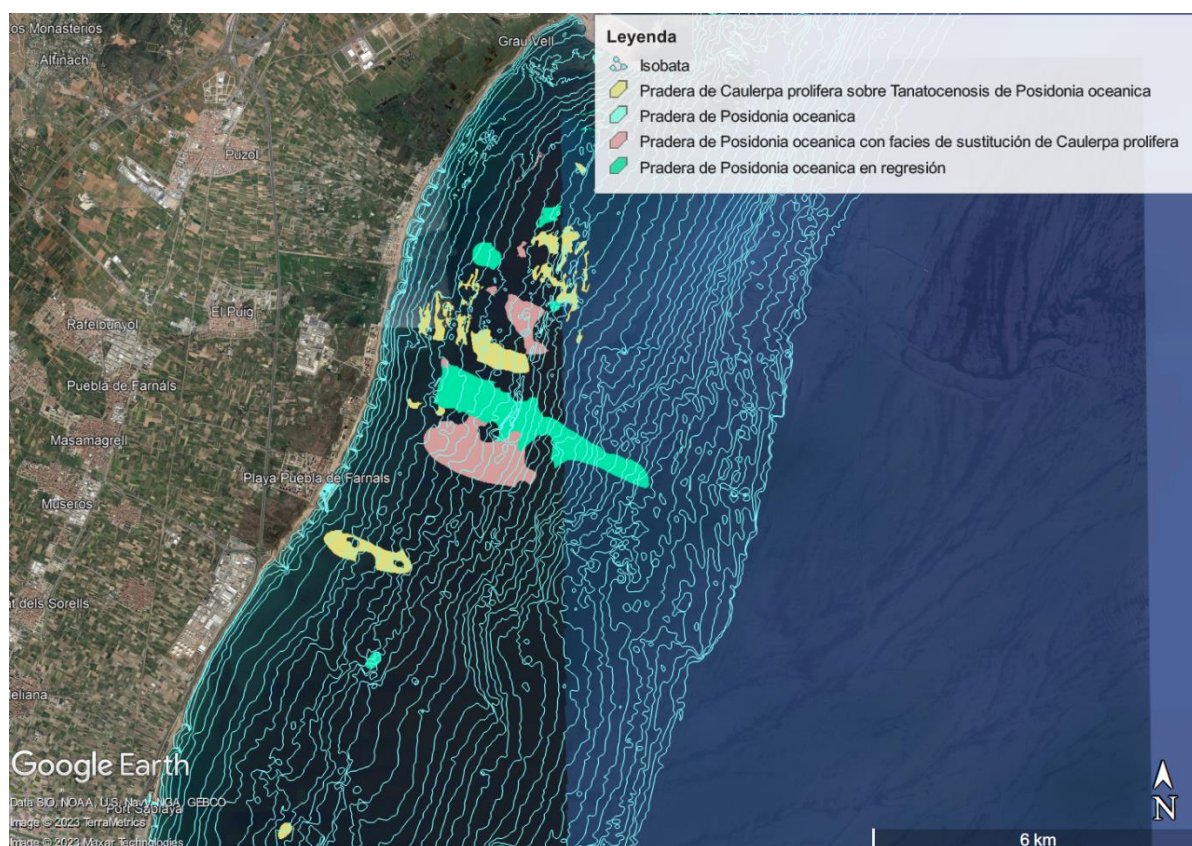


Figura 2. Distribución de Posidonia en la costa valenciana. (Fuente: MITECO, 2007).

## 3. Encuadre geográfico

La aplicación práctica de este estudio se sitúa en la Playa de El Puig, por lo que en primer lugar definiremos dónde se sitúa la misma. Esta playa forma parte de tres municipios: El Puig de Santa María, Puçol y Sagunto. Los tres se ubican junto al mar Mediterráneo y forman parte de la Comunidad Valenciana.

Los municipios de El Puig de Santa María, Puçol y Sagunto se encuentran dentro de la provincia de Valencia, concretamente, estos municipios se encuentran en la comarca de L'Horta Nord como se puede apreciar en la siguiente figura.

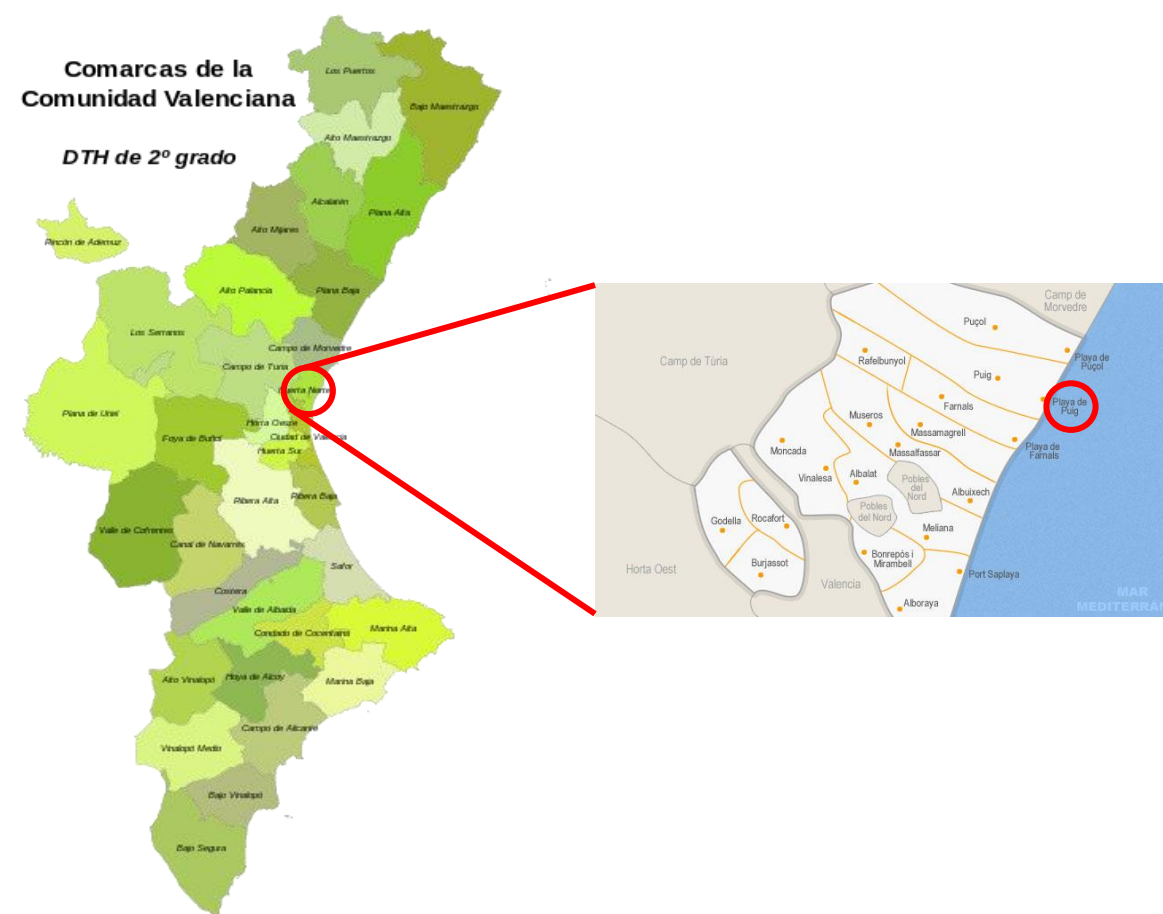


Figura 3. Mapa comarcas de la Comunitat Valenciana. (Fuente: Institut Cartogràfic Valencià, 2023).

El acceso por carretera desde Valencia se realiza a través de la V-21 o la CV-300 (antigua N-340), y desde Alicante o Barcelona por la A-7. La comunicación entre el casco urbano y la playa se realiza exclusivamente a través de la CV-318; y entre las poblaciones limítrofes, a través de la antigua carretera de Barcelona.



### 3.1. PUERTO DE SAGUNTO

Se ha determinado que el Puerto de Sagunto es la ubicación óptima para establecer la central de operaciones de la obra, fundamentándose en diversas consideraciones técnicas. En primer lugar, el puerto ofrece una infraestructura adecuada y un amplio espacio para el almacenamiento de las piezas, lo cual facilita la organización y el acopio de los materiales necesarios. Además, su cercanía al Hemitómbolo del Puig, área de estudio, minimiza los tiempos y los costos asociados al transporte de los componentes. Además, el puerto está equipado con instalaciones y maquinaria especializada para la carga y descarga eficiente de las piezas en las pontonas, garantizando una logística marítima efectiva.

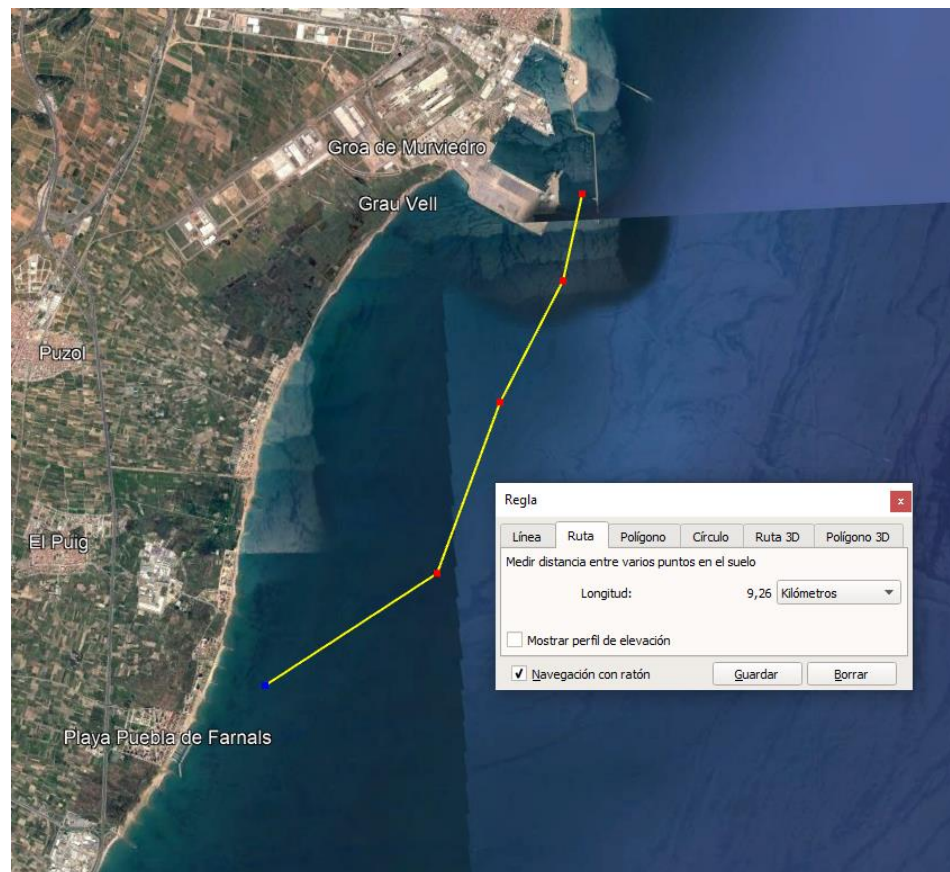


Figura 4. Distancia entre el Puerto de Sagunto y la zona de estudio. (Fuente: Google Earth)

## 4. Estudio de arrecifes artificiales

A continuación, se va a realizar un análisis de las características de diseño, materiales, profundidades de colocación, capacidad de reducción del oleaje, facilidad de desmantelamiento, facilidad de manipulación, entre otros, con el objetivo de definir las piezas que conformarán los arrecifes artificiales y la colocación de las mismas. El propósito de esta definición detallada es

identificar la configuración que genere una amplia diversidad de especies, las cuales contribuyan significativamente a la mejora de los ecosistemas marinos, a la vez que se busca también reducir la energía del oleaje que llega a la costa.

En la actualidad, los arrecifes artificiales se pueden clasificar en diferentes tipos según su función, la cual se puede dividir en:

- **Arrecifes artificiales de tipo protección / disuasión:** se tratan de estructuras compactas y macizas diseñadas con vigas que atraviesan su cuerpo y actúan como elementos estructurales disuasorios. Su función principal es evitar la pesca ilegal y otras actividades mecánicas dañinas para el medio ambiente.
- **Arrecifes artificiales para creación de ecosistemas / pesqueros / reproducción:** las estructuras han de tener la máxima complejidad posible, ya que se ha observado una relación directa entre complejidad y diversidad. Este tipo de estructuras, conocidas como de tipo alveolar, favorece la colonización por las especies marinas.
- **Arrecifes artificiales para protección de costas / defensa:** simulan a los diques exentos, los cuales tienen como objetivo principal disipar la energía del oleaje y proteger la costa contra la erosión. Están hechos de bloques de hormigón y tienen efectos en la hidrodinámica y la geomorfología de las playas y el transporte litoral de arena. Sin embargo, también pueden generar cambios físico-químicos en la columna de agua y el sedimento.
- **Protección de costas + pesqueros / mixtos:** mezcla de tipologías de estructuras. En la actualidad, no existe ninguna tipología de pieza diseñada con el doble objetivo específico de reducir la energía del oleaje y generar un ecosistema sostenible, por lo que uno de los retos de este proyecto se basa en realizar un diseño de una solución de arrecife artificial que pueda cumplir con estos objetivos.

### 4.1. CLASIFICACIÓN DE MÓDULOS ARRECIFALES

El arrecife es un sustrato sólido y estable que brinda un hábitat adecuado para la fijación de algas, el crecimiento de diatomeas y bacterias, y el asentamiento de peces (Luque et.al, 2001). Como indica la bibliografía, en los arrecifes artificiales se han observado altas densidades de

peces, tasas rápidas de colonización y capturas sustanciales de especies. En resumen, el arrecife es fundamental para el ecosistema marino, ya que proporciona un hábitat diverso y vital para una gran variedad de organismos marinos

Los criterios de clasificación que han sido considerados para el estudio de las posibles piezas que formarán los arrecifes artificiales, diseñados para la regeneración de las praderas de Posidonia oceánica degradadas, son los siguientes:

- **Coste (encofrado / construcción)**
- **Materiales**
- **Tipología de acopios**
- **Manipulación y colocación de las piezas**
- **Malla de colocación**
- **Capacidad de mejora de ecosistemas**
- **Influencia sobre oleaje**
- **Capacidad de desmantelamiento**

Anteriormente se han descrito los criterios que se van a tener en cuenta a la hora de realizar la clasificación de las distintas tipologías de piezas/módulos, sin embargo, no se han tenido en cuenta, en ningún momento, cuáles son los criterios de diseño para la elección y construcción de las distintas tipologías de piezas existentes. A continuación, se expondrán los diversos parámetros que influirán en la efectividad de la estructura.

Respecto al **área y volumen** de las piezas, según Luque et al. (2001), existe una correlación positiva entre el tamaño del arrecife y su capacidad de atracción. Respecto a la **profundidad**, por razones biológicas, además de razones técnicas, se recomienda evitar los calados a cotas superiores a los 20-25 metros de profundidad. Respecto al **material**, los módulos de hormigón son los mejores debido a su gran estabilidad, larga duración o periodo de vida, así como por la gran disponibilidad y variabilidad de refugios. La **complejidad o heterogeneidad** del arrecife artificial puede interpretarse como una medida de la cantidad o variabilidad de microhábitats presentes, siendo importante considerar que la complejidad disminuye las tasas de predación por que genera más refugios, aumentando las tasas de supervivencia (Luque, et al., 2001). El **lugar de emplazamiento** es más importante que el diseño (Ogawa ,1982). Como se define en su artículo: “el grado de aislamiento desempeña un papel fundamental en la estructura y dinámica de la comunidad en un arrecife artificial”. Este factor hace referencia a la separación del arrecife

artificial respecto a las áreas naturales circundantes o a otros módulos arrecifales, lo cual tiene un impacto significativo en las abundancias de las especies presentes. Los arrecifes más aislados tienden a ser más efectivos para aumentar la complejidad y el tamaño de la comunidad.

Finalmente, en el anejo N°2 “Estudio de piezas para la construcción de arrecifes artificiales” se puede observar en las tablas 1 y 2 la clasificación de las piezas analizadas en el que se definirá la función principal para la cual han sido diseñadas (tabla 1) y un segundo análisis siguiendo los criterios de clasificación que han sido mencionados anteriormente (tabla 2). Se insta en esta memoria a acudir a dicho anejo para consultar esta clasificación de los arrecifes artificiales y las piezas que los componen.

## 5. Batimetría y topografía

La batimetría, que analiza las profundidades del mar, podría considerarse como el equivalente subacuático de la altimetría. La representación gráfica de esta batimetría en forma de planos se realiza mediante cartas batimétricas. A continuación, se muestra la vista general de la batimetría de la costa Valenciana:

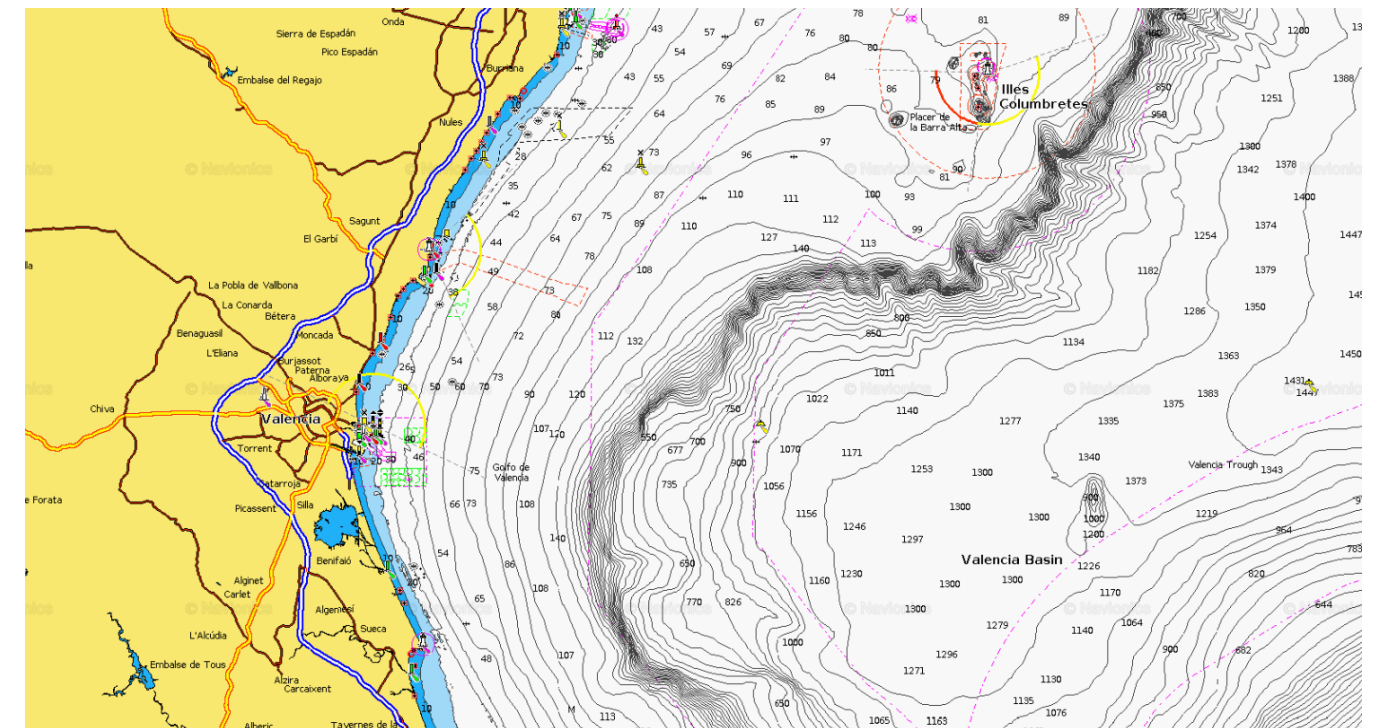


Figura 5. Batimetría general de la costa valenciana. (Fuente: Navionics, 2023)



En este caso, se ha tomado como batimetría de detalle la consultada a través de los estudios ecocartográficos realizados por el MITECO (2007). En base a esta batimetría se definirán las profundidades de colocación de las distintas piezas. se muestra a continuación la batimetría de detalle de la zona de la playa del Puig.

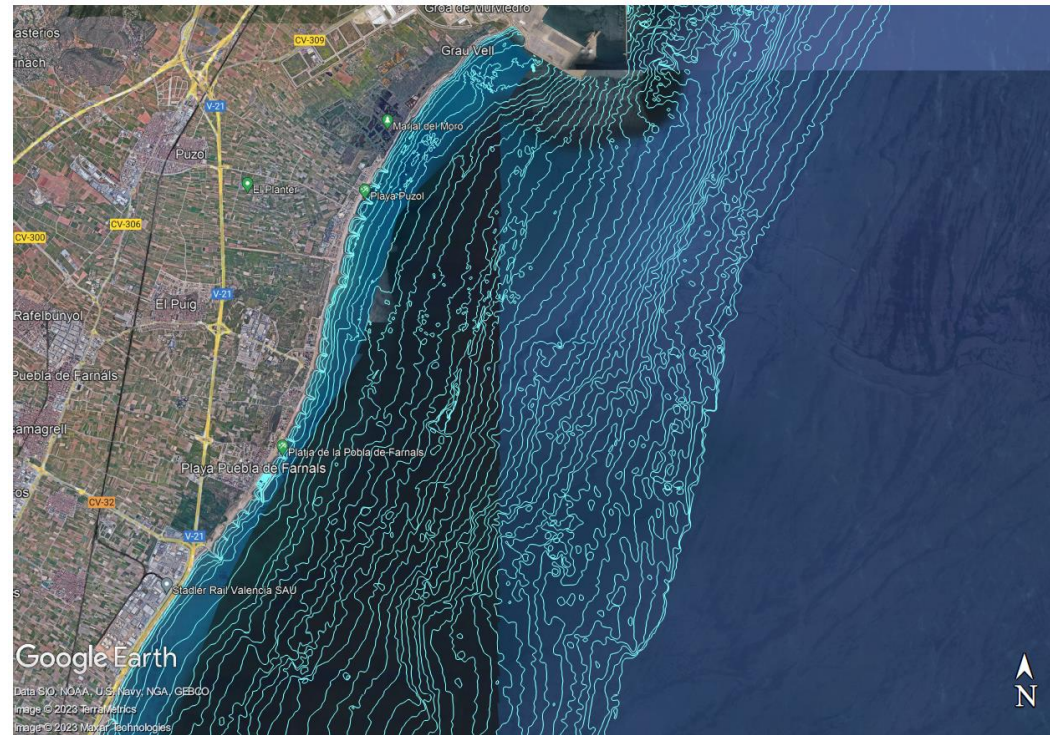


Figura 6. Batimetría de detalle de la zona de estudio. (Fuente: MITECO, 2007).

## 6. Clima marítimo y nivel del mar

El objetivo principal de este apartado es estudiar las condiciones del clima marítimo en la zona del Hemitómbolo del Puig, definiendo la altura de ola significativa o de cálculo y caracterizando la propagación del oleaje hasta su llegada a la zona de estudio. También se van a definir las referencias del nivel del mar y se va a realizar un estudio de la variación del nivel del mar debido al cambio climático, la cual se insta consultar en el anejo N°6 "Clima marítimo y estudio del nivel del mar", ya que en dicho anejo se encuentra desarrollado con detalle esta variación del nivel del mar.

### 6.1. ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR

En este caso, se estudia el nivel del mar con el objetivo de definir las variaciones de este, centrándose sobre todo en las variaciones del nivel del mar debido al cambio climático. Inicialmente, para obtener datos sobre el nivel del mar, se utiliza la red REDMAR (Red de Medición del Nivel del Mar y Agitación de Puertos del Estado). Para obtener las referencias de las

diferentes cotas se utiliza el Mareógrafo de Sagunto, ya que es el más cercano a la zona de estudio.

#### 6.1.1. Variaciones del nivel del mar

Las fluctuaciones en el nivel del mar se denominan mareas y corresponden a oscilaciones de onda que duran más de una hora. Existen dos tipos de mareas: la marea astronómica y la marea meteorológica. Es importante considerar la sobreelevación del mar, ya que esta determinará la profundidad y, por lo tanto, como se verá a la hora de estudiar el clima marítimo y la propagación del oleaje, determina la altura de las olas que podrán alcanzar la estructura arrecifal.

En el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), se ha desarrollado el estudio "Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación" (Kersting, D.K., 2016), el cual indica que las tendencias de ascenso del nivel medio del mar para el siglo XXI se sitúan entre 3,7 y 5,3 mm/año para el escenario A2 (emisiones de gases invernadero altas), lo que podría resultar en un aumento total de 40 a 60 cm para el año 2100. El Instituto Español de Oceanografía (IEO, 2010) llevó a cabo un estudio sobre las tendencias del nivel del mar en el Mar Mediterráneo. Este informe concluyó que se observa un incremento significativo en el nivel del mar, con tasas que oscilan entre 2,5 mm/año y 10 mm/año.

Teniendo en cuenta todos estos datos, se ha establecido en este proyecto una estimación de aumento del nivel del mar de 6 mm/año. Con esta cifra, se realizará el cálculo del incremento del nivel del mar al que la obra deberá hacer frente. Considerando una vida útil de 15 años para el proyecto se estima que el aumento total del nivel del mar debido al cambio climático será de:

$$S_{NM}(t) = S_{MA}(t) + S_{MM} = 10 \text{ cm}$$

Donde:

- $S_{CC}$  : sobreelevación generada por el cambio climático (cm)
- $S_{Anual}$  : sobreelevación anual = 6 mm/año
- $S_{Útil}$  : vida útil de la estructura= 15 años



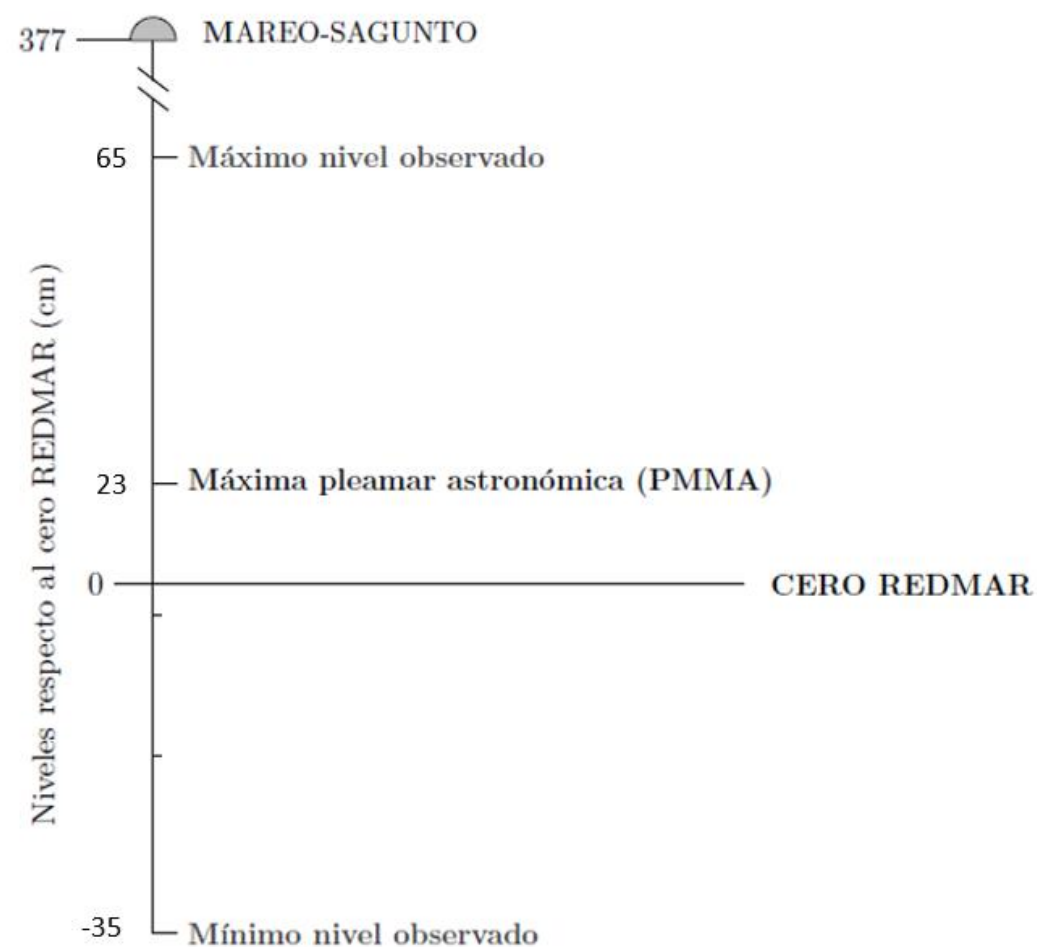


Figura 7. Principales niveles de referencia del mar incluyendo sobreelevación por cambio climático. (Fuente: elaboración propia)

### 6.1.2. Vida útil y período de retorno

En el anejo N°6 “Clima marítimo y estudio del nivel del mar” se analizan también los principales impactos de esta subida del nivel del mar así como las consecuencias de los mismos. Por último, se ha definido la vida útil de la estructura y el período de retorno, el cual será de vital importancia definir para, posteriormente, caracterizar el oleaje de cálculo de las estructuras a diseñar en este estudio, basándose en el “Programa de recomendaciones de obras marítimas (ROM) 0.0-0.1). Procedimiento general y bases de cálculo” (Puertos del Estado, 2000).

<b>Período de retorno (Tr)</b>	75 años
<b>Vida útil</b>	15 años

Tabla 1. Vida útil y período de retorno de la obra a proyectar. (Fuente: elaboración propia).

### 6.2. PROPAGACIÓN DEL OLAJE

Este apartado tiene como objetivo describir y caracterizar las acciones del oleaje en la zona del hemitómbolo del Puig de manera que se puedan conocer algunos de los condicionantes existentes a la hora de dimensionar y ejecutar las actuaciones correspondientes para la construcción de los arrecifes artificiales.

Como se puede comprobar gracias al análisis realizado en el anejo N°6 “Clima marítimo y estudio del nivel del mar”, se selecciona la boya de Valencia situada en mar abierto como fuente de información para caracterizar el oleaje. Esta elección es debido a que la boya proporciona información sobre la direccionalidad del oleaje, tiene más tiempo de registro y tiene unos datos más actualizados. Se trata de una boya que está alejada de la zona de actuación, por lo que será necesario hacer una serie de consideraciones previas a los datos proporcionados por la propia boya para realizar la propagación del oleaje.

Tras comprobar que dicha boya se encuentra en aguas profundas, se procede a caracterizar el oleaje en la zona de estudio mediante la propagación del mismo. El primer paso para realizar el estudio del clima marítimo es identificar las direcciones de oleaje Puertos del estado (2022) en su informe de “Extremos máximos de oleaje por direcciones” define cuales son las principales direcciones del oleaje en la boya de Valencia. Estas direcciones son NE y E, como puede observarse en la siguiente figura.

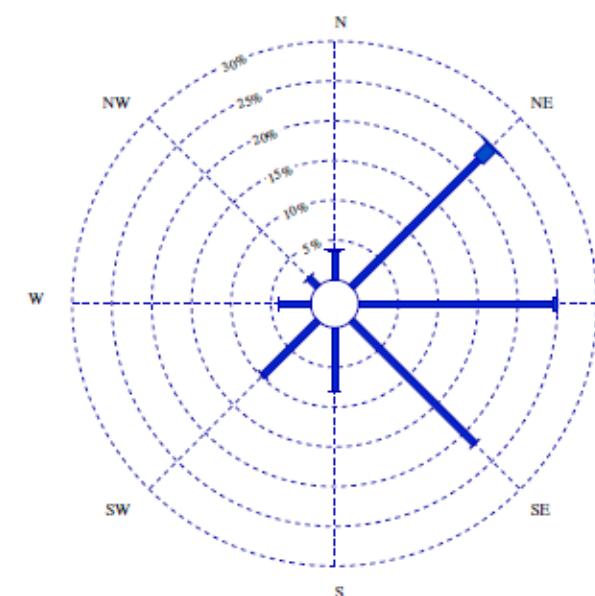


Figura 8. Rosa direccional del oleaje en Boya de Valencia. (Fuente: Puertos del Estado).

En la memoria de datos de la boya de Valencia se incluyen gráficos que muestran la relación entre la altura de ola significativa (Hs) y la probabilidad de excedencia o periodo de retorno, junto con los puntos utilizados para ajustar la función de distribución Weibull. Para determinar el valor de la altura de ola de diseño, se opta por utilizar el valor obtenido a través de la distribución Weibull, el cual se corresponde con la estima central.

Una vez conocido el oleaje en aguas indefinidas se realiza la propagación hacia la costa para obtener los valores del oleaje en el área específica objeto de estudio, es decir, la zona de costa de la playa del Puig. Gracias a los datos proporcionados por Puertos del estado (2022) en su informe de “Extremos máximos de oleaje por direcciones”, se obtienen las siguientes características del oleaje en la boya para el período de retorno calculado de  $Tr = 75$  años.

### OLEAJE BOYA DE VALENCIA (AGUAS PROFUNDAS)

Dirección	NE	E
H <sub>so</sub> (m)	9'8	5'6
T <sub>P</sub> (s)	12'5	8'6

Tabla 2. Características oleaje en aguas profundas. (Fuente: elaboración propia, 2023).

Una vez conocido el ángulo de incidencia, el cual se ha definido en el anejo N°6 y usando las alturas de ola y períodos pico de oleaje definidos en la tabla 2, ya se puede llevar a cabo la propagación del oleaje basándose en las formulaciones propuestas por Massel S. (1996). A continuación, se muestra una tabla que recoge las alturas de ola obtenidas con la propagación en función de la profundidad.

### Alturas de ola Hs (m) – Tr = 75 años – Dirección NE

Profundidad - d (m)	H <sub>s,propagación</sub>	H <sub>s,fondo</sub>	Hs
50	7,6	39,0	7,6
30	6,9	23,4	6,9
20	6,7	15,6	6,7
10	6,7	7,8	6,7
5	-	3,9	3,9

Tabla 3. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección NE. (Fuente: elaboración propia, 2023).

### Alturas de ola Hs (m) – Tr = 75 años – Dirección E

Profundidad - d (m)	H <sub>s,propagación</sub>	H <sub>s,fondo</sub>	Hs
50	5,5	39,0	5,5
30	5,2	23,4	5,2
20	5,1	15,6	5,1
10	5,1	7,8	5,1
5	5,1	3,9	3,9

Tabla 4. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección E. (Fuente: elaboración propia, 2023).

## 7. Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018

El aumento del nivel del mar, la erosión en la costa y el número infraestructuras marítimas en la costa de la comunidad valenciana son factores de especial relevancia en el desarrollo del litoral del levante español (Alguacil, 2020).

Alguacil (2020) examina la evolución de la línea de costa en la región de Valencia durante el período comprendido entre 1956 y 2018, y los impactos ocasionados por las barreras presentes en el litoral. Para realizar el estudio de la evolución de la línea de costa, se emplearon ortofotos georreferenciadas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2020), seleccionando específicamente los años 1956 y 2018. Tras el análisis comparativo de las líneas de costa superpuestas (Figura 9), se concluye que la erosión de las playas en la zona de estudio es considerable.



Figura 9. Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018. (Fuente: plano 2.2, 2023)

## 8. Estudio de soluciones

A continuación, se van a definir las diferentes alternativas propuestas en este estudio, las cuales presentan una serie de ventajas y desventajas, sobre todo si se realiza una comparación por pares de las mismas.

Para el análisis multicriterio se va a utilizar el Analytic Hierarchy Process (AHP). Esta metodología según Yepes, V (2018) permite seleccionar alternativas en función de una serie de criterios jerarquizados los cuales suelen entrar en conflicto entre ellos. En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel más elevado, y los criterios y subcriterios en los niveles inferiores. Para que el método sea eficaz, Yepes, V (2018) establece que es de vital importancia escoger correctamente los criterios y subcriterios, ya que estos deben estar muy bien concretados, deben ser relevantes y mutuamente excluyentes. Gracias a la configuración de la estructura jerárquica y la utilización de matrices de comparación pareadas utilizando escalas fundamentales se obtiene que el peso de los criterios escogidos es el siguiente (tabla extraída del apartado 2.1 del anejo N°7: Estudio de soluciones)

	PESOS (%)
Subcriterio 1.1: Costes de ejecución/construcción	25,01
Subcriterio 1.2: Costes de mantenimiento y/o conservación	4,55
Subcriterio 2.1: Beneficios sobre los ecosistemas marinos	17,69
Subcriterio 2.2: Reducción de energía del oleaje	24,53
Subcriterio 3.1: Capacidad de desmantelamiento	24,10
Subcriterio 3.2: Seguridad para bañistas y embarcaciones (balizamiento)	4,12

Tabla 5. Definición de los pesos de los criterios y subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Una vez se hayan analizado las alternativas en función de todos los criterios y subcriterios que aparecen en la tabla anterior, se creará una matriz compuesta por los vectores propios de cada subcriterio evaluado. Al multiplicar esta matriz por el vector propio que contiene los pesos de los criterios (vector que aparece en la tabla anterior), se determinará cuál de las tres alternativas propuestas es la óptima y más adecuada para la restitución artificial de las praderas de Posidonia oceánica degradadas mediante estructuras arrecifales.

### 8.1. ALTERNATIVA N°1: ESTRUCTURAS ALVEOLARES A BAJA PROFUNDIDAD

Como se menciona en el apartado 3.1 del Anejo N°7 “Estudio de soluciones”, en este caso se ha decidido disponer las estructuras arrecifales a baja profundidad, en concreto, en el límite de la zona de baño que se encuentra a 200 metros medidos desde la línea de costa. Con esto, es previsible que se consiga una notable reducción de la energía del oleaje que llega a la costa. Consultando el plano 2.1 de este estudio se puede observar que el límite de la zona de baño, localizado a 200 metros de la línea de costa, se corresponde aproximadamente con la batimétrica de 4 metros de profundidad.

Como se menciona en el Anejo N°7 “Estudio de soluciones”, se ha decidido utilizar módulos arrecifales alveolares, los cuales están prefabricados en hormigón. Estas estructuras cuentan con una serie de orificios que favorecen la colonización de las estructuras por las especies marinas. En la clasificación de los arrecifes artificiales realizada en el Anejo N°1 “Antecedentes y objeto del estudio”, este tipo de estructuras se clasifican dentro del tipo: arrecifes artificiales para la creación de ecosistemas / pesqueros / reproducción. Se muestra a continuación un prediseño de la tipología de piezas a disponer para la construcción del arrecife

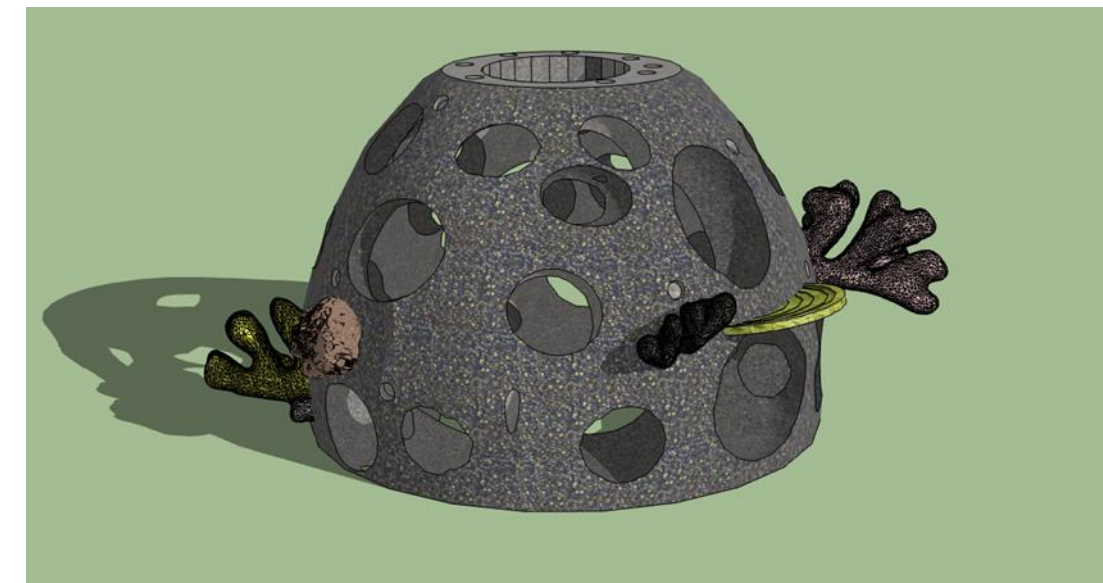


Figura 10. Prediseño de la estructura alveolar. (Fuente: elaboración propia, 2023)

A continuación, se va a mostrar una imagen en la que se define la localización aproximada de dichas estructuras, teniendo en cuenta, como comenta Luque et al., (2001) que los arrecifes más aislados tienden a ser más efectivos para aumentar la complejidad y el tamaño de la comunidad marina. Los distintos módulos están compuestos por aproximadamente 20 piezas y la separación entre bloques es de entre 100 y 200 metros aproximadamente.





BLOQUE DE 150 m - Nº PIEZAS: 20

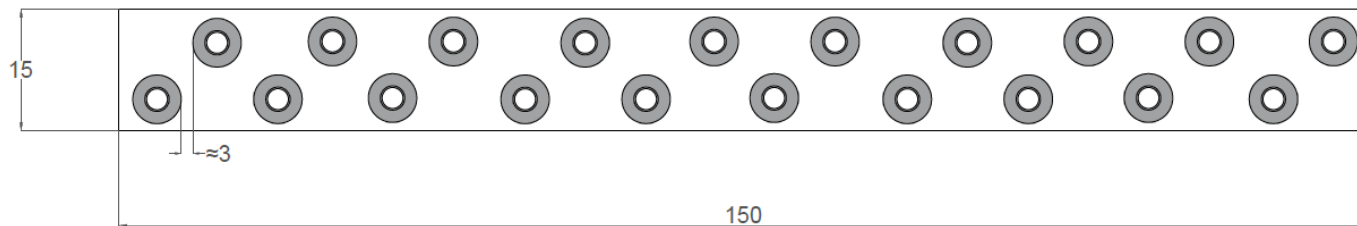


Figura 11. Disposición y distribución en planta de las estructuras alveolares. (Fuente: elaboración propia, 2023)

## 8.2. ALTERNATIVA Nº2: DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA (HLCS)

Como se menciona en el apartado 3.2 del Anejo Nº7 “Estudio de soluciones”, las estructuras de baja cota (LCS) son comúnmente empleadas como barreras costeras para la protección y estabilización de playas, simulando a los diques exentos. Los diques homogéneos de baja cota de coronación (HLCS) son una forma de estructura marítima que ofrece diversas ventajas en términos de protección costera ya que disipan parte de la energía del oleaje y promueven la conservación y regeneración de los ecosistemas marinos. Las HLCS (Homogeneous Low-crested Structures) son estructuras formadas por un solo material que se emplean principalmente como diques exentos para proteger y estabilizar playas.

En esta alternativa se plantea el uso del cubípodo, el cual es un elemento prefabricado de hormigón diseñado en el LPC-UPV por Josep R. Medina y M.E. Gómez Martín para la formación de estructuras marítimas de defensa de la costa. Para aumentar la estabilidad, los Cubípodos incorporan protuberancias en todas sus caras, lo que mejora el encaje entre las piezas. Una de

las principales ventajas que ofrece el cubípodo es su facilidad de construcción mediante encofrados verticales.

Las HLCS (Homogeneous Low-Crested Structures) formadas por Cubípodos son una solución para proteger los ecosistemas marinos en áreas donde el turismo de sol y playa es una actividad económica relevante (Odériz et al., 2018). Estas HLCS pueden emplearse como diques exentos, brindando protección a las playas de manera similar a los diques convencionales, pero con un menor impacto ambiental, considerándose infraestructuras amigables con el entorno. Para la realización del diseño preliminar de la estructura HLCS se ha utilizado como referencia principal el Trabajo Final de Master realizado por Lozano Tovar, S. (2021), con el título: “Estudio de transmisión de oleaje para el diseño de diques arrecife homogéneos de Cubípodos. Aplicación a la protección del litoral del Parque Nacional de Corcovado (Costa Rica).”

Gracias a los ensayos realizados por Lozano Tovar, S. (2021) y sus propuestas de formulación se obtiene que el tamaño de los cubípodos a utilizar, tomando como referencia el lado del cubo equivalente, será de  $D_n=1.5$  m y el peso aproximado de los mismos será de 7.5 toneladas. Con esto se obtienen las siguientes figuras en las que se pueden apreciar las dimensiones finales de los cubípodos a disponer y la sección transversal del HLCS diseñado.

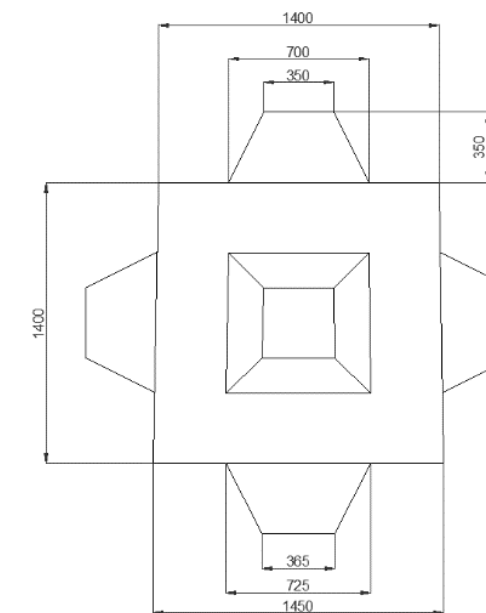


Figura 12. Dimensiones habituales de los cubípodos en función del parámetro L. (Fuente: plano 5, 2023)



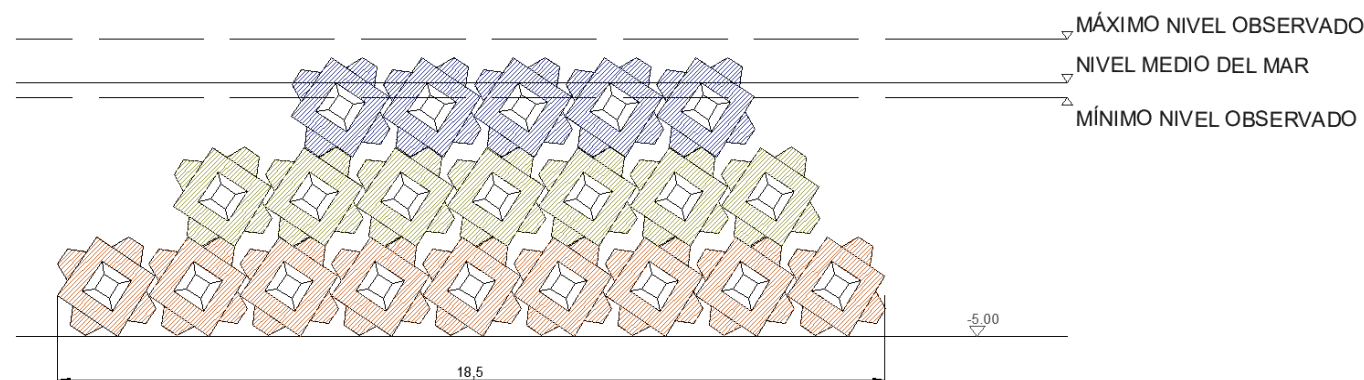


Figura 13. Sección transversal del diseño del HLCS. (Fuente: plano 5, 2023)

### 8.3. ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES

Como se menciona en el apartado 3.3 del Anejo Nº7 “Estudio de soluciones”, las estructuras prefabricadas de hormigón se presentan como alternativas viables a las estructuras convencionales en áreas costeras sensibles, ya que pueden reducir de manera significativa el impacto de la construcción. Estas soluciones no convencionales plantean nuevas posibilidades para la protección costera, pero también conllevan nuevos desafíos técnicos (Medina, J.R et al., octubre 2006).

Esta alternativa se centra en los elementos modulares prefabricados utilizados en la construcción de diques exentos y diques de pie. Las obras de diques exentos convencionales suelen plantear problemas ambientales debido a su dificultad de reversibilidad en la construcción, sin embargo, como menciona Medina, J.R et al. (octubre 2006), la prefabricación ofrece la ventaja de reducir en gran medida el impacto ambiental de la obra en la zona litoral de trabajo, concentrándolo en una zona industrial adecuadamente preparada, como una planta de prefabricación.

En el estudio realizado por Rodríguez et.al (2003), se introduce el concepto de dique modular como una solución innovadora para el control de la erosión y la protección costera. Los principios fundamentales del diseño del dique modular incluyen: (1) su carácter modular, que permite construir una amplia variedad de secciones utilizando pocos tipos de módulos diferentes, (2) la posibilidad de transportar y manipular los módulos utilizando medios convencionales para facilitar y reducir los costos de instalación, (3) el almacenamiento eficiente en espacios reducidos dentro o fuera de las infraestructuras portuarias, y (4) la capacidad de desinstalación sin dejar afectaciones permanentes en el entorno, brindando así una defensa costera reversible.

En esta alternativa, como se puede observar en el apartado 3.3 del Anejo Nº7 “Estudio de soluciones”, se ha propuesto utilizar la misma tipología de elementos descrita en el artículo "Actuación Experimental con Diques Modulares en Santa Mª del Mar (Cádiz). Redes Neuronales, Socavación y Licuefacción de Arenas" desarrollado por Medina, J.R et al. (octubre 2006). Estos elementos consisten en módulos cuadrados (C) y triangulares (T), con alturas totales de 2,5 metros y anchuras de coronación y/o base de 2,5 metros. La combinación de estos dos tipos de módulos permite construir una variedad amplia de estructuras costeras adaptadas a las condiciones climáticas y del terreno de cada ubicación

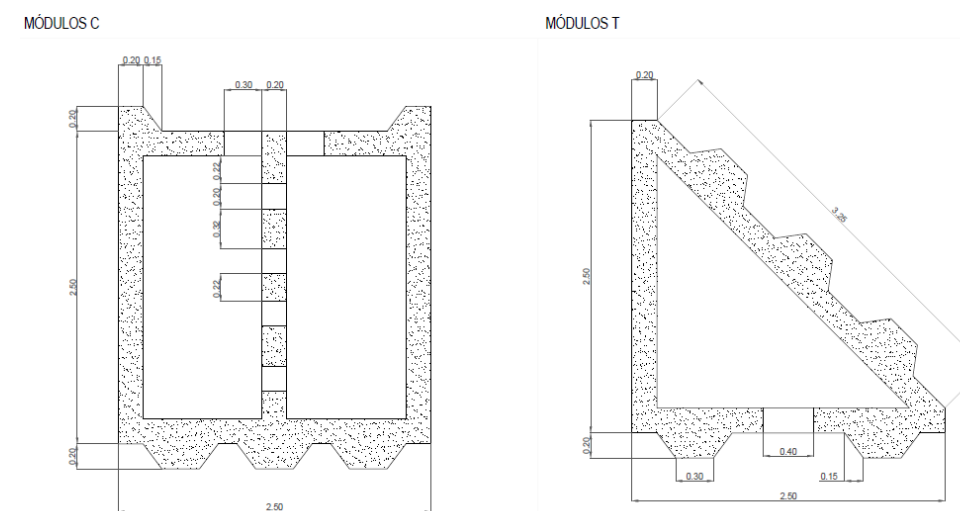


Figura 14. Dimensiones de los módulos diseñados para la alternativa 3. (Fuente: plano 6.1, 2023)

Es importante considerar que, como se ha visto en el Anejo Nº7 “Estudio de soluciones”, al instalar los diques modulares sobre suelos arenosos o sedimentos más finos, se espera un asentamiento por socavación que representa aproximadamente el 30% de la altura total del dique. Este asentamiento afectará al francobordo, lo que resultará en una reducción del efecto de la estructura sobre el oleaje, es decir, debido a la socavación y la consiguiente pérdida de altura, el efecto de reducción del oleaje de la misma se verá disminuido.

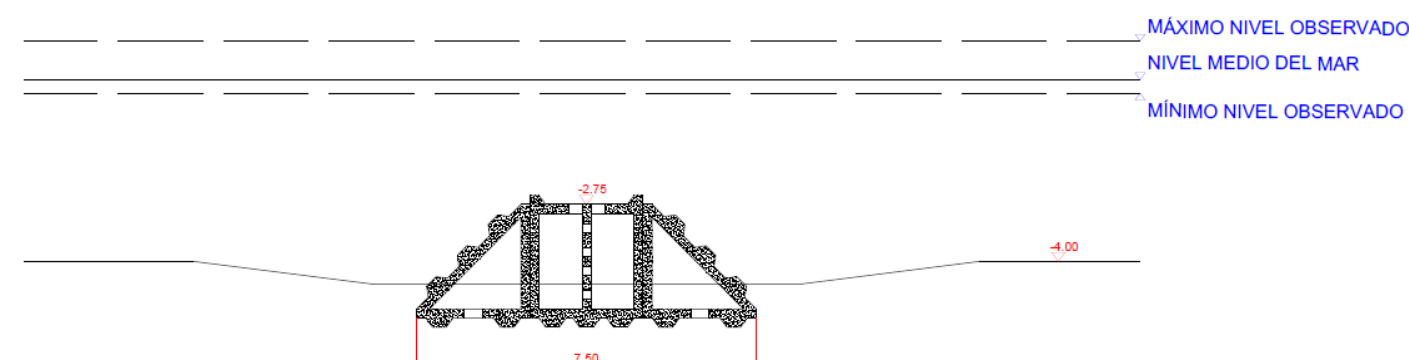


Figura 15. Prediseño de configuración TCT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6, 2023).

Es importante tener en cuenta que se han realizado una serie de modificaciones en la sección de las piezas con el objetivo de obtener mayores beneficios para los ecosistemas marinos en los que se dispongan esta tipología de piezas. Acudir al apartado 3.3 del Anejo N°7 “Estudio de soluciones” si se quiere consultar con mayor detalle la descripción de esta alternativa.



Figura 16. Vista 3D de la configuración TCT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6.3, 2023).

#### 8.4. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Se aconseja acudir al apartado 4 del anejo N°7: Estudio de soluciones, en el que se realiza la valoración y comparación de las alternativas basándose en los criterios y subcriterios seleccionados para poder utilizar el Analytic Hierarchy Process (AHP). Para llevar a cabo esta comparación, se ha utilizado un sistema de matrices de comparación pareadas para evaluar las diferentes alternativas y se ha empleado la misma escala fundamental de comparación que se encuentra representada en la figura 1 adjunta en el Anejo N°7 “Estudio de soluciones”.

En ese apartado mencionado en el párrafo anterior, se comparan las distintas alternativas planteadas para la restitución artificial del servicio ecosistémico natural de protección de costas que ofrecían las praderas de Posidonia oceánica, mediante estructuras arrecifales. Para llevar a cabo esta comparación, se utilizará un sistema de matrices de comparación pareadas para evaluar las diferentes alternativas. Después de analizar las alternativas en función de los subcriterios, se obtendrá el vector propio de las matrices, el cual indicará cuál alternativa obtiene la puntuación más alta en función de cada uno de los subcriterios planteados.

Finalmente, se creará una matriz compuesta por los vectores propios de cada subcriterio evaluado. Al multiplicar esta matriz por el vector propio que contiene los pesos de los criterios (vector que aparece en la tabla 5 de esta memoria), se determinará cuál de las tres alternativas propuestas es la óptima y más adecuada para la restitución artificial de las praderas de Posidonia

oceánica degradadas mediante estructuras arrecifales. Se aconseja leer con detalle los apartados 4.1, 4.2 y 4.3 del Anejo N°7 “Estudio de soluciones” para poder entender cómo se ha realizado la comparación de las alternativas, ya que en estos apartados se han desarrollado cálculos claves para poder realizar dichas comparaciones.

Una vez se han calculado los vectores propios correspondientes a cada subcriterio para todas las alternativas, se forma una matriz que representa estos resultados. En la tabla siguiente se recogen dichos resultados:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Subcriterio 1.1	40,5	11,4	48,1
Subcriterio 1.2	30,6	40,6	28,8
Subcriterio 2.1	51,1	20,2	28,7
Subcriterio 2.2	24,4	39,9	35,6
Subcriterio 3.1	49,4	10,0	40,6
Subcriterio 3.2	34,2	26,1	39,8

Tabla 6. Matriz de valoración de las alternativas en función de los subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023).

El vector obtenido de la multiplicación de la matriz anterior con el vector propio de ponderación de los subcriterios (tabla 5 de esta memoria) proporciona el siguiente resultado que permite determinar cuál de las alternativas planteadas es la óptima.

	PUNTUACIÓN OBTENIDA (%)
<b>Alternativa 1: estructuras alveolares a baja profundidad</b>	<b>39.9</b>
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	21.6
Alternativa 3: estructura modular	38.6

Tabla 7. Puntuación final de las alternativas: definición de alternativa óptima. (Fuente: elaboración propia, 2023)

#### 8.5. CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE SOLUCIONES

Como se menciona en el Anejo N°7 “Estudio de soluciones”, las puntuaciones obtenidas por las alternativas N°1: “estructuras alveolares a baja profundidad” y N°3: “estructuras modulares” son muy similares. cada una de ellas muestra una serie de ventajas con respecto a la otra. En primer lugar, la alternativa N°1: “estructuras alveolares a baja profundidad” genera beneficios sobre los ecosistemas marinos muy superiores con respecto la alternativa N°3: “estructura

modular” gracias a la multitud de orificios que se incluyen en su superficie. Sin embargo, respecto al coste económico, se puede observar que el volumen de hormigón a disponer es mayor en la alternativa N°1, ya que se necesita una gran cantidad de piezas. A esto hay que sumarle la dificultad de creación de las piezas, ya que los orificios diseñados con el objetivo de aumentar los beneficios sobre los ecosistemas marinos complican mucho las labores de encofrado y desencofrado, lo cual resulta en un aumento de los costes.

Para este estudio, se va a realizar un diseño específico que permita combinar las ventajas de cada una de las alternativas, es decir, se va a buscar un diseño de piezas que permitan generar mayores beneficios sobre los ecosistemas marinos y que, a su vez, sean fáciles de dismantelar, tomando como base el diseño de la alternativa N°1 y, por otro lado, se va a buscar que la reducción del oleaje sea la máxima posible y que los costes de construcción, transporte y el volumen de hormigón sean los mínimos posibles, para ello se tomaran como referencia los módulos planteados en la alternativa N°3. Combinando ambas alternativas se busca un diseño específico y único que pueda dar solución al problema generado por la desaparición de las praderas de Posidonia oceánica y el efecto que esta desaparición ha tenido sobre la reducción energía del oleaje y la recesión de la línea de costa en el Hemitómbolo del Puig.

## 9. Diseño de la solución adoptada

### 9.1. MATERIAL: HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Con respecto al material, los módulos de hormigón son los mejores debido a su gran estabilidad, larga duración o periodo de vida, así como por la gran disponibilidad y variabilidad de refugios que pueden ofrecer en su diseño. Se aconseja visitar el apartado 2 del Anejo N°8 “Diseño de la solución adoptada” en el que se realiza un estudio exhaustivo del hormigón en ambientes marinos, de las interacciones que tiene este material con el medio y de nuevas propuestas de materiales relacionados con el hormigón, como el caso del EConcretre (Dr. Ido Sella, 2021), cuyo objetivo es mejorar el desarrollo de la biodiversidad haciendo las superficies del hormigón más atractivas para las especies.

En este estudio se ha considerado que la incorporación de hormigón armado puede agravar el proceso de deterioro de las armaduras debido a la interacción con el ambiente acuático, lo que propiciaría la corrosión de las mismas. En sustitución de las armaduras, se ha decidido utilizar

hormigón reforzado con fibras, las cuales alteran la estructura del hormigón, haciéndolo más resistente a las tensiones, flexiones y menos sensible a fisuras.

En la siguiente figura extraída del apartado 3.6 del Anejo N°8 “Diseño de la solución adoptada” se muestra una propuesta de dosificación del hormigón reforzado con fibras. En este caso, se trata de un hormigón de alta resistencia (> 100 Mpa). La dosificación de las fibras de acero se reduce a 50 kg/m<sup>3</sup>, ya que con conseguir una resistencia > 35 MPa es suficiente (recomendación de la EHE-08) y reduciendo la cantidad de fibras se reduce considerablemente el precio del hormigón.

Propuesta de Mezcla		
Materiales	% ( en peso de cemento)	Kg/m <sup>3</sup>
Cemento	1	810
Humo Silíce	0.20	162
Fibras de acero	0.25	203
Agua	0.20	162
Superplastificantes	0.025	20.3
Arena de sílice 2 $d_{max}=0.2$ mm $d_{50}=0.11$ mm	0.35	284
Arena de sílice 1 $d_{max}=0.8$ mm $d_{50}=0.5$ mm	0.80	648

Figura 17. Propuesta de dosificación del hormigón reforzado con fibras. (Fuente: Espinoza Montenegro, A., 2010).

### 9.2. DISEÑO FINAL DE LOS MÓDULOS ARRECIFALES

Como se puede observar con detalle en el apartado 3 del Anejo N°8 “Diseño de la solución adoptada”, la solución final se basa en la construcción de una serie de módulos arrecifales cuadrados, los cuales son fáciles de construir y de transportar ya que para su diseño se ha tenido en cuenta que estos se construirán en plantas de prefabricado y serán transportados por medios terrestres hasta la zona de actuación. Estos módulos cuadrados estarán huecos en su interior, para que, una vez fondeados y asentados, se coloquen estructuras alveolares en el interior de algunos de los módulos. Estas estructuras alveolares cuentan con una gran cantidad de huecos que, como se ha visto en los anejos correspondientes al estudio de piezas y al estudio de soluciones, proporcionan grandes beneficios para los ecosistemas marinos.

El diseño final de las piezas que formarán las estructuras arrecifales se ha diseñado para colocarse a baja profundidad, en concreto dentro de la zona de baño de 200 metros desde la línea de costa. Consultando el plano correspondiente a la batimetría de la zona (plano 2.1), se tiene una **profundidad de 4 metros** medidos desde el nivel medio del mar. La altura de ola



estará limitada por la rotura por fondo del oleaje y, por tanto, la altura de ola de diseño de las estructuras arrecifales será de  $H_s = 0.78 \cdot d = 0.78 \cdot 4 = 3.2$  metros.



Figura 18. Distancia de colocación de las estructuras respecto la línea de costa. (Fuente: plano 7.8, 2023)

Se ha decidido diseñar unas piezas que formen una estructura resistente frente a la acción del oleaje y que sean fáciles de construir, transportar y colocar. Uno de los objetivos que se ha buscado a la hora de realizar el diseño de las piezas es que estas fueran fáciles de transportar por vía terrestre. Teniendo esto en cuenta, se han tomado las medidas de los contenedores comunes de 20 pies, ya que se corresponden con las medidas estándar de las plataformas de los camiones de transporte. Las medidas estandarizadas de los contenedores de 20 pies son de 2.5 metros de ancho y alto y 6 metros de largo. Por esta razón, como puede verse en la figura 19 extraída del Anejo N°8, el ancho de las piezas se corresponde con el ancho de la plataforma de transporte de los camiones, 2.5 metros. El largo de las piezas es de 3 metros, lo cual permite que se puedan transportar dos piezas por camión.

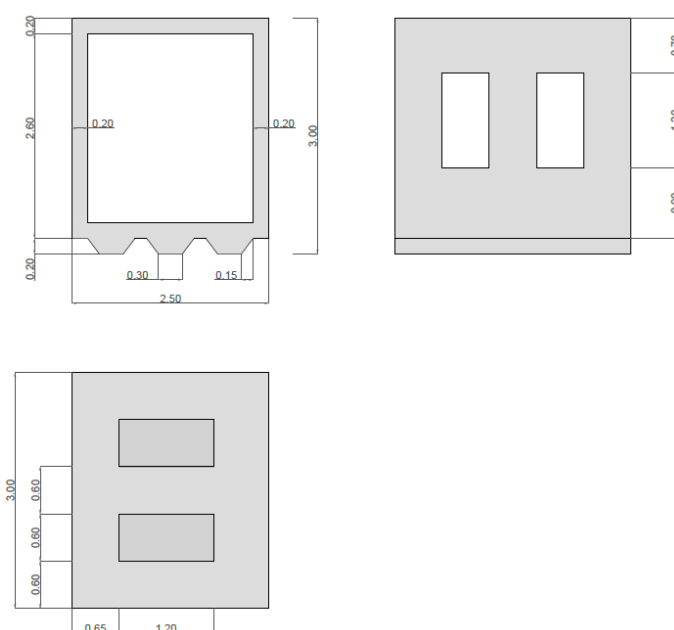


Figura 19. Diseño y dimensiones de las piezas. (Fuente: plano 7, 2023)

El volumen total de hormigón consumido por las piezas es de 5.8 m<sup>3</sup> de hormigón aproximadamente, el cual considerando un peso específico del mismo de 2300 kg/m<sup>3</sup>, significa un peso total de cada una de las piezas de aproximadamente 13.5 toneladas.

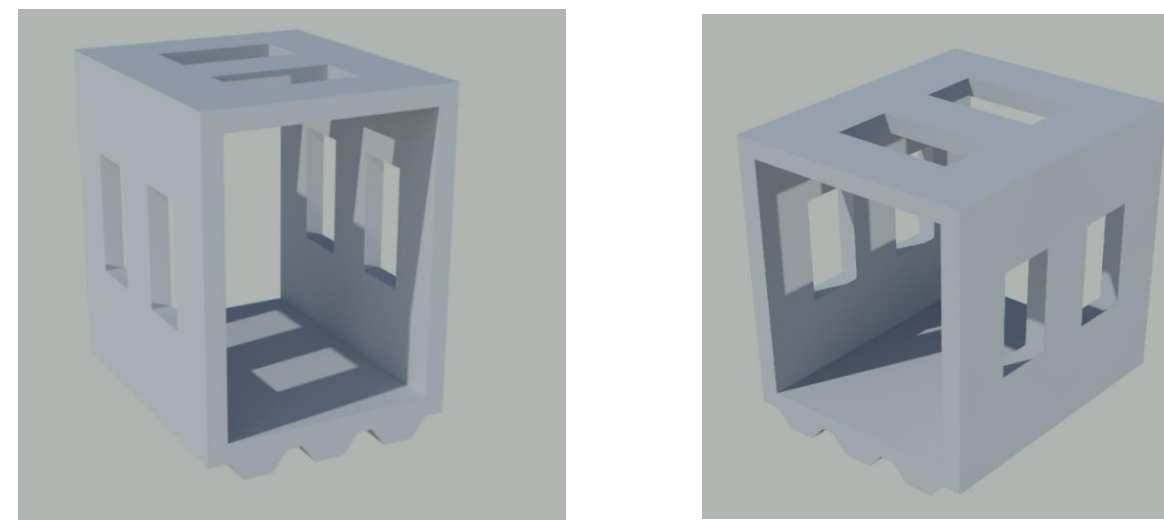


Figura 20. Vista 3D de la solución adoptada. (Fuente: plano 7.2, 2023)

Al instalar las piezas diseñadas sobre suelos arenosos o sedimentos más finos, se puede esperar un asentamiento por socavación que representa aproximadamente el 30% de la altura total de la pieza. Este asentamiento afectará al francobordo, lo que resultará en una reducción del efecto de la estructura sobre el oleaje, es decir, debido a la socavación y la consiguiente pérdida de altura, el efecto de reducción del oleaje de la misma se verá disminuido.

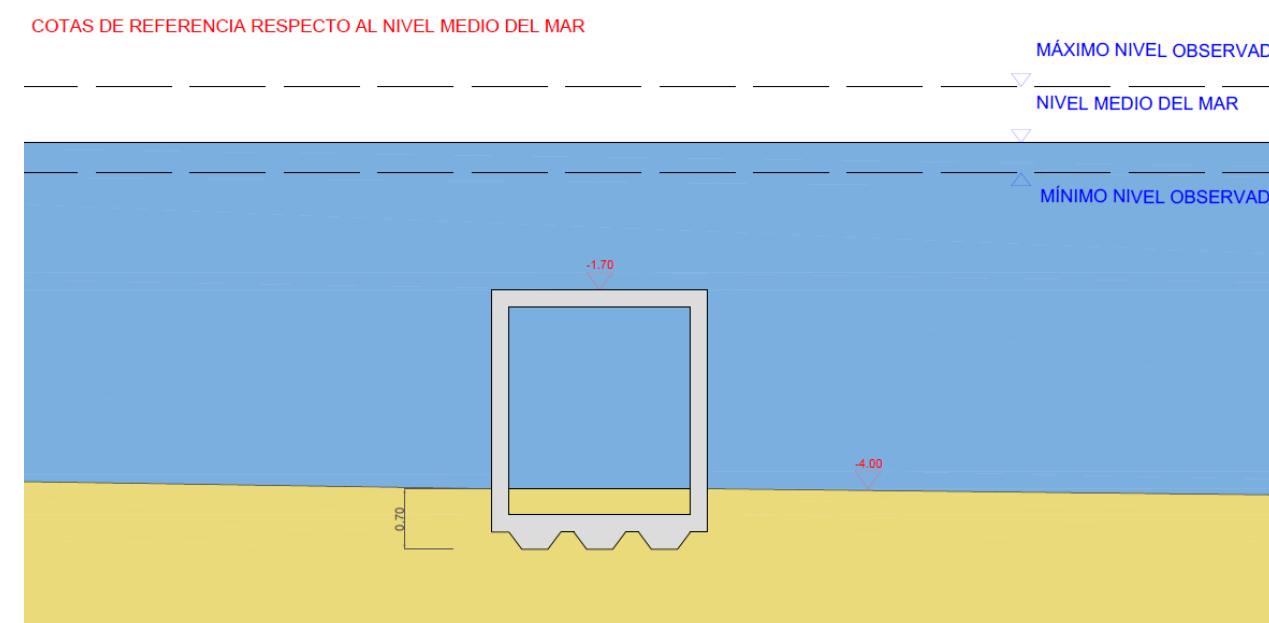


Figura 21. Sección transversal de la estructura asentada en el fondo. (Fuente: plano 7.1, 2023)



### 9.2.1. Efectos de las estructuras diseñadas sobre el oleaje

En el apartado 3.2.2 del Anejo N°8 se ha realizado el análisis del coeficiente de transmisión del oleaje del diseño final presentado. Para el análisis de la capacidad de reducción de la energía del oleaje se han tomado como referencia los distintos estudios realizados por Medina, J.R. et.al (2006 y 2019). En estos estudios se realizaron una serie de ensayos de laboratorio que tenían como objetivo analizar el comportamiento de las estructuras modulares planteadas en la alternativa N°3 frente a la acción del oleaje. Se han tomado como referencia estos mismos estudios para el análisis de la transmisión del oleaje de las estructuras finalmente diseñadas debido a su semejanza. Tomando como referencia esos ensayos y analizando las características de las piezas diseñadas, se puede estimar que el coeficiente de transmisión del oleaje que se obtiene con el diseño final es de  $K_t = 0.6$ .

### 9.2.2. Piezas interiores para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad

Aprovechando el esqueleto resistente que ofrecen los módulos diseñados, se han realizado varias propuestas de diseño de estructuras alveolares que se pueden colocar en el interior de estas, generando así mayores beneficios para la biodiversidad marina. Estas piezas se han diseñado con el objetivo de ofrecer la mayor superficie de contacto con el medio y fomentar así la proliferación y colonización de las especies.

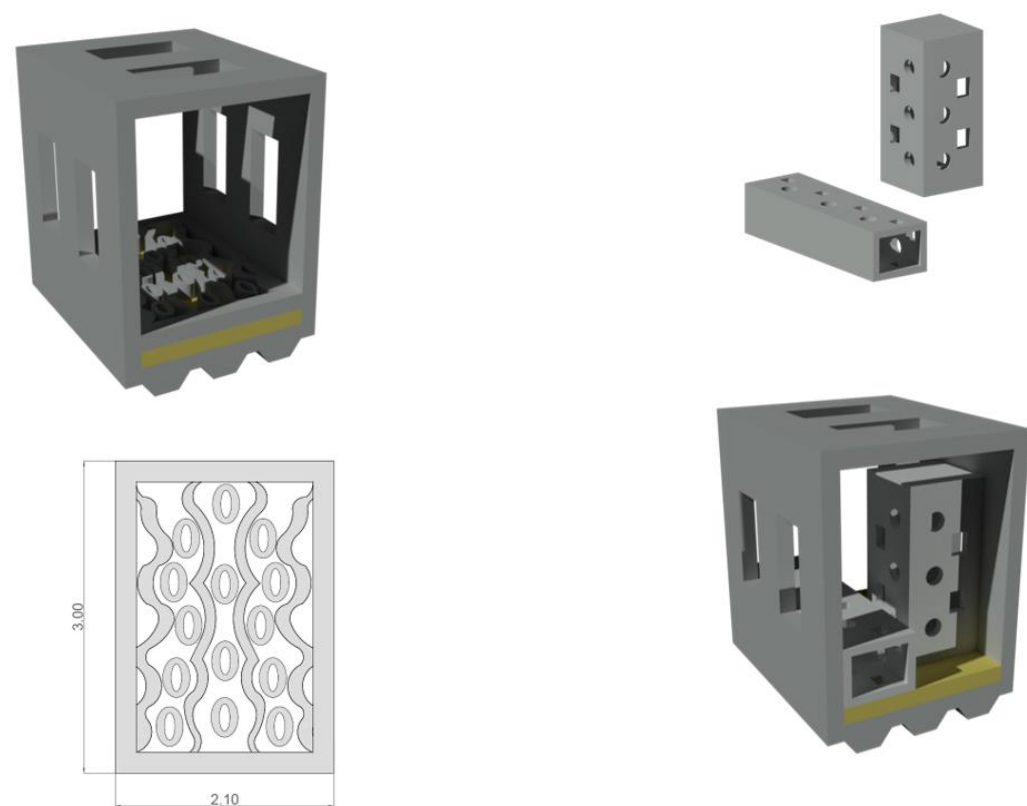


Figura 22. Piezas para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad. (Fuente: Planos 7.3 y 7.4, 2023)

### 9.2.3. Piezas interiores para reclamo turístico-buceo

aprovechando el esqueleto resistente que ofrecen las piezas diseñadas, se han realizado varias propuestas de diseño de piezas que generen un cierto atractivo turístico para los arrecifes artificiales diseñados en este estudio. Los arrecifes artificiales que se han diseñado se encuentran localizados dentro de la zona de baño y, por lo tanto, estas estructuras pueden ser visitadas por los bañistas.

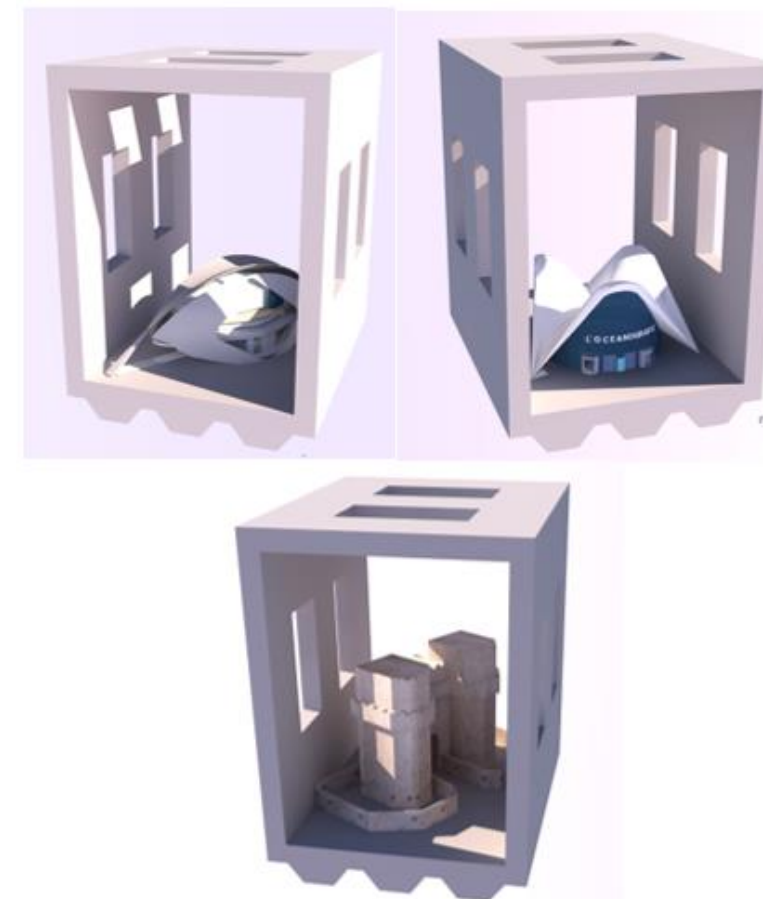


Figura 23. Piezas interiores diseñadas para reclamo turístico. (Fuente: elaboración propia, 2023)

## 9.3. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS ESTRUCTURAS ARRECIFALES

Como se realiza en el apartado 3.5 del Anejo N°8, es de vital importancia, en este tipo de actuaciones, determinar la posición final de las estructuras. En ese mismo apartado se ha definido con detalle la malla de colocación de las piezas y la distribución de las mismas dentro de los bloques diseñados. A continuación, se muestra una imagen extraída del Anejo N°8 en la que puede observarse la configuración de los distintos bloques que se han diseñado como solución final de este estudio.

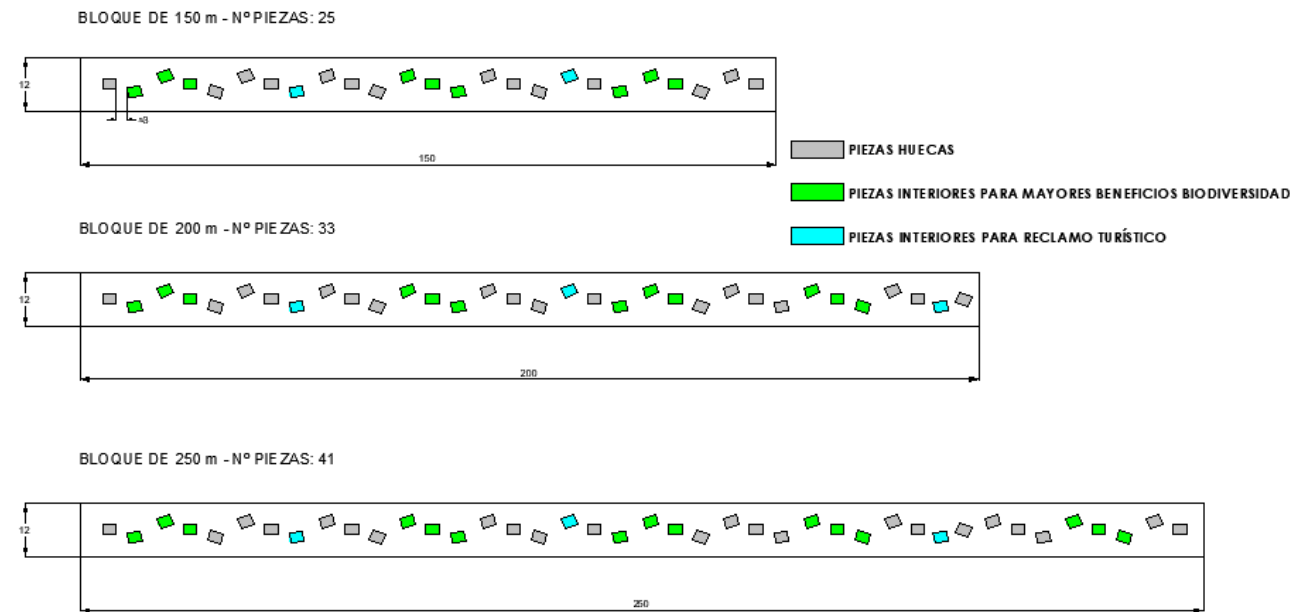


Figura 24. Distribución de los módulos en bloques. (Fuente: plano 7.6, 2023)

La principal característica de estos bloques es la malla de colocación de los módulos para la formación de los mismos. La ventaja fundamental que ofrecen estos módulos es que la colocación de los mismos es aleatoria, es decir, no se trata de una estructura longitudinal continua y unida, sino que se trata de piezas colocadas aleatoriamente, con una separación aproximada de 3 metros entre ellas. Esta característica hace que el procedimiento constructivo se simplifique en gran medida. los bloques tendrán una separación aproximada de 80 metros entre sí, aunque en algunos casos puede llegar a ser superior dependiendo de la configuración de los espigones existentes. Por último, se ha realizado una división en tramos de la zona de estudio debido a la existencia de los espigones transversales que delimitan las zonas de actuación y que no permiten una distribución homogénea de los bloques, haciendo necesario que se hayan tenido que diseñar tres tipos de bloques de diferentes dimensiones como se ha visto en la figura anterior extraída del apartado 3.5 del Anejo N°8.

#### 9.4. CÁLCULO DE ESTABILIDAD

En este apartado, se ha realizado el cálculo de estabilidad de los módulos frente a la acción del oleaje y se ha calculado su estabilidad frente al vuelco y al deslizamiento. Se recomienda visitar el apartado 4 del Anejo N°8 para poder comprobar los cálculos y las formulaciones que se han utilizado para la comprobación de la estabilidad de los módulos.

Respecto a los efectos del oleaje, se ha obtenido que los módulos tienen un factor de seguridad de 2'5 frente a la acción del oleaje. Respecto a las fuerzas de deslizamiento y vuelco, se ha comprobado que las fuerzas de resistencia (117.56 KN) son mayores que las fuerzas de arrastre (95.86 KN) por lo que, a priori, no se producirán inestabilidades.

La conclusión del cálculo de estabilidad es que los valores de las fuerzas de arrastre y de resistencia son muy similares, lo que indica que, aunque se cumplan las condiciones de no deslizamiento y/o vuelco, es probable que algunos de los módulos si sufran estas inestabilidades. Esto ya se ha tenido en cuenta a la hora de realizar el diseño de los módulos, considerando que el vuelco de los mismos no tiene prácticamente influencia en su funcionamiento. Estos módulos se encargan de reducir la energía del oleaje restituyendo las praderas de Posidonia oceánica degradadas, por lo que, aunque tras el paso de algún temporal algunos de los módulos puedan verse afectados, seguirán cumpliendo su función principal, que es reducir la energía del oleaje incidente sobre la costa.

#### 9.5. BALIZAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

Los arrecifes artificiales se implementan estratégicamente dentro de la zona de baño, una de las razones de colocarlos a esta distancia es aprovechar los módulos diseñados para los arrecifes artificiales como pesos muertos para la instalación de las boyas que señalizan y delimitan las zonas de baño. Para optimizar el balizamiento y fomentar la sostenibilidad, se propone el empleo de boyas ecológicas que hagan uso de las estructuras de los arrecifes artificiales como pesos muertos para su anclaje.



Figura 25. Localización del sistema de balizamiento. (Fuente: plano 7.16, 2023)

## 9.6. PLAN DE VIGILANCIA

En el apartado 7.1 del Anejo nº8 se han mostrado los aspectos fundamentales para verificar la eficacia de funcionamiento del arrecife, los cuales son:

- Vigilancia de la estabilidad
- Vigilancia ambiental
- Vigilancia de los efectos de la reducción de la energía del oleaje

### 9.6.1. Futuras actuaciones a realizar

Se muestran a continuación las conclusiones extraídas del apartado correspondiente que se encuentra dentro del Anejo N°8 (apartado 7.2). En dicho apartado se plantea una solución doble, en primer lugar, realizar alimentaciones artificiales en playas erosionadas con depósitos de material similar al de Cullera que menciona Alguacil Jiménez (2020), y posteriormente, restablecer el flujo de sedimentos fluviales a través del trasvase planificado de arenas y gravas en los embalses. Mientras se realizan estas actuaciones, se llevará a cabo la retirada progresiva de las obras de defensa existentes en la actualidad, con lo que se conseguirá restablecer el flujo de sedimentos en la costa valenciana. Con ello, se podrá estudiar con mayor certeza el efecto de los módulos diseñados en este estudio, lo cual permitirá determinar correctamente su influencia a la hora de reducir la energía del oleaje y evitar que se produzca la recesión de la línea de costa correspondiente al Hemitómbolo del Puig.

### 9.6.2. Desmantelamiento de las estructuras

El estudio de vigilancia puede indicar que si el diseño planteado en este estudio no funcionara como estaba previsto o si se producen efectos negativos no señalados en la evaluación del impacto ambiental, deberá estudiarse dos escenarios posibles. En el primero de ellos, se modificará el arrecife para corregir la situación, modificando por ejemplo su posición final. La otra opción, si no es posible modificarlo o si el arrecife no cumple su objetivo, se puede tomar la decisión de interés público de desmantelar o retirar la estructura del arrecife. En el apartado 7.3 del Anejo N°8, se muestran los estudios y pasos de seguir que se han planteado en caso de que sea necesario el desmantelamiento de los módulos diseñados.

## 10. Procedimiento constructivo

En el anejo correspondiente a este apartado se han abordado las posibles complicaciones que pueden surgir durante el traslado por carretera de los módulos diseñados, teniendo en cuenta los gálibos de puentes y pasos superiores, lo que exige una planificación precisa y minuciosa para garantizar el transporte seguro y sin contratiempos. Además, se ha analizado en profundidad el transporte marítimo de los módulos y el fondeo de estas piezas en la zona de estudio.

### 10.1. EMPRESA ENCARGADA DE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS

Tras un exhaustivo análisis, se ha seleccionado a la empresa PRHOMARCO | TUBOS IGUALADA (2023) como la opción idónea para llevar a cabo la construcción de los módulos arrecifales. Una de las características fundamentales que han llevado a la elección de PRHOMARCO | TUBOS IGUALADA (2023) es su estratégica localización en Miranda, una localidad de Cuenca que se encuentra a una distancia aproximada de 200 kilómetros de la zona de actuación. Uno de los puntos clave que ha llevado a la selección de esta empresa es su experiencia en la construcción de marcos cuadrados de carreteras, que son utilizados en la construcción de pasos inferiores y obras de drenaje transversal. Estos marcos cuadrados presentan similitudes estructurales con los módulos diseñados en este estudio

### 10.2. TRANSPORTE DE LOS MÓDULOS AL PUERTO DE SAGUNTO

Sabiendo que la pieza diseñada tiene una altura total de 3 metros, y que como menciona Robles Toledo, J (2022), la altura promedio de los remolques es de 1.5 metros, se tendría que la altura total del remolque y los módulos sería de aproximadamente 4'5 metros en total.

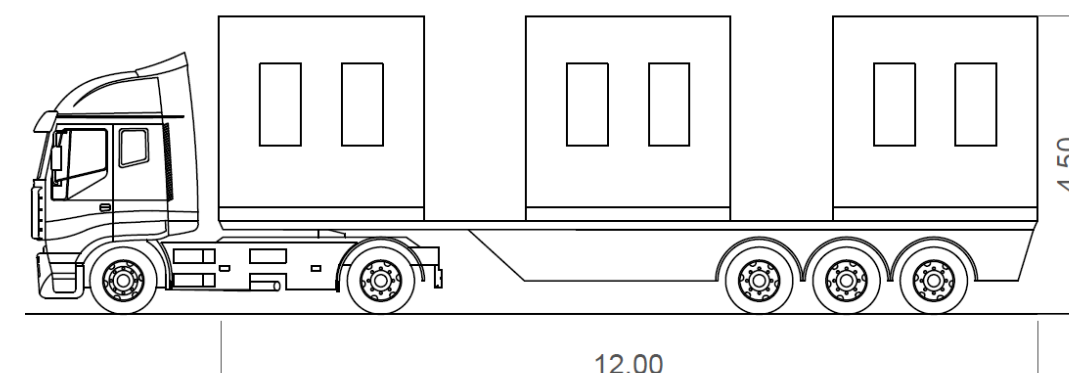


Figura 26. Dimensiones del camión incluida la carga. (Fuente: elaboración propia, 2023)



En el anejo correspondiente al estudio del procedimiento constructivo (anejo N°9), se ha definido la ruta más rápida desde la empresa de prefabricados hasta el Puerto de Sagunto. En ese mismo anejo, se ha realizado un estudio de los gálibos de puentes y pasos superiores, el cual se recomienda visualizar (ANEXO: "ESTUDIO DE GÁLIBOS DEL TRAYECTO POR VÍA TERRESTRE DE LOS MÓDULOS"). Respecto al trayecto final, debido a la existencia de un paso inferior en la carretera CM-211 con la autovía A-3 en su paso por Minglanilla, en el cual el gálibo es de 3.5 metros, ha sido necesario realizar una modificación de la ruta más rápida que ofrecía Google Maps para transportar los módulos. La ruta final a seguir tiene una duración aproximada de tres horas y su trayecto se muestra a continuación:

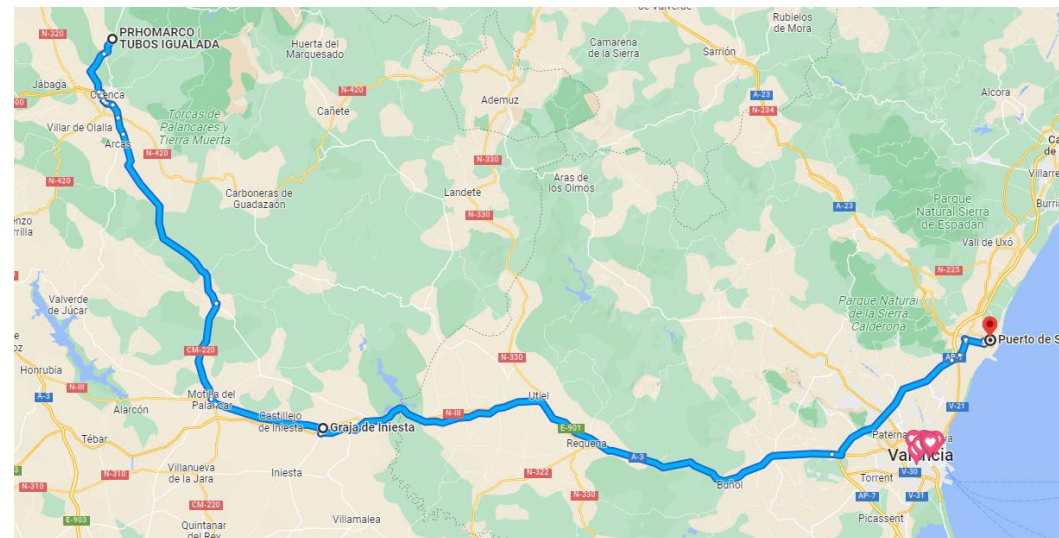
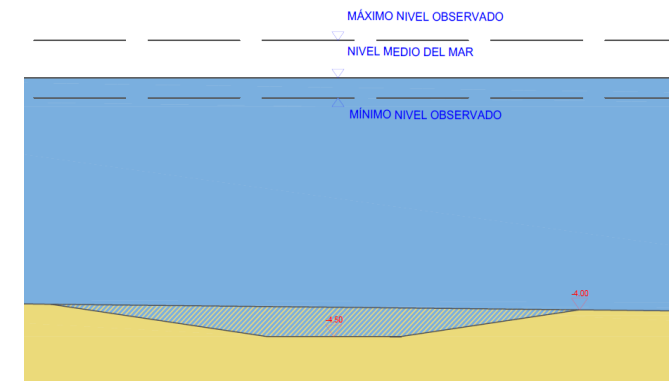


Figura 27. Recorrido final hasta el Puerto de Sagunto. (Fuente: Google Maps, 2023)

### 10.3. FONDEO DE LOS MÓDULOS

Como se estudia en el anejo N°9, se realiza un procedimiento de estabilización del lecho submarino para la colocación de los módulos arrecifales, el cual se centra en generar una plataforma sólida y segura mediante el uso de lanzas de agua a presión. Esta técnica permite licuar el terreno submarino, creando una base compacta y cohesionada que garantiza la estabilidad de las estructuras. Tras la generación de esta plataforma estable, se colocan cuidadosamente los módulos diseñados para la construcción de arrecifes artificiales, los cuales quedarán parcialmente soterrados con el tiempo gracias al transporte de sedimentos generado por el oleaje. El asentamiento final de las estructuras se estima en aproximadamente 0.7 metros, tal como se ha detallado en el Anejo N°8 "Diseño de la solución adoptada". La implementación de este procedimiento asegura la adecuada adaptación al entorno marino y una óptima estabilidad de las estructuras, minimizando el impacto ambiental mediante técnicas respetuosas con el entorno.

1) PREPARACIÓN DEL LECHO MARINO PARA EVITAR VUELCOS POR SOCAVACIÓN



2) FONDEO DE LOS MÓDULOS MEDIANTE USO DE FLOTADORES



3) ASENTAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOBRE EL TERRENO

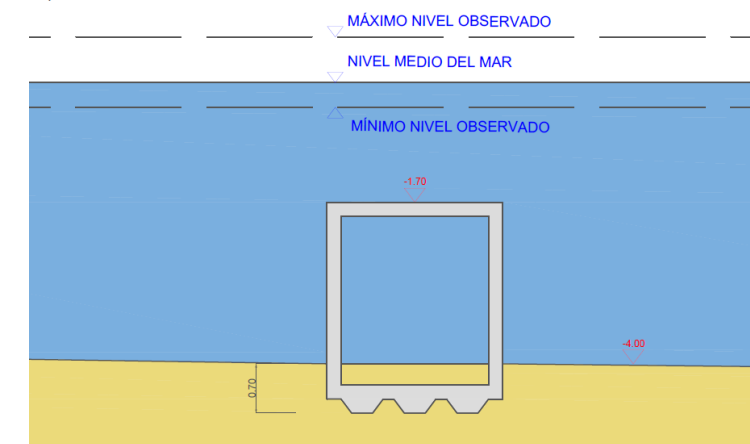


Figura 28. Procedimiento constructivo a seguir. (Fuente: plano 8, 2023)

#### 10.3.1. Transporte de los módulos hasta su posición final

Siguiendo las recomendaciones de MITECO (2008), se ha seleccionado una embarcación de 100 metros de eslora y 12 de manga, dimensiones que la convierten en una embarcación óptima, ya que los bloques de 150 y 200 metros están compuestos por 25 y 32 módulos respectivamente, lo que permite que con un solo viaje se puedan construir dichos bloques.

Dado que la profundidad de colocación de las piezas exige embarcaciones de calado reducido, se utilizarán embarcaciones auxiliares similares a las empleadas en maniobras portuarias. Estas embarcaciones serán fundamentales para transportar los módulos mediante flotadores, lo que agilizará y simplificará las operaciones.

El procedimiento inicia con la descarga de la estructura desde la embarcación principal, situada estratégicamente cerca de la ubicación final de los bloques. De esta manera, se minimizará el trayecto de las embarcaciones auxiliares, que son cruciales en el proceso. La colocación de los módulos se estima en alrededor de 2 piezas por hora, y con dos

embarcaciones auxiliares, en una jornada de 8 horas, se podrían fondear los 32 módulos transportados en un solo día. Una vez que los módulos están en el agua, los flotadores previamente preparados se instalan estratégicamente para mantener la estructura flotando durante el transporte a la posición final.

Finalmente, se inicia el controlado proceso de desinflado de los flotadores, permitiendo que el agua penetre gradualmente para disminuir su flotabilidad. Con este proceso, la estructura se asienta de forma estable y segura en el lecho marino, evitando movimientos bruscos que puedan afectar su integridad y asegurando un fondeo adecuado.

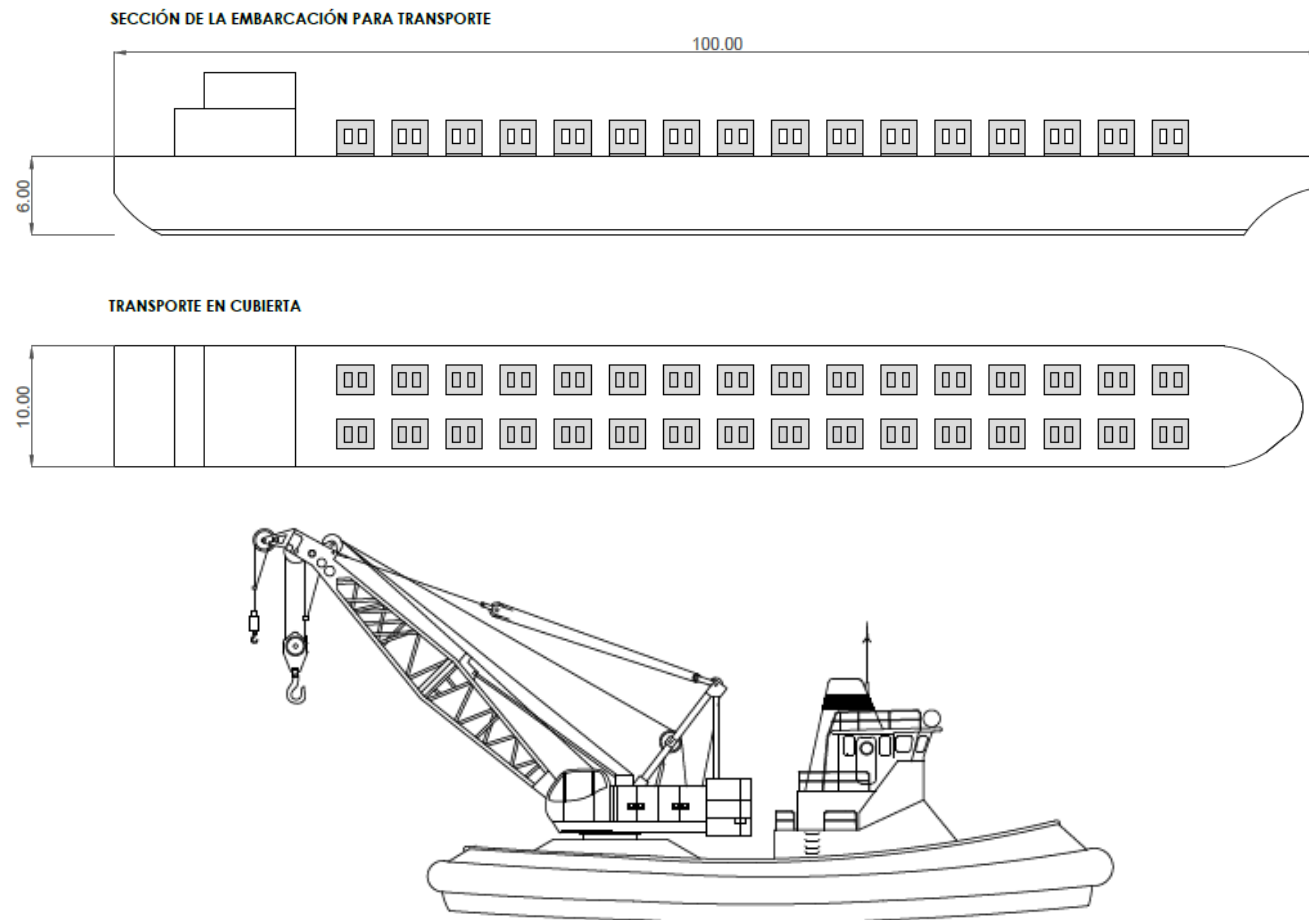


Figura 29. Embarcaciones utilizadas para el transporte y fondeo de los módulos. (Fuente: plano 8.2, 2023)

## ANEJOS DE LA MEMORIA

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE GENERAL

---

- ANEJO Nº1.- ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO.....25
- ANEJO Nº2.- ESTUDIO DE PIEZAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARRECIFES.....42
- ANEJO Nº3.- ENCUADRE GEOGRÁFICO, ACCESOS Y DATOS PREVIOS.....56
- ANEJO Nº4.- BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA.....62
- ANEJO Nº5.- ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO.....66
- ANEJO Nº6.- CLIMA MARÍTIMO Y ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR.....74
- ANEJO Nº7.- ESTUDIO DE SOLUCIONES.....89
- ANEJO Nº8.- DISEÑO DE SOLUCIÓN ADOPTADA.....114
- ANEJO Nº9.- PROCEDIMEINTO CONSTRUCTIVO.....138
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DEL ESTUDIO.....157

## **ANEJO N°1: ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	<b>27</b>
<b>2. Objeto del estudio</b> .....	<b>27</b>
<b>3. Antecedentes</b> .....	<b>28</b>
3.1. ANÁLISIS DE LAS PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA.....	28
3.1.1. Afecciones sobre la Posidonia oceánica.....	30
3.1.2. Descripción de praderas de Posidonia oceánica en la Comunitat Valenciana.....	32
3.2. RECESIÓN GENERAL DE LA LÍNEA DE COSTA VALENCIANA .....	35
3.3. CASOS DE CONSTRUCCIÓN DE ARRECIFES ARTIFICIALES.....	36
3.3.1. Introducción a los arrecifes artificiales .....	36
3.3.2. Estado del arte - Casos de construcción de arrecifes artificiales en España .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Banco de Posidonia oceánica. (Fuente: Ruiz et.al, 2015).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2. Dibujo esquemático de Posidonia oceánica. (Fuente: Duerte et.al, 2001).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3. Esquema papel de Posidonia en protección de la costa. (Fuente: IEO, 2005) .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4. Distribución de praderas marinas en el litoral Norte de Valencia. (Fuente: IEO, 2005). ..</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5. Distribución de praderas marinas en el litoral Norte de Castellón. (Fuente: IEO, 2005). ..</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6. Distribución de praderas marinas en el litoral Sur de Castellón. (Fuente: IEO, 2005). ..</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7. Distribución de praderas marinas en el litoral Norte de Alicante. (Fuente: IEO, 2005). ..</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8. Distribución de praderas marinas en el litoral Sur de Alicante. (Fuente: IEO, 2005).....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 9. Proyecciones del aumento del nivel del mar en el período 2081-2100. (Fuente: Losada Rodríguez et. al, 2014).....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10. Escenarios de recesión en la Playa del Puig. (Fuente: Visor GVA, 2023). .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 11. Ejemplos de construcción de arrecifes artificiales. (Fuente: GVA, 2020).....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12. Ejemplo de arrecife artificial de tipo protección. (Fuente: MITECO, 2008).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13. Ejemplo de arrecife artificial de tipo reproducción. (Fuente: MITECO, 2008) .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 14. Protección de costas e incidencia sobre el oleaje de los arrecifes artificiales. (Fuente: MITECO, 2008) .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 15. Evaluación de la instalación de arrecifes artificiales en España. (Fuente: MITECO, 2008).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 16. Instalación de arrecifes artificiales por Comunidades Autónomas. (Fuente: MITECO, 2008).....</i>	<i>38</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Descripción de amenazas antrópicas, característica de la Posidonia oceánica y medidas antrópicas. (Fuente: Duerte et.al, 2001).....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2. Inventario de arrecifes artificiales en España. (Fuente: MITECO, 2008).....</i>	<i>41</i>



## 1. Introducción

En este anejo se va a definir el objeto de este estudio, el cual pretende analizar el uso de arrecifes artificiales para la restauración ambiental de las zonas de grandes praderas de Posidonia oceánica, las cuales se han podido ver afectadas negativamente por la presión antrópica como se verá en siguientes apartados del anejo actual.

Para definir si los arrecifes artificiales pueden ayudar a la mejora de estas praderas de Posidonia oceánica degradadas y, también, para la mejora de los ecosistemas marinos, es necesario analizar detalladamente los procesos de formación, crecimiento y muerte de las distintas especies características de Posidonia del mar Mediterráneo.

Una vez analizados estos procesos se va a pasar a realizar una recopilación de los distintos casos de construcción de arrecifes artificiales para la mejora de los ecosistemas que se han realizado. Todo ello se realiza con el objetivo de recopilar información de casos reales que puedan servir como apoyo a la hora de diseñar un arrecife artificial (tipología de piezas a usar, procesos constructivos, profundidades de colocación de las piezas, entre otras características).

## 2. Objeto del estudio

Muchas de las playas mediterráneas se encuentran en franca recesión debido a multitud de barreras artificiales litorales (diques) y fluviales (presas) que interrumpen el flujo sedimentario natural, además de otros factores como la degradación de las praderas de Posidonia oceánica. El calentamiento global y la subida del nivel medio del mar en las próximas décadas agravará una erosión ya muy grave en algunas playas.

Además de restaurar el flujo sedimentario fluvial mediante el trasvase de sedimentos y las alimentaciones artificiales marinas, es crucial trabajar con el medio marino para restaurar los servicios ecosistémicos que se han perdido debido a la desaparición y degradación de hábitats como las praderas de Posidonia oceánica y los arrecifes de coral, entre otros, que proporcionan protección a las costas.

El objetivo de este estudio es dar solución a estos problemas de ingeniería costera de especial relevancia en la actualidad y mucho más en el futuro dentro de un escenario de subida apreciable del nivel del mar, procesos erosivos progresivos, cambio climático y degradación de ecosistemas.

Para dar solución a estos problemas, se va a realizar un estudio de soluciones globales sostenibles que pueden revertir el proceso erosivo de las playas mediterráneas y su evolución con el cambio climático, centrándose en el análisis de la restitución artificial del servicio ecosistémico natural de protección de costas que ofrecen las praderas de Posidonia oceánica. Se trata de restituir el efecto de reducción de la energía del oleaje con estructuras artificiales arrecifales que ofrezcan beneficios sobre la biodiversidad marina.

Una vez realizado este estudio de soluciones globales, se va a realizar una aplicación práctica, en la que se analizarán las soluciones planteadas con el objetivo de seleccionar cuál de ellas es la más indicada para tratar la desaparición de las praderas de Posidonia oceánica en la playa del Puig, las cuales permitieron, debido a la reducción de la energía del oleaje que generaban, la formación del conocido “hemitómbolo del Puig”.

### 3. Antecedentes

#### 3.1. ANÁLISIS DE LAS PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA

En este apartado del anejo N° 1: "Antecedentes y objeto del proyecto" se va a explicar el papel fundamental de la Posidonia oceánica en las costas mediterráneas no solo por su valor ambiental, sino también por su papel a la hora de reducir la energía del oleaje y, por tanto, la afección que este puede generar sobre nuestras costas. En este apartado se va a realizar una explicación de la Posidonia oceánica en la costa de la Comunidad Valenciana, para después centrarse en el caso particular objeto de este estudio, es decir, la pradera de Posidonia oceánica que afecta a la zona de la Playa del Puig, situada al norte de Valencia. A continuación, puede leerse un breve extracto que resume el papel de las praderas de Posidonia oceánica, el cual ha sido redactado tomando como referencia el artículo: "Las praderas de Posidonia oceánica y la regeneración de playas" (Duerte et.al, 2001).

Las praderas de Posidonia oceánica son elementos de la naturaleza los cuales son vitales para proteger el ecosistema marino de las costas mediterráneas españolas, y, por tanto, se requiere de una atención especial a este espécimen durante la planificación y construcción de proyectos de obras marítimas, así como en la gestión integrada del litoral mediterráneo. La Posidonia oceánica es una planta endémica del Mediterráneo la cual posee características únicas que deben conocerse para evitar graves errores ambientales. Entre ellas se encuentran: su longevidad, su necesidad de luz y aguas claras, su crecimiento lento, su reproducción poco frecuente, su necesidad de sustrato arenoso, la formación de arrecifes que puede generar a largo plazo, la posibilidad de estabilización de perfiles de playa, la caída de hojas en otoño, entre otras. Aunque la sedimentación intensa puede matarla, la Posidonia oceánica es especialmente vulnerable al aumento de la turbidez del agua debido a vertidos al mar y a la erosión persistente de la playa sumergida, que puede arrancar sus raíces y rizomas (Duerte et.al, 2001).



Figura 1. Banco de Posidonia oceánica. (Fuente: Ruiz et.al, 2015).

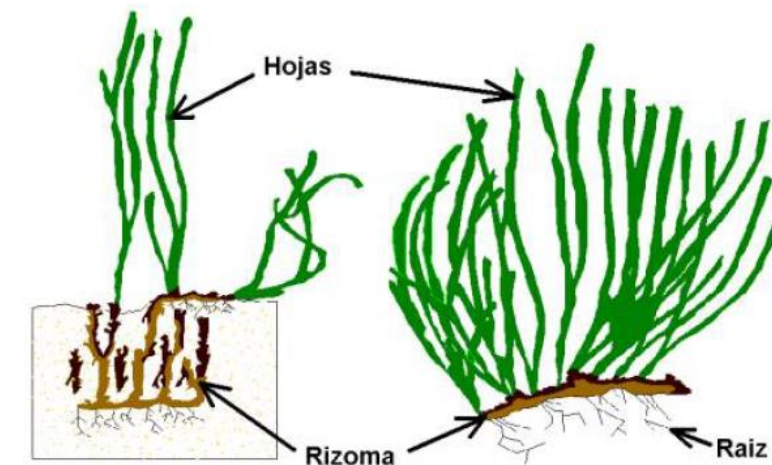


Figura 2. Dibujo esquemático de Posidonia oceánica. (Fuente: Duerte et.al, 2001).

La Posidonia oceánica es un endemismo mediterráneo de gran relevancia, que se extiende cubriendo aproximadamente el 60% del fondo marino del litoral mediterráneo hasta una profundidad de 40 metros según el artículo: "Las praderas de Posidonia oceánica y la regeneración de playas" (Duerte et.al, 2001). Esta especie constituye el ecosistema más ampliamente extendido en las costas mediterráneas españolas, ocupando una extensión de alrededor de 2800 km<sup>2</sup>. Además, las praderas de Posidonia se consideran como uno de los ecosistemas más productivos de la biosfera, debido a que tanto las comunidades de microalgas asociadas, como las de invertebrados, peces y bacterias, los cuales son responsables de la regeneración de nutrientes, contribuyen de manera significativa a la producción. Es importante destacar que la Posidonia no es un alga, sino una hierba o planta marina que engendra flores y semillas, de manera similar a la mayoría de las plantas terrestres.

Las principales características que definen la Posidonia oceánica son las siguientes:

- **Longevidad milenaria:** la Posidonia oceánica es un organismo marino que vive formando extensas praderas y que posiblemente sea el organismo más longevo del planeta. Su formación ha requerido miles de años y constituye el sustrato básico del ecosistema marino mediterráneo. Sin embargo, como se menciona en el Atlas de praderas marinas de España (IEO, 2005), esta pradera puede ser destruida en pocos años. Un ejemplo de esto es la pradera de Posidonia oceánica de San Pedro del Pinatar (Murcia), que abarcaba varios kilómetros cuadrados, la cual desapareció por completo después de instalar un emisario submarino.
  - **Necesidad de agua transparente para el paso de luz:** la Posidonia oceánica requiere de una gran cantidad de luz para sobrevivir, lo que implica que necesita aguas transparentes y no demasiado profundas (con una profundidad máxima de 40 o 50 metros). Cualquier alteración prolongada en la cantidad de luz que recibe la pradera puede provocar cambios drásticos en su crecimiento y eventualmente causar su muerte.
  - **Sufre debido a erosiones en la costa:** la Posidonia oceánica no puede resistir procesos erosivos prolongados, ya que, si falta el sustrato arenoso debido a la erosión de la playa sumergida, las corrientes tienden a arrancar la planta y esta muere en la zona afectada por la erosión. Además, la Posidonia oceánica no suele colonizar la zona de baño en las playas debido a que los cambios abruptos en el perfil de la playa sumergida pueden arrancar la planta, lo que eventualmente evitaría su entrada en esa zona. Debido a su imposibilidad de adaptarse a un escenario de erosión prolongada, la erosión de la costa se convierte en uno de los mayores enemigos de la Posidonia oceánica, lo que finalmente lleva a la misma suerte que la playa cercana. Esta es una de las razones principales por las que los arrecifes artificiales se han presentado como una de las soluciones relevantes e innovadoras para la regeneración de los arrecifes, ya que, al reducir la acción erosiva del oleaje sobre la costa, permiten que el perfil de la costa sufra variaciones menos acusadas y que por tanto la Posidonia tenga de un estrato consistente sobre el que asentarse y poder desarrollarse. Con los arrecifes se consigue reducir la acción erosiva sin afectar directamente a la línea de costa (como sí lo hacen los espigones longitudinales o transversales) y tampoco afectan al transporte sólido litoral, por lo que se posicionan como candidatos ideales no solo para la protección de las costas, sino que también para la protección de los ecosistemas marinos que forman las praderas de Posidonia oceánica.
  - **Genera estabilización de los perfiles de playa:** la estructura de los rizomas de la Posidonia oceánica tiene la capacidad de resistir los movimientos sedimentarios del fondo marino, lo que hace que los cambios de perfil de la playa sumergida sean mucho más lentos. Además, el follaje de la pradera contribuye al armado del suelo arenoso y aumenta la rugosidad del fondo marino, lo que favorece la disipación de la energía del oleaje y promueve los procesos de sedimentación y estabilización de perfiles.
  - **Influencia sobre la propagación del oleaje:** la presencia de praderas de Posidonia oceánica tiene un efecto significativo en la rugosidad del fondo marino, lo que altera la propagación del oleaje y su impacto en la costa. El caso particular que se va a analizar en este estudio es el del hemitómbolo de El Puig (Valencia), el cual es un ejemplo clásico de los efectos de la pradera sobre el oleaje y la costa, donde una gran pradera de Posidonia oceánica formó en el pasado un hemitómbolo de gran escala. Según *“Las praderas de Posidonia oceánica y la regeneración de playas”* (Duerte et.al, 2001), aunque la pradera de Posidonia oceánica en El Puig era importante en los años 70, sufrió una rápida degeneración en los 80, y para finales de esa década ya no quedaban más que matas muertas. Esta degeneración aumentó la capacidad de transporte de sedimentos y redujo el tamaño del hemitómbolo, lo que provocó fuertes erosiones locales y daños en cadena cuando se utilizaron técnicas duras de protección de costas.
  - **Conforma el cimiento del ecosistema litoral:** las praderas de Posidonia oceánica proporcionan un hábitat seguro para muchas especies marinas y colonizan áreas donde la pesca está restringida. Sin embargo, la regresión de la Posidonia oceánica en el litoral del Golfo de Valencia no es un caso aislado, ya que se extiende a gran parte del Mediterráneo noroccidental. Las principales causas de esta regresión parecen ser la intensa presión antrópica, los vertidos y los procesos erosivos generalizados en la costa mediterránea.
- Todas estas características muestran como la Posidonia oceánica es un elemento de un valor incalculable no solo por su valor ambiental a la hora de ser parte fundamental del sustento para la creación de un ecosistema marino diverso, sino que, como se ha explicado anteriormente, también tiene un papel fundamental en la regulación de las líneas de costa, pudiendo llegar a influir notablemente en los procesos erosivos generados por el oleaje.



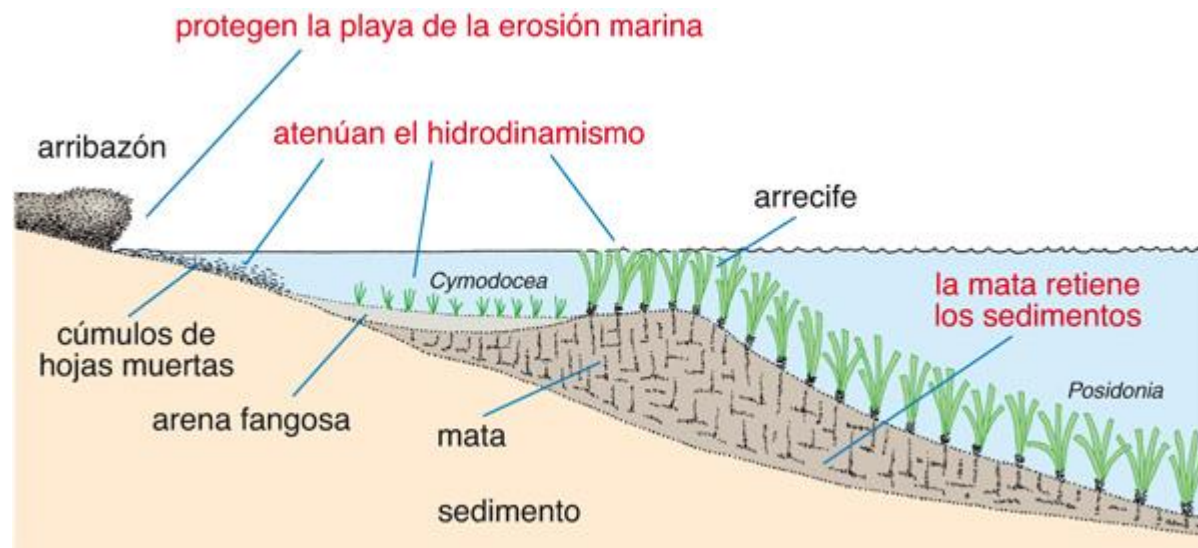


Figura 3. Esquema papel de Posidonia en protección de la costa. (Fuente: IEO, 2005)

### 3.1.1. Afecciones sobre la Posidonia oceánica

En este apartado se van a indicar cuáles son las principales amenazas que pueden generar afecciones sobre las praderas de Posidonia oceánica, amenazas las cuales generalmente son derivas del conflicto entre los usos que habitualmente se realizan en el litoral y las necesidades de la Posidonia oceánica que han sido indicadas en el apartado anterior.

Para definir estas amenazas antrópicas, los efectos que las mismas pueden producir, así como posibles medidas preventivas, se ha realizado una tabla a modo ilustrativo con la información recogida del artículo "Las praderas de Posidonia oceánica y la regeneración de playas" (Duerte et.al, 2001) la cual se muestra a continuación:

<b>AMENAZA</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>MEDIDA PREVENTIVA</b>
Vertidos al mar. Emisarios submarinos. Contaminación litoral.	Reducen la claridad de las aguas. Añaden contaminantes específicos. Inducen inestabilidad al sistema. Inducen anoxia en los sedimentos	Estudios de corrientes. Seguimiento de las praderas y de la calidad de las aguas y sedimentos litorales.
Procesos erosivos litorales	Erosión de la playa sumergida.	Seguimiento de playas y praderas. Alimentación artificial (vigilando que no se produzca sedimentación)
Dragados (destrucción directa)	Destrucción directa de la pradera.	Garantizar la fiabilidad de los estudios preceptivos de impacto ambiental.
Dragados (erosión indirecta)	Erosión del sustrato arenoso.	Elaborar cartografía de precisión de la Posidonia oceánica. Seguimiento de praderas próximas a zonas de dragado
Pesca de arrastre	Daños directos a la pradera.	Concentrar la vigilancia, sanciones, construcción de arrecifes artificiales de protección
Pesca artesanal	Daños puntuales reversibles.	Seguimiento de praderas y de la presión de fondeo. Establecimiento de zonas de exclusión pesquera total
Descarga de sedimentos	Posible enterramiento de plantas.	Seguimiento de praderas. Vertidos a poca profundidad
Construcción de obras marítimas	Erosiones y depósitos intensos. Reducción de la claridad de las aguas.	Estudios de corrientes y procesos de erosión y sedimentación. Seguimiento de praderas.

Tabla 1. Descripción de amenazas antrópicas, característica de la Posidonia oceánica y medidas antrópicas. (Fuente: Duerte et.al, 2001).

### 3.1.2. Descripción de praderas de Posidonia oceánica en la Comunitat Valenciana

En la mayor parte de la Comunidad Valenciana, los fondos del piso infra litoral estaban estructurados por praderas de Posidonia oceánica. Esta especie, como se ha explicado anteriormente, es capaz de desarrollar un sistema complejo de raíces, rizomas y hojas los cuales se convierten en un sustrato ideal para diversos organismos y que generan una mayor rugosidad del fondo marino que reduce la energía del oleaje. A finales del siglo XX, se hizo necesario establecer herramientas de gestión en el litoral marino para la creación de parques, reservas marinas y arrecifes artificiales. Como resultado, se llevaron a cabo trabajos de cartografía a gran escala en amplias zonas de la costa.

Como se menciona en el *Atlas de las praderas marinas de España* (IEO, 2005), la Posidonia oceánica no presenta una distribución homogénea ya que está distribuida de manera equitativa a lo largo del litoral alicantino, mientras que en las costas valencianas y castellanenses presenta una distribución muy reducida. La presencia de praderas de Posidonia oceánica en las costas de Valencia se reduce a pequeñas praderas o haces aislados. La presencia tan reducida de praderas de Posidonia actualmente en el litoral valenciano choca con la que debió existir hace apenas unas décadas, ya que en la actualidad pueden observarse restos de “mata” muerta a lo largo de toda la costa a partir de una profundidad variable, entre las cotas 8 - 10 m y la de 34 m.

El origen de la reciente desaparición de las grandes extensiones de praderas de Posidonia es debido, probablemente, a los impactos ambientales derivados de los cambios en la dinámica sedimentaria, a consecuencia de las obras costeras, en primer lugar, por los vertidos de fertilizantes provenientes del sistema de riego, tanto del arroz como de los cítricos, por los vertidos de origen doméstico e industrial y por los efectos de la pesca de arrastre a escasa profundidad.

En el caso particular en el que se va a desarrollar este proyecto (playa del Puig), con los datos extraídos del *Atlas de las praderas marinas de España* (IEO, 2005), se observa que el último reducto de pradera se encuentra al NE, a una profundidad entre 14 y 17 m. En la actualidad presenta una escasa cobertura y densidad. Se encuentran también algunas manchas aisladas en profundidad hasta fondos de 25 m.

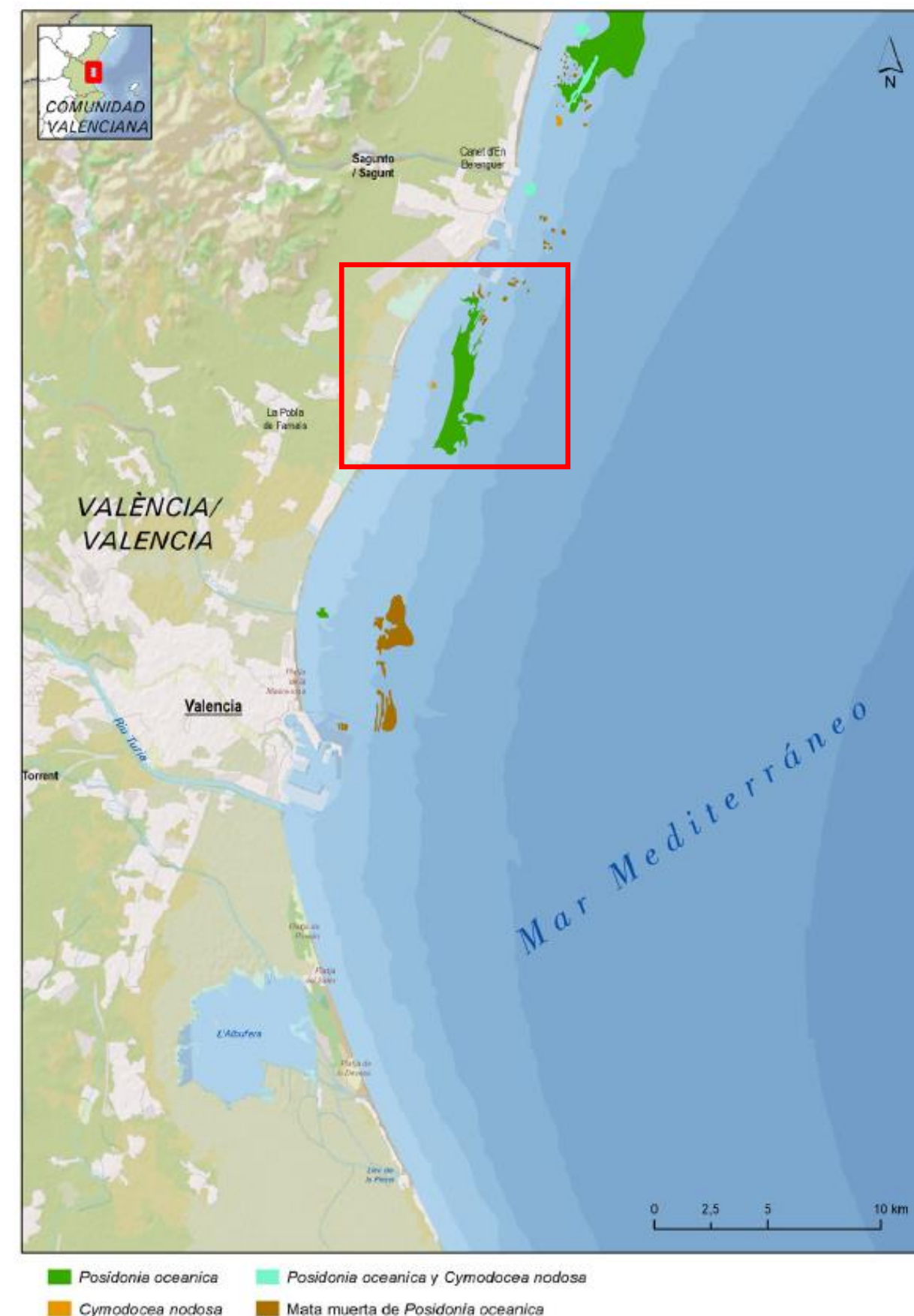


Figura 4. Distribución de praderas marinas en el litoral Norte de Valencia. (Fuente: IEO, 2005).



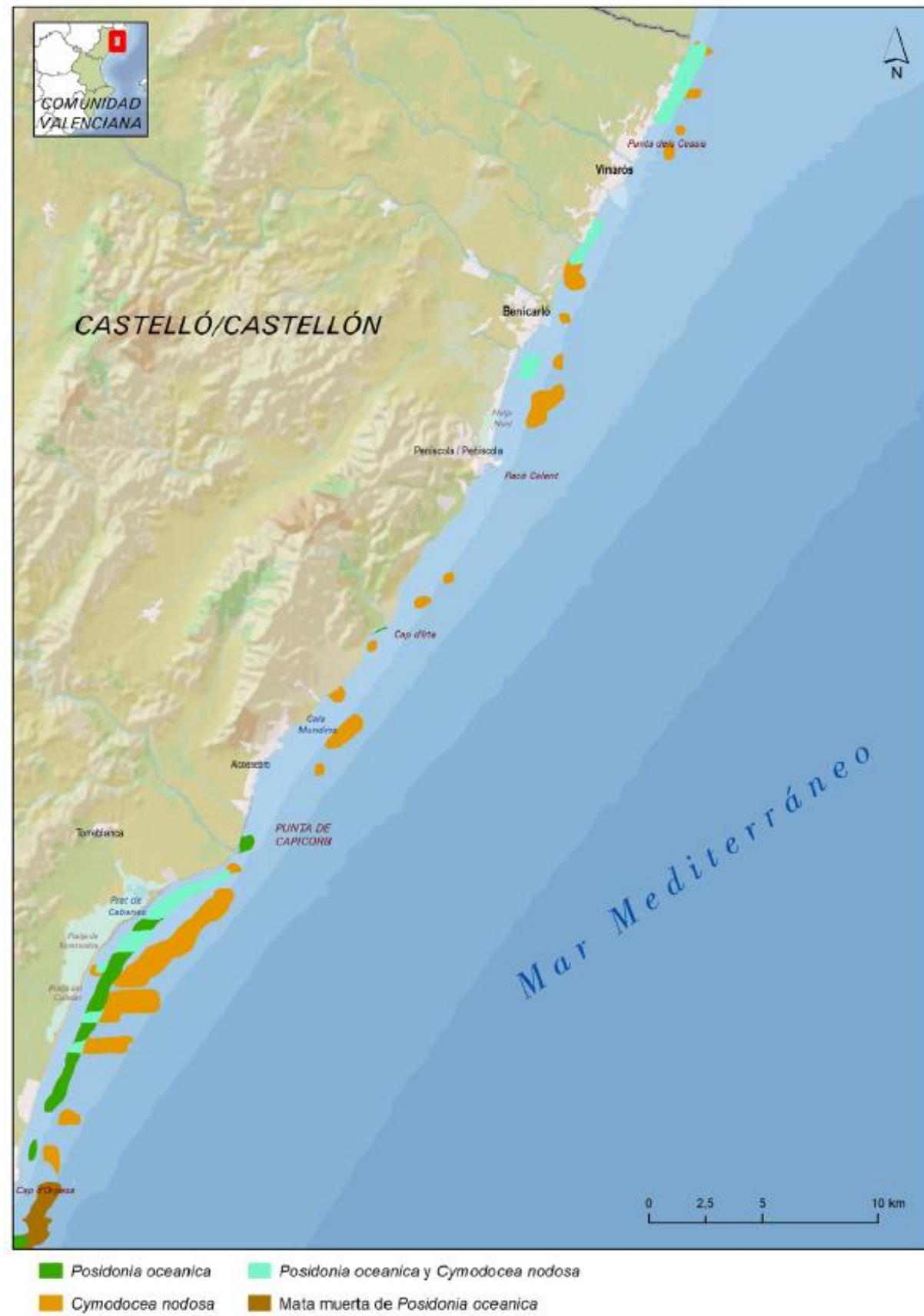


Figura 5. Distribución de praderas marinas en el litoral Norte de Castellón. (Fuente: IEO, 2005).

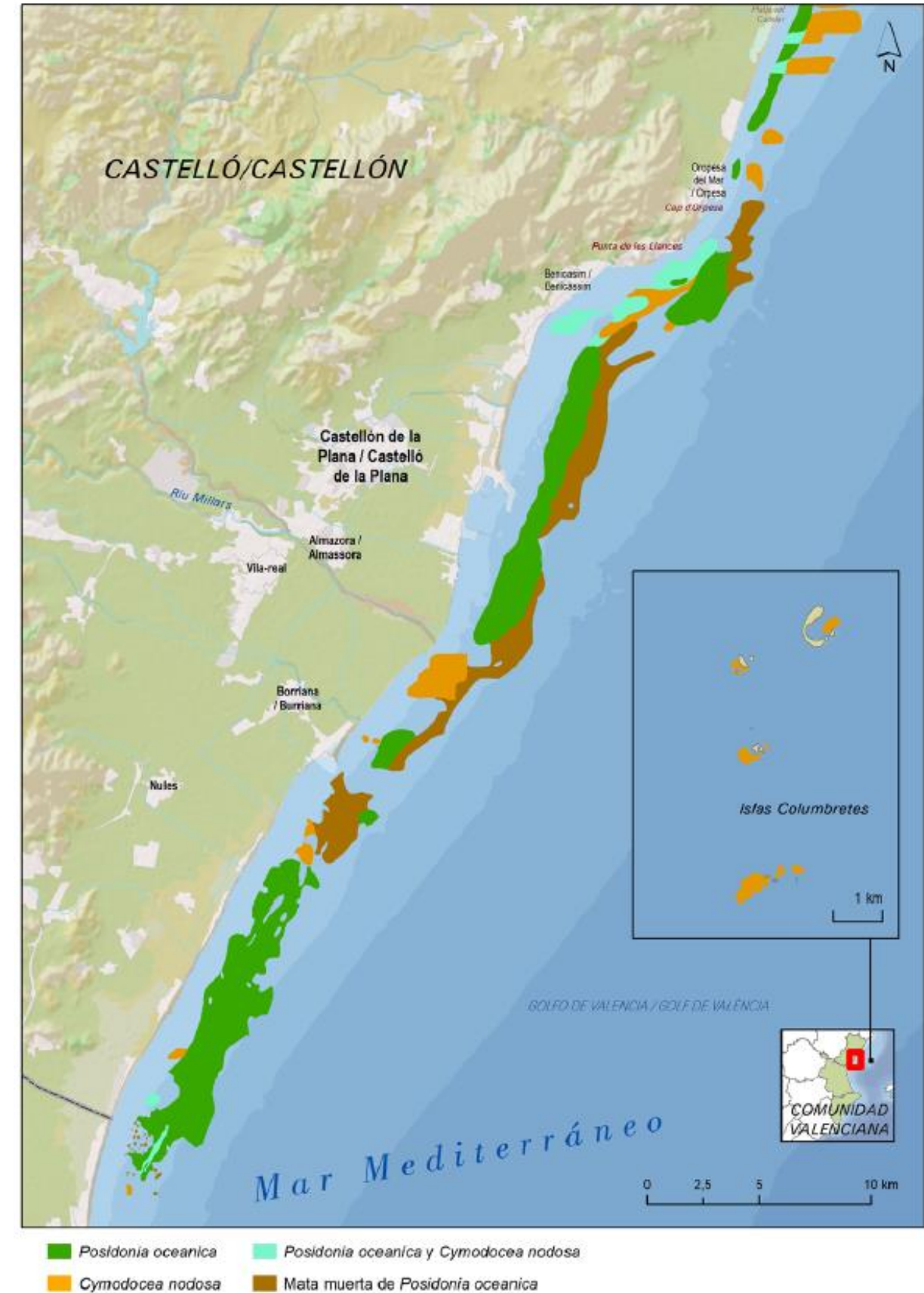


Figura 6. Distribución de praderas marinas en el litoral Sur de Castellón. (Fuente: IEO, 2005).





Figura 7. Distribución de praderas marinas en el litoral Norte de Alicante. (Fuente: IEO, 2005).

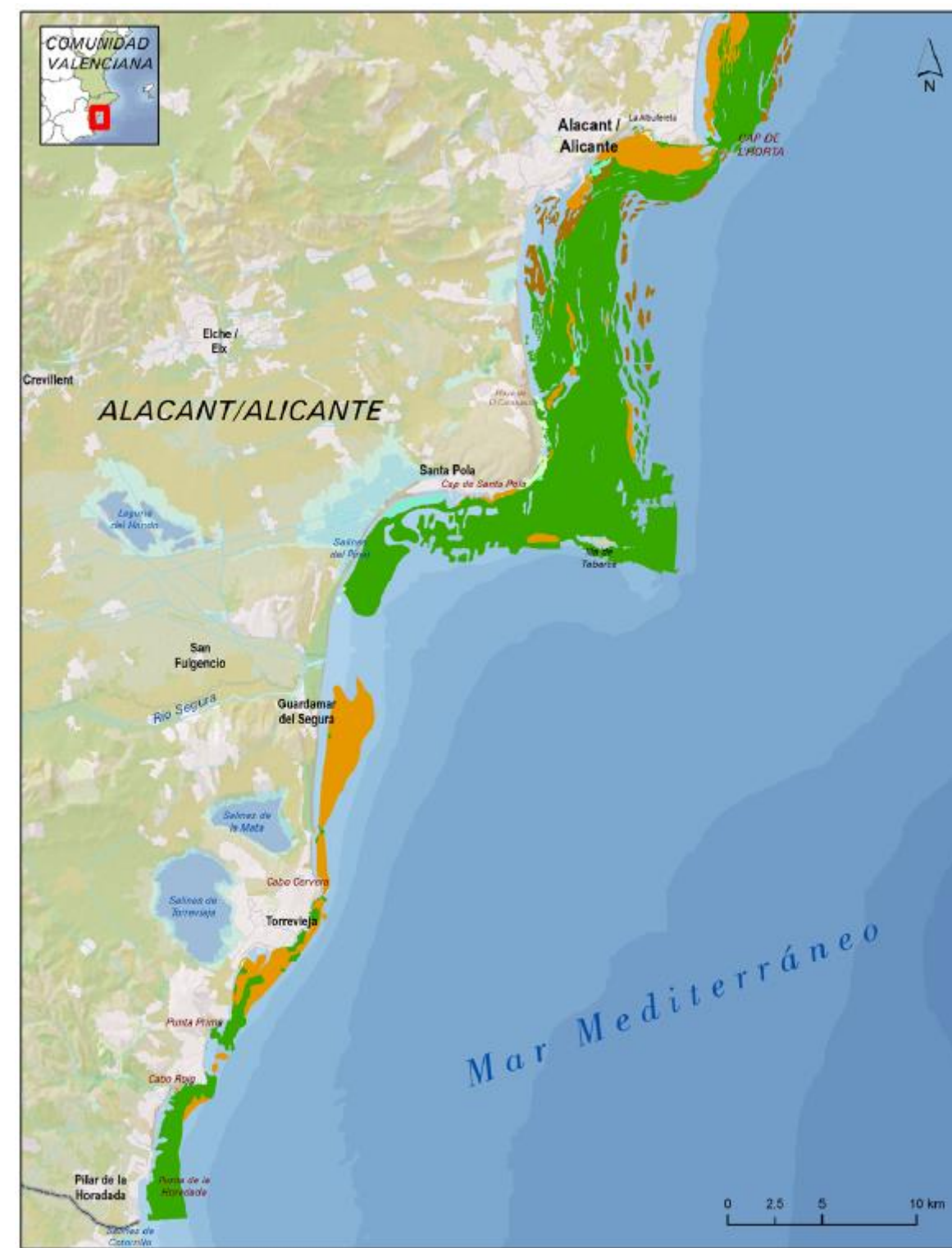


Figura 8. Distribución de praderas marinas en el litoral Sur de Alicante. (Fuente: IEO, 2005).

### 3.2. RECESIÓN GENERAL DE LA LÍNEA DE COSTA VALENCIANA

Como se ha mencionado en el apartado 3.1 de este mismo anejo, la Posidonia oceánica posee una gran influencia sobre la propagación del oleaje y genera una estabilización de los perfiles de las playas. En este apartado se va a estudiar la recesión de la costa generada no solo por la desaparición de la pradera de Posidonia oceánica, sino que también se van a tener en cuenta las posibles erosiones futuras producidas por el aumento del nivel del mar debido al cambio climático.

Es debido a esta razón, el aumento del nivel del mar, que cada vez es más importante disponer medidas para reducir la erosión del litoral español con actuaciones como las que se plantean en este estudio, ya que con ello se consiguen reducir los efectos antrópicos sobre el medio, de forma sostenible.

En su trabajo sobre las variaciones del nivel del mar atribuidas al cambio climático, Diego K. Kresting (2016) afirma que estas se deben principalmente a cambios en la temperatura de la columna de agua y a la adición de agua proveniente de los reservorios continentales. Por su parte, el Instituto Español de Oceanografía (IEO, 2010) señala en su estudio sobre el cambio climático en el Mediterráneo español que se ha registrado un fuerte ascenso del nivel del mar desde principios de los 90, atribuido a diversos factores como el descenso de la presión atmosférica y el aumento de las temperaturas. A partir de estas variaciones, se han realizado diversas proyecciones sobre el nivel del mar.

En el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), se ha desarrollado el estudio "Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación" (Kersting, 2016), el cual indica que las tendencias de ascenso del nivel medio del mar para el siglo XXI se sitúan entre 3,7 y 5,3 mm/año para el escenario A2 (emisiones de gases invernadero altas), lo que podría resultar en un aumento total de 40 a 60 cm para el año 2100. Por otro lado, el informe "Cambio climático en la costa española" (PNACC, 2014) muestra proyecciones del aumento del nivel medio del mar para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en el período 2081-2100, en las costas españolas (ver Figura 8).

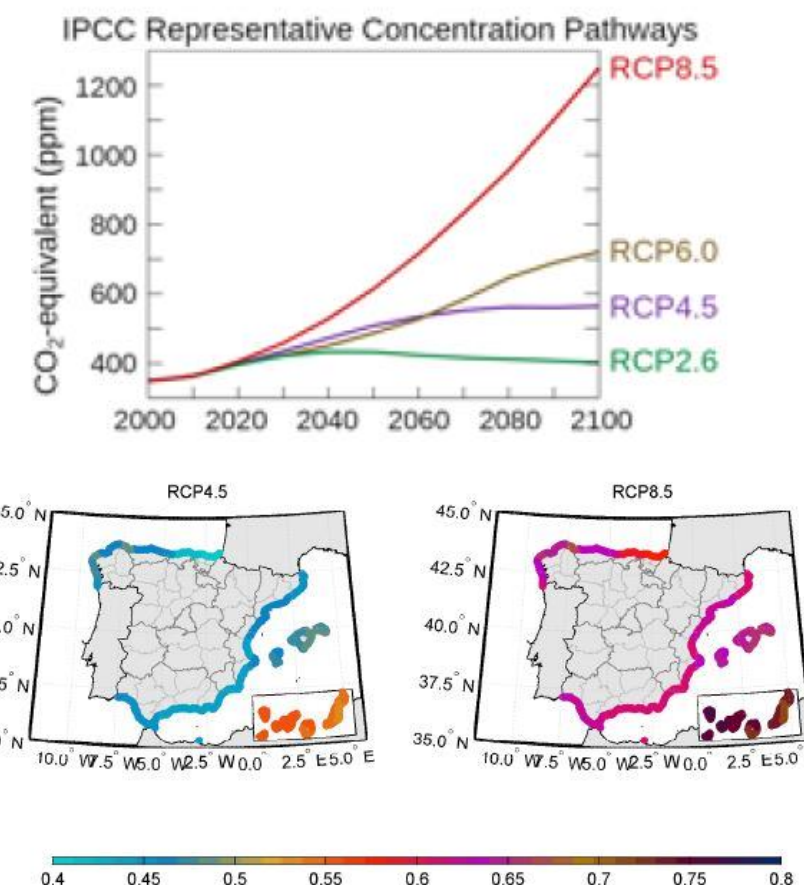


Figura 9. Proyecciones del aumento del nivel del mar en el período 2081-2100. (Fuente: Losada Rodríguez et. al, 2014).

Como se menciona en el documento "La costa valenciana frente la emergencia climática" (GVA, 2020), la situación de la costa valenciana es compleja, lo que pone en relieve la vulnerabilidad de sus ecosistemas y servicios ambientales. Esta zona costera es especialmente delicada ante los efectos del cambio climático, efectos como: el aumento del nivel del mar explicado anteriormente, el incremento de la temperatura superficial del agua, los cambios en las tormentas y las variaciones en el oleaje. Se prevé que se produzcan retrocesos estructurales permanentes en la línea litoral durante la segunda mitad y hacia el final del siglo, en comparación con la línea costera de la actualidad.

Se puede concluir que las playas de sedimento más fino sufrirán retrocesos permanentes mayores (como por ejemplo el caso particular de este proyecto, la playa del Puig) que las playas con mayor tamaño de sedimento. En concreto, las playas centrales de la costa de Castellón y las playas de Valencia son mucho más vulnerables debido al aumento del nivel del mar y a la falta de aportaciones de sedimento, en comparación con las playas de la costa de Alicante. Según el



documento “La costa valenciana frente la emergencia climática” (GVA, 2020), se estima que las playas de la costa de Castellón y Valencia podrían sufrir retrocesos de hasta 100 metros en 2100. Además, la falta de aportaciones de sedimento en el norte genera una erosión que se propaga de norte a sur hasta que el tramo consigue una nueva situación de equilibrio. Por tanto, se destaca la fragilidad de los hábitats y servicios ecosistémicos de la costa valenciana frente a los efectos del cambio climático.

La subida del nivel del mar y otros efectos del cambio climático tienen consecuencias significativas en los sistemas costeros naturales, incluyendo la pérdida de servicios ecosistémicos y la pérdida de praderas de Posidonia oceánica, un ecosistema emblemático del Mediterráneo. Si no se toman medidas, la exposición y la vulnerabilidad costera aumentarán debido al aumento de la población, las actividades y la ubicación de bienes en el litoral. Además, los eventos extremos de inundación continuarán y se agravarán debido al cambio climático y, en particular, a la subida del nivel del mar, lo que tendrá graves consecuencias para el sistema socioeconómico.

A continuación, se muestra una imagen de los escenarios de recesión correspondientes a los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5 para 100 años, en concreto, se observan los cambios en la línea de costa de la playa del Puig (caso particular de este proyecto), la cual se estudiará con más detalle en siguientes anejos.



Figura 10. Escenarios de recesión en la Playa del Puig. (Fuente: Visor GVA, 2023).

### 3.3. CASOS DE CONSTRUCCIÓN DE ARRECIFES ARTIFICIALES

#### 3.3.1. Introducción a los arrecifes artificiales

A continuación, se va a realizar una breve introducción a los arrecifes artificiales. Para ello se va a dar respuesta a dos preguntas claves: ¿qué son los arrecifes artificiales? ¿cuál es su utilidad? Una primera definición podría ser la que viene dada en el artículo “Arrecifes artificiales: Estructuras llenas de vida” (Gayo Romero, J.L., 1998), en el que se definen los arrecifes artificiales como un “conjunto de estructuras que, fondeadas en el medio marino, introducen en éste una diversificación de ecosistemas, creando áreas o zonas de repoblación marina natural.”



Figura 11. Ejemplos de construcción de arrecifes artificiales. (Fuente: GVA, 2020)

Los objetivos principales de este tipo de obras son la reproducción biológica y la protección de los fondos marinos contra la pesca indiscriminada, como el arrastre. Los resultados obtenidos incluyen un aumento de la productividad biológica, la diversidad del ecosistema y la creación de zonas de pesca artesanal selectiva. Además, se produce una reducción de la energía del oleaje incidente en la costa, entre otros beneficios.

Cuando se introducen elementos atípicos en el medio marino, se producen variaciones en el medio ambiente que pueden potenciar la comunidad biológica original o crear una nueva comunidad biológica (biocenosis). Con el paso del tiempo, estos elementos provocan la proliferación y crecimiento de organismos vivos, desarrollo de algas y fauna marina en su entorno, por tanto, este tipo de construcciones pueden ser fundamentales para la regeneración de las praderas de Posidonia oceánica profundamente degradadas por las acciones antrópicas en las últimas décadas.

Como señala Gayo Romero, J.L. (1998) en su artículo, los estudios y experiencias iniciales sobre este tipo de estructuras se realizaron en Japón y Estados Unidos, que son líderes en su diseño y construcción. En el Mediterráneo, los técnicos españoles también han tenido experiencia en este campo. Los arrecifes artificiales se crearon sumergiendo o anclando objetos hechos de diferentes materiales. Los japoneses utilizaron materiales como madera, plástico, hormigón, acero y posteriormente fibra de vidrio para aumentar la producción pesquera principalmente.

Por otro lado, en Estados Unidos se han utilizado comúnmente materiales de desecho como carrocerías de coches, barcos y aviones en desuso, neumáticos, etc. para aumentar la pesca deportiva. En Europa se ha adoptado el enfoque japonés, que busca proteger los fondos marinos de la pesca de arrastre y fomentar la pesca artesanal para reducir la mortandad de peces por exceso de pesca.

Un buen diseño para un arrecife artificial debe fomentar el crecimiento de vida marina, como algas, peces, moluscos y corales, por lo que debe tener una forma atractiva para ellos. Si existe la posibilidad de que el arrecife esté en contacto con nadadores, es importante que tenga una apariencia natural para evitar que los bañistas noten fácilmente su origen artificial al encontrarse con formas definidas y simétricas.

Las características de las unidades, como su forma, tamaño, peso, heterogeneidad espacial, grupo básico y su disposición y distancia entre bloques, son factores de diseño que deben ser considerados cuidadosamente en función del objetivo deseado para el arrecife artificial. En la actualidad, los arrecifes artificiales se pueden clasificar en diferentes tipos según su función, la cual se puede dividir en:

- **Arrecifes artificiales de tipo protección / disuasión:** se tratan de estructuras compactas y macizas diseñadas con vigas que atraviesan su cuerpo y actúan como elementos estructurales disuasorios. Su función principal es evitar la pesca ilegal y otras actividades mecánicas dañinas para el medio ambiente. A pesar de tener un volumen aparentemente reducido, estos arrecifes tienen un peso elevado. Además, cuentan con elementos estructurales sobresalientes que mejoran su función disuasoria, lo que permite que sean de menor tamaño. Estos arrecifes son ideales para prevenir la pesca de arrastre.



Figura 12. Ejemplo de arrecife artificial de tipo protección. (Fuente: MITECO, 2008)

- **Arrecifes artificiales para creación de ecosistemas / pesqueros / reproducción:** las estructuras han de tener la máxima complejidad posible, ya que se ha observado una relación directa entre complejidad y diversidad. Este tipo de estructuras, conocidas como de tipo alveolar, favorece la colonización por las especies marinas.



Figura 13. Ejemplo de arrecife artificial de tipo reproducción. (Fuente: MITECO, 2008)

- **Arrecifes artificiales para protección de costas / defensa:** simulan a los diques exentos, los cuales tienen como objetivo principal disipar la energía del oleaje y proteger la costa contra la erosión. Están hechos de bloques de hormigón y tienen efectos en la hidrodinámica y la geomorfología de las playas y el transporte litoral de arena. Sin embargo, también pueden generar cambios físico-químicos en la columna de agua y el sedimento. Es importante tener en cuenta la profundidad para evitar afectar la navegación marítima y otras infraestructuras cercanas.





Figura 14. Protección de costas e incidencia sobre el oleaje de los arrecifes artificiales. (Fuente: MITECO, 2008)

medio plazo) las praderas de Posidonia oceánica que han sufrido grandes daños o que han desaparecido, ya que este no es su objetivo ni están diseñados para ello. El objetivo principal de estos arrecifes es paliar la ausencia de estas praderas de posidonia oceánica degradadas por las acciones antrópicas. Por lo tanto, se trata de una “sustitución” que busca simular el efecto sobre el oleaje de las grandes praderas de posidonia sin dejar de lado la pérdida ambiental que supone la desaparición de las mismas, es por ello que existe también el objetivo de construir arrecifes artificiales que generen ecosistemas marinos para que, de alguna forma, se puedan suavizar las consecuencias medioambientales de su pérdida.

### 3.3.2. Estado del arte - Casos de construcción de arrecifes artificiales en España

En España empezaron a colocarse arrecifes artificiales a finales de los años 70 pero la mayoría de ellos han sido instalados a partir de los años 90 como se puede apreciar en la figura 14 que se muestra a continuación (información obtenida de la “Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales” del MITECO publicada en el año 2008):

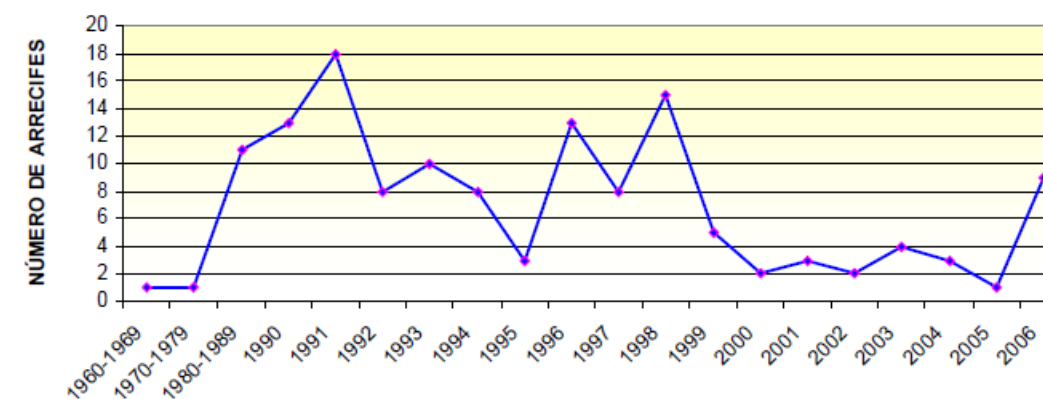


Figura 15. Evaluación de la instalación de arrecifes artificiales en España. (Fuente: MITECO, 2008)

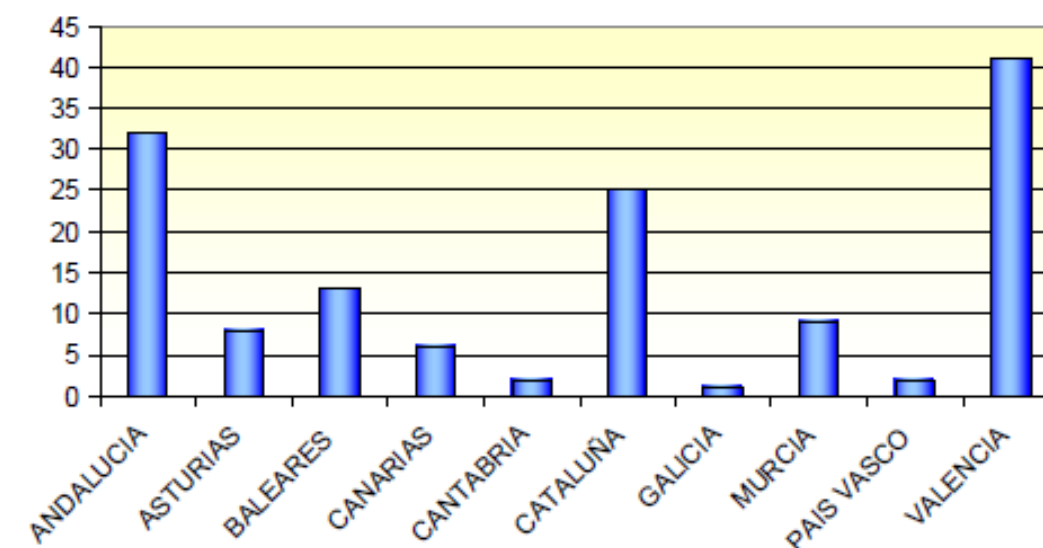


Figura 16. Instalación de arrecifes artificiales por Comunidades Autónomas. (Fuente: MITECO, 2008)

- **Protección de costas + pesqueros / mixtos:** mezcla de tipologías de estructuras. En la actualidad, no existe ninguna tipología de pieza diseñada con el doble objetivo específico de reducir la energía del oleaje y generar un ecosistema sostenible, por lo que uno de los retos de este proyecto se basa en realizar un diseño de una solución de arrecife artificial que pueda cumplir con estos objetivos, ya sea utilizando diversos tipos de piezas ya existentes colocadas a diferentes profundidades o realizando un diseño propio, por parte del equipo, de una pieza especial que pueda cumplir con este doble objetivo.

La forma y el tamaño del arrecife son factores clave que influyen en la biomasa y en la diversidad de especies presentes. Dependiendo de su tamaño, un arrecife artificial puede actuar como un punto de referencia visual o como un estímulo para la vida marina. Si el objetivo es crear un hábitat con poblaciones diversas, es recomendable utilizar una combinación de arrecifes altos y bajos que se adapte espacialmente a las especies objetivo. De esta manera, se puede crear un hábitat adecuado para el crecimiento y la supervivencia de diversas especies marinas.

Un arrecife dividido en diversos grupos, polígonos o núcleos arrecifales puede atraer a una mayor cantidad de especies e individuos, además de proporcionar áreas para diferentes usos simultáneos como por ejemplo el buceo y la pesca, sin dejar de lado uno de los objetivos principales de este proyecto, que es la construcción de un arrecife artificial que reduzca la energía del oleaje y evite así la cada vez más marcada recesión de las playas de la zona.

Como se ha podido observar en las definiciones anteriores, estos arrecifes artificiales pueden llegar a generar un ecosistema marino muy diverso, incluyendo a varias especies de corales, peces, moluscos, etc. Sin embargo, estos arrecifes no pueden regenerar (al menos en el corto -



NOMBRE	AÑO	TIPO	ESTRUCTURA	PROFUNDIDAD
<b>ANDALUCÍA</b>				
Conil I	1989	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Sanlúcar I	1990	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
El Rompido I	1990	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Sanlúcar II	1991	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Isla Cristina	1991	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Cabo de Gata	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
Conil II	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
Torremolinos	1992	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
Sanlúcar III	1992	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
Roquetas	1992	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
El Rompido II	1994	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
Barbate	1995	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
Cerro del Obispo-Mojacar	1997	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Pta Baños- Marbella	1997	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Pta Torrox I	1997	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
Pta Vélez-Málaga	1997	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
P.D. El Candado-Torre Benagalbon	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Conil	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Torre Perdigal-Rambra Moladera	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Marbella-Cabo Pino	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Rio Lagos-Pta. Torrox	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Pta Baños- Marbella	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Pta Torrox III	1999	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Sancti-Petri	2000	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50

P.N. Cabo de Gata-Níjar (Isleta del Moro-Los Escollos)	2001	Mixtos	Módulo disuasivo y de concentración	<50
Calaburras-Desembocadura del Guadalhorce	2002	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Pta Torrox-Torre de Maro	2003	Protección (gestión pesquera) y producción	Módulo prefabricado tipo disuasivo y alveolar	<50
Paraje Natural Maro-Cerro Gordo (Nerja)	2003	Protección (gestión pesquera), Producción y mixtos	Módulos prefabricados tipos disuasivos y alveolares	<50
Chiclana – Sancti Petri	2005	Producción y protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
La Línea de la Concepción	2006	Protección (gestión pesquera) y producción	Módulos prefabricados tipos disuasivos y alveolares	<50
Matalascañas	2006	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Parque Subacuático Almuñecar-La Herradura	2006-2007	Turismo y ocio	Réplicas de Galeras y Módulos de ánforas	<50

## ASTURIAS

Cabo S. Agustín I	1990	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	50
Cudillero I	1990	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	50
Tapia de Casariego	1991	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	50
Llanes	1992	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	50
S. Agustín-Navia II	1993	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	50
Bustio	1993	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
Cudillero II	1994	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	50
Santa Ana	1994	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	50

## ISLAS BALEARES

Cap Regana (Mallorca)	1989	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
Platja Migjorn (Formentera)	1990	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
Punta Roja (Ibiza)	1990	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
Platja Tramuntana	1990	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
Freu Dragonera (Mallorca)	1991	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado	<50
Pta Negra-Molinar (Mallorca)	1991	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50

<b>Illetes-Illa den sec (Mallorca)</b>	1991	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Santa Ponça (Mallorca)</b>	1991	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Pta Prima-Illa de l'Aire (Menoría)</b>	1991	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
<b>Ocean-diver (playa son Bou, Menorca)</b>	1991	Turismo y ocio	Barco (casco hierro)	27
<b>Freus de Ibiza y Formentera</b>	1994	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Levante Mallorquín</b>	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>R.N. Illes Malgrats (Calviá)</b>	2006-07	Producción	Barco: Fragata Baleares	<50

### ISLAS CANARIAS

<b>Arguineguin</b>	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	
<b>Tazacorte</b>	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Tias-Yaiza</b>	1993	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	
<b>Arrieta</b>	2004	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	30
<b>Tenerife</b>	2006-2007	Producción y Acumulación	Pateras preparadas	20-30

### CANTABRÍA

<b>Abra de Laredo</b>	2004	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<100
<b>Ensenada de Calderón</b>	2004	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<100

### CATALUÑA

<b>Sa Riera/Begur (Sa Tuna)</b>	1982	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	
<b>L'Ampolla</b>	1986	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
<b>Maresme II</b>	1987	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Medas/Estartit</b>	1987	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
<b>Boreas (Palamós)</b>	1988	Turismo y ocio	Barco (remolcador)	30
<b>Salou</b>	1990	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50
<b>Pas del Congo</b>	1990	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>El Masnou</b>	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Bahía de Rosas</b>	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	
<b>Lloret de Mar</b>	1992	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50

<b>Vilanova i la Geltru</b>	1992	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Reggio-Messina (Montgrí)</b>	1992	Turismo y ocio	Barco (transbordador)	24-33
<b>Port de la Selva</b>	1993	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Calafell I</b>	1993	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Dragonera (Parc Aquàtic Tarragona)</b>	1994	Producción y Turismo	Barco (patrullero)	20
<b>Calafell II</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Delta de l'Ebre</b>	1997	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	
<b>Maresme III</b>	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Garraf-Penedés</b>	1999	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Golfo St Jordi Sur</b>	2001	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	
<b>Maresme IV Besòs/Mataró</b>	2002	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Parque arrecifes Barcelona</b>	2003	Producción (gestión pesquera) y recuperación de ecosistemas	Módulos prefabricados	10-30
<b>Golondrina Mercè (parque arrecifes Barcelona)</b>	2006	Ocio y turismo	Barco (casco madera)	22

### GALICIA

<b>Prueba piloto Ría de Arousa</b>	1986	Producción	Módulo prefabricado tipo alveolar y biotopos	<50
------------------------------------	------	------------	--	-----

### MURCIA

<b>Cabo Cope-Playa de los Hierros</b>	1993	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Cabo de Palos</b>	1995	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Bahía de Mazarrón</b>	1996	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>El Portús-Isla de las Palomas</b>	1996	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Cabo Cope (ampliación)</b>	1996	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Cabo de Palos</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Playa Hierros-Pta Calnegre</b>	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	
<b>Pta Parda-Puerto de Águilas</b>	1998	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50



<b>Bahía de Mazarrón (Cartagena)</b>	1999	Turismo y Acumulación	3 Barcos militares dragaminas	30	<b>Guardamar</b>	1996	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>PAÍS VASCO</b>					<b>Moncofar</b>	1996	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Mina Mari (Bermeo)</b>	1960	Turismo y Producción	Barco de mercancías	30	<b>Valencia Sur</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Parque Submarino de Bizkaia</b>	2003	Concentración y turismo	Barcos, remolcadores	28	<b>Cullera</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>VALENCIA</b>					<b>Valencia Norte</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Vinaroz I</b>	1988	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Perellonet</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Santa Pola</b>	1988	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Oliva</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Tabarca I</b>	1989	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Cabo S. Antonio</b>	1996	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Benidorm I</b>	1990	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Altea I</b>	1997	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Vinaroz II</b>	1990	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Vilajoyosa I</b>	1997	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Torre Vieja I</b>	1990	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Altea II</b>	1997	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Calpe II</b>	1990	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Vinaroz III</b>	1998	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Calpe I</b>	1991	Producción (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar	<50	<b>Torre Vieja III</b>	1998	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>El Campello</b>	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Sagunto II</b>	1998	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Tabarca II</b>	1991	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Vilajoyosall</b>	1998	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Torre Vieja II</b>	1992	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Gandia II</b>	1999	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Cabanes I</b>	1993	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Gandia III</b>	1999	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Benidorm II</b>	1993	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Cabanes III</b>	2000	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Gandia I</b>	1993	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Vilajoyosa III</b>	2001	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50
<b>Burriana</b>	1993	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Costa Valencia (Gandía, Sagunto, Cullera, Oliva, Perellonet y Valencia)</b>	2006	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Cabanes II</b>	1994	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50	<b>Costa Castellón (Benicàssim, Burriana, Cabanes, Moncofa y Vinaròs)</b>	2006	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Sagunto</b>	1994	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado	<50	<b>Costa Alicante (Santa Pola, Tabarca, Calpe,</b>	2006	Protección (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo disuasivo	<50
<b>Benidorm III</b>	1994	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50					
<b>Benicasim</b>	1995	Mixto (gestión pesquera)	Módulo prefabricado tipo alveolar y disuasivo	<50					

Tabla 2. Inventario de arrecifes artificiales en España. (Fuente: MITECO, 2008)



## **ANEJO N°2: ESTUDIO DE PIEZAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARRECIFES ARTIFICIALES**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>44</b>
<b>2. Taxonomía de tipologías de piezas en arrecifes artificiales</b>	<b>44</b>
2.1. INFLUENCIA DE LOS ARRECIFES ARTIFICIALES SOBRE EL MEDIO	44
2.2. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN	44
2.2.1. Factores principales para el diseño de las piezas	45
2.3. CLASIFICACIÓN RESPECTO FUNCIONALIDAD DEL ARRECIFE	46
<b>3. Interacción de las formas geométricas con el medio</b>	<b>53</b>
3.1. EFECTOS DE LA PROFUNDIDAD	53
3.2. EFECTOS DE LA GEOMETRÍA DE LAS PIEZAS	54
3.2.1. Interacción del agua con las estructuras	54
<b>4. Conclusión del estudio de piezas</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tasas de irradiancia en función de profundidad. (Fuente: <i>Illuminet revista de iluminación</i> , 2018).	46
Figura 2. Ejemplo de arrecife artificial complejo. (Fuente: Reef Ball Foundation, s.f).	46
Figura 3. Coeficiente de transmisión para geometrías básicas prisma triangular y cono. (Fuente: Campo C., et.al., 2018)	53
Figura 4. Coeficientes de transmisión para $h=2$ m. (Fuente: Campo C., et.al., 2018).	54
Figura 5. Vectores velocidad. (Fuente: Campo C., et.al, 2018).	54
Figura 6. Esfuerzos cortantes generados sobre las estructuras. (Fuente: Campo C., et.al, 2018).	55
Figura 7. Líneas de flujo en las distintas piezas. (Fuente: Campo C., et.al, 2018).	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación por funcionalidad de las distintas piezas analizadas. (Fuente: elaboración propia, 2023).	51
Tabla 2. Clasificación en función de criterios seleccionados. (Fuente: elaboración propia, 2023).	52
Tabla 3. Casos a evaluar. (Fuente: Campo C., et.al., 2018).	53

## **1. Introducción**

En este anejo se va a realizar un estudio detallado de las distintas tipologías de piezas y/o módulos utilizados para la construcción de arrecifes artificiales. Para ello, se va a realizar un análisis profundo de la bibliografía referente a la construcción de arrecifes artificiales en todo el mundo.

Como se definió en el anejo N°1 “Antecedentes y objeto del estudio”, uno de los objetivos es restituir los servicios ecosistémicos de protección de costas que se han perdido con la desaparición y degradación de las praderas de Posidonia oceánica. En este anejo se va a realizar también un extenso análisis de las características de diseño, materiales, profundidades de colocación, etc., con el objetivo de definir las piezas y la colocación de las mismas. El propósito de esta definición detallada es identificar la configuración que genere una amplia diversidad de especies, las cuales contribuyan significativamente a la mejora de los ecosistemas marinos, a la vez que se busca también reducir la energía del oleaje que llega a la costa.

Después de analizar los criterios en cuanto a la creación y mejora de los ecosistemas marinos, se va a introducir otra serie de factores a tener en cuenta para seleccionar el tipo de pieza a disponer. Estos factores a tener en cuenta serán, entre otros, el coste (principalmente el coste del encofrado), la facilidad de desmantelamiento, la gestión de los acopios de las piezas, la manipulación-colocación de las mismas en el fondo marino y la reducción de la energía del oleaje que pueden llegar a generar (la cual se estudiará en función de la profundidad a la que se dispongan los módulos).

## **2. Taxonomía de tipologías de piezas en arrecifes artificiales**

### **2.1. INFLUENCIA DE LOS ARRECIFES ARTIFICIALES SOBRE EL MEDIO**

El arrecife es un sustrato sólido y estable que brinda un hábitat adecuado para la fijación de algas, el crecimiento de diatomeas y bacterias, y el asentamiento de peces (Luque et.al, 2001). Como indica la bibliografía, en los arrecifes artificiales se han observado altas densidades de peces, tasas rápidas de colonización y capturas sustanciales de especies. En resumen, el arrecife es fundamental para el ecosistema marino, ya que proporciona un hábitat diverso y vital para una gran variedad de organismos marinos.

La investigación actual se enfoca en determinar qué tipo de material y estructura maximiza la colonización y actúa como núcleo de concentración de fauna. Para lograr este objetivo, se han evaluado varias estructuras básicas y se han sopesado diferentes factores para cada una de ellas. Estos factores incluyen el tiempo de vida medio de la estructura, el coste económico, el grado de colonización animal y vegetal, la capacidad de atracción de fauna, la generación de lugares de protección y cobijo, entre otros.

El objetivo de esta evaluación es elegir la estructura que presente las mayores ventajas para su implantación y seguimiento. En definitiva, se busca determinar la estructura que mejor promueva la diversidad y abundancia de la fauna marina, teniendo en cuenta también como factor fundamental la reducción de la energía del oleaje que esta produce y otros factores relevantes como por ejemplo los costes económicos. Hay que tener en cuenta que la efectividad para la regeneración de las praderas de Posidonia oceánica depende principalmente de la profundidad de colocación, lo cual no es objeto de este anejo, ya que esta característica se estudiará en el correspondiente anejo de estudio de soluciones.

### **2.2. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN**

En este apartado se van a definir una serie de criterios de clasificación que se han tenido en cuenta a la hora de analizar los elementos que conforman los arrecifes artificiales. Se ha realizado un análisis extenso con respecto a la búsqueda de diferentes tipologías de piezas, todo ello con el objetivo de abarcar el máximo número posible de piezas que se hayan usado para la construcción de este tipo de estructuras.



Los criterios de clasificación que han sido considerados para el estudio de las posibles piezas que formarán los arrecifes artificiales, diseñados para la regeneración de las praderas de Posidonia oceánica degradadas, son los siguientes:

- **Coste (encofrado / construcción):** este criterio hace referencia al costo económico asociado tanto al encofrado como a la construcción de las piezas utilizadas en la construcción de arrecifes artificiales. Se evalúa el gasto necesario para fabricar y ensamblar las piezas, considerando los materiales, la mano de obra y otros recursos requeridos.
- **Materiales:** este criterio se define para tener en cuenta los materiales utilizados en la fabricación de las piezas para los arrecifes artificiales. Puede incluir materiales como hormigón, escolleras, plástico reciclado u otros materiales específicos. La elección de los materiales puede tener implicaciones en la durabilidad, resistencia, capacidad de fijación de organismos marinos y otros factores relevantes.
- **Tipología de acopios:** este criterio se define para tener en cuenta la forma en la que se van a almacenar las piezas una vez hayan sido construidas. Lo primero es que será necesario definir una zona de acopios. Una vez definida, se estudiará si las distintas tipologías de piezas se pueden acopiar en superficie o en superficie y altura. Es un factor a tener muy en cuenta a la hora de definir el proceso constructivo, ya que piezas que puedan ser acopiadas en superficie y altura permitirán una reducción del espacio de la zona de acopios y por tanto una reducción sobre el coste final de la obra.
- **Manipulación y colocación de las piezas:** este criterio se refiere a la facilidad y técnicas requeridas para manipular y colocar las piezas en el fondo marino. Puede abarcar aspectos como el peso de las piezas, la necesidad de maquinaria especializada, la habilidad requerida para el ensamblaje y la eficiencia del proceso de instalación.
- **Malla de colocación:** este criterio considera la forma y disposición de las piezas una vez colocadas en el arrecife. Puede incluir acopios o agrupaciones de piezas en diferentes configuraciones, como montículos, paredes, estructuras escalonadas u otras disposiciones específicas. La tipología de acopios puede influir en la diversidad y la distribución de la vida marina en el arrecife.

- **Capacidad de mejora de ecosistemas:** este criterio evalúa el potencial de las piezas utilizadas en la construcción de arrecifes artificiales para promover y mejorar el ecosistema marino. Puede considerar su capacidad para atraer y albergar una diversidad de especies, promover la colonización de organismos marinos, mejorar la calidad del agua, proporcionar refugio y hábitat, y fomentar la biodiversidad en general.
- **Influencia sobre oleaje:** este criterio se refiere al impacto de las piezas en la mitigación o alteración del oleaje en el área del arrecife artificial. Algunas piezas pueden romper o disipar la energía de las olas, reduciendo su fuerza y protegiendo áreas costeras cercanas, mientras que otras pueden tener un impacto mínimo. La influencia sobre el oleaje puede ser importante para considerar la ubicación y el propósito deseado del arrecife artificial. Dentro de la influencia sobre el oleaje, será de vital importancia definir la profundidad a la que se van a colocar las piezas, ya que el efecto que los arrecifes artificiales tienen respecto a la mitigación de la energía del oleaje se relaciona directamente con la profundidad a la que se colocan.
- **Capacidad de desmantelamiento:** este criterio se refiere a la facilidad y viabilidad de retirar o desmontar las piezas del arrecife en el futuro, si fuese necesario. Esta retirada se realizaría en caso de que el arrecife dispuesto genere impactos negativos sobre el medio.

Estos criterios proporcionan una base sólida para clasificar y evaluar las diferentes tipologías de piezas utilizadas en la construcción de arrecifes artificiales, permitiendo una comparación sistemática y una toma de decisiones informada en función de las necesidades y objetivos específicos de cada proyecto (Obs.pers.).

### 2.2.1. Factores principales para el diseño de las piezas

Anteriormente se han descrito los criterios que se van a tener en cuenta a la hora de realizar la clasificación de las distintas tipologías de piezas/módulos, sin embargo, no se han tenido en cuenta, en ningún momento, cuáles son los criterios de diseño para la elección y construcción de las distintas tipologías de piezas existentes.

A continuación, se expondrán los diversos parámetros que influirán en la efectividad de la estructura. Estos parámetros incluyen la complejidad del arrecife en términos de rugosidad, número y diversidad de refugios o aperturas, perfil vertical, grado de aislamiento, profundidad,

dimensiones, tipo de fondo y estación de emplazamiento, entre otros aspectos (Ogawa, Y., 1982).

Respecto al **área y volumen** de las piezas, según Luque et al. (2001), existe una correlación positiva entre el tamaño del arrecife y su capacidad de atracción. Por otro lado, Ogawa Y. (1982) sostiene que la capacidad productiva del arrecife aumenta directamente con su tamaño. En realidad, el área y el volumen del arrecife se determinan en función del tipo de desarrollo deseado. Para los arrecifes del tipo reproducción, que se enfocan en el reclutamiento de especies, se recomienda que tengan dimensiones reducidas para evitar la presencia de depredadores de gran tamaño. Por otro lado, los arrecifes del tipo producción/concentración deben tener volúmenes grandes y ocupar superficies extensas con el fin de atraer a la ictiofauna y, en consecuencia, ser de interés pesquero (Nakamura, M., 1985).

Respecto a la **profundidad**, por razones biológicas, además de razones técnicas, se recomienda evitar los calados a cotas superiores a los 20-25 metros de profundidad. Las altas profundidades están asociadas a bajas tasas de irradiancia, lo que resulta en un déficit de macroalgas.

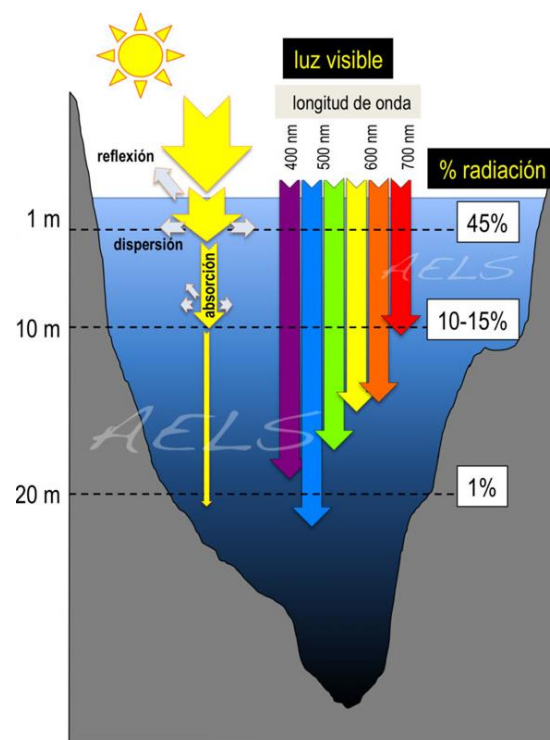


Figura 1. Tasas de irradiancia en función de profundidad. (Fuente: Illuminet revista de iluminación, 2018).

Respecto al **material**, los módulos de hormigón son los mejores debido a su gran estabilidad, larga duración o periodo de vida, así como por la gran disponibilidad y variabilidad de refugios.

Respecto a la **orientación y disposición** es más importante el perfil que la altura, de forma que perfiles verticales de alta pendiente son efectivos.

La **complejidad o heterogeneidad** del arrecife artificial puede interpretarse como una medida de la cantidad o variabilidad de microhábitats presentes, siendo importante considerar que la complejidad disminuye las tasas de predación por que genera más refugios, aumentando las tasas de supervivencia (Luque, et al., 2001). Según Ogawa Y. (1982) los factores que definen el nivel de complejidad de los módulos son: rugosidad, número y diversidad de refugios (huecos) y relación superficie-volumen de la estructura.



Figura 2. Ejemplo de arrecife artificial complejo. (Fuente: Reef Ball Foundation, s.f).

El **lugar de emplazamiento** es más importante que el diseño (Ogawa, 1982). Como se define en su artículo: “el grado de aislamiento desempeña un papel fundamental en la estructura y dinámica de la comunidad en un arrecife artificial”. Este factor hace referencia a la separación del arrecife artificial respecto a las áreas naturales circundantes o a otros módulos arrecifales, lo cual tiene un impacto significativo en las abundancias de las especies presentes. La selección del lugar para ubicar el arrecife se basa en criterios que combinan parámetros físicos y biológicos (Luque et al., 2001). Los arrecifes más aislados tienden a ser más efectivos para aumentar la complejidad y el tamaño de la comunidad.

### 2.3. CLASIFICACIÓN RESPECTO FUNCIONALIDAD DEL ARRECIFE

A continuación, se va a realizar una primera clasificación de las piezas analizadas en el que se definirá la función principal para la cual han sido diseñadas. Se trata de ejemplos de casos reales de construcción de arrecifes artificiales los cuales han sido analizados. Las piezas se clasificarán siguiendo las funciones que se han definido en el apartado 3.3.1 del Anejo N°1: “Antecedentes y objeto del estudio”. Se muestra a continuación una tabla en la que se pueden observar los distintos tipos de piezas que se han analizado.

## TIPO DE PIEZA

## FUNCIÓN

1.



ARRECIFES DE PROTECCIÓN - DISUASIÓN

2.



ARRECIFES DE PROTECCIÓN - DISUASIÓN

3.



CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS

4.



CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS



5.



**DIQUES ARRECIFE HOMOGÉNEOS**  
**DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA DE CORONACIÓN**

6.



**CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS**

7.



**CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS**

8.



**CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS**

9.



**CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS**

10.



**MIXTOS: PROTECCIÓN DE COSTA + PESQUEROS**

11.



**CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS**

12.



**CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS**

13.



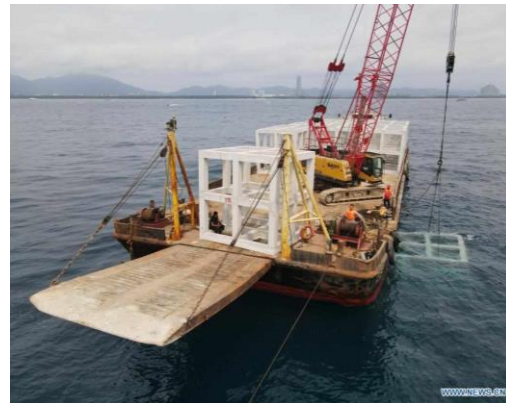
CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS

14.



ARRECIFES DE PROTECCIÓN-DISUASIÓN

15.



MIXTOS: PROTECCIÓN DE COSTA + PESQUEROS

16.



MIXTOS: PROTECCIÓN DE COSTA + PESQUEROS



17.



CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS

18.



CREACIÓN DE ECOSISTEMAS - PESQUEROS

Tabla 1. Clasificación por funcionalidad de las distintas piezas analizadas. (Fuente: elaboración propia, 2023).

Una vez realizada esta primera clasificación, se va a realizar un segundo análisis siguiendo los criterios de clasificación que han sido mencionados en el apartado 2.2 de este mismo anejo. Dentro de dichos criterios de clasificación se definen los siguientes niveles:

- **Coste (encontrado / construcción):**
  - Medio
  - Reducido
  - Elevado
- **Capacidad desmantelamiento:**
  - Sencillo
  - Medio
  - Complicado
- **Tipología de acopios:**
  - Superficie
  - Superficie + altura
- **Manipulación y colocación de las piezas:**
  - Sencilla
  - Intermedia
  - Complicada

<b>PIEZA</b>	<b>COSTE</b>	<b>CAPACIDAD DESMANTELAMIENTO</b>	<b>TIPOLOGÍA ACOPIOS</b>	<b>MANIPULACIÓN Y COLOCACIÓN</b>
1	MEDIO	COMPLICADO	SUPERFÍCIE	COMPLICADA
2	REDUCIDO	SENCILLO	SUPERFÍCIE	SENCILLA
3	ELEVADO	MEDIO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA
4	ELEVADO	MEDIO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA
5	REDUCIDO	COMPLICADO	SUPERFICIE + ALTURA	SENCILLA
6	ELEVADO	MEDIO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA
7	ELEVADO	SENCILLO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA
8	MEDIO	SENCILLO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA
9	ELEVADO	SENCILLO	SUPERFÍCIE	SENCILLA
10	ELEVADO	MEDIO	SUPERFÍCIE	SENCILLA
11	MEDIO	SENCILLO	SUPERFÍCIE	SENCILLA
12	MEDIO	MEDIO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA
13	ELEVADO	INVIABLE	ESPECIAL (COMPLICADO)	COMPLICADA
14	MEDIO	SENCILLO	SUPERFICIE + ALTURA	SENCILLA
15	REDUCIDO	SENCILLO	SUPERFICIE + ALTURA	SENCILLA
16	MEDIO	SENCILLO	ESPECIAL (COMPLICADO)	COMPLICADA
17	ELEVADO	COMPLICADO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA
18	ELEVADO	MEDIO	SUPERFÍCIE	INTERMEDIA

Tabla 2. Clasificación en función de criterios seleccionados. (Fuente: elaboración propia, 2023).

### 3. Interacción de las formas geométricas con el medio

Para la redacción de este apartado se va a tomar como principal referencia bibliográfica el estudio realizado por Campo et.al (2018), el cual examina la interacción de fuerzas y corrientes en distintas formas geométricas básicas. El objetivo principal de dicho estudio es evaluar cuál de estas formas se adapta mejor al medio acuático, sin embargo, para el estudio que nos ocupa, el objetivo es analizar las formas geométricas que pueden tener una mayor incidencia a la hora de reducir la energía del oleaje, ya que este es uno de los objetivos principales de este estudio, el cual busca reducir la erosión producida en las costas.

El estudio realizado por Campo et.al (2018) considera la interacción de las formas a diferentes profundidades, así como las corrientes, velocidades y esfuerzos generados. La metodología empleada consistió en sumergir cinco estructuras básicas: prisma triangular, cubo, esfera, cono y cilindro, y analizar su interacción utilizando el software Flow 3D para obtener una aproximación inicial de sus efectos en las condiciones del medio subacuático. Los resultados que se obtuvieron permitieron establecer los efectos de la profundidad y de la geometría en el flujo para las estructuras básicas y las grupales, así como los campos de velocidad y esfuerzos cortantes presentes en éstas.

Se llevó a cabo una simulación de un tren de olas lineal interactuando con las diversas formas, siguiendo la teoría de Airy, que asume que estas olas se originan en un fondo plano. Se establecieron cuatro casos con diferentes variables: dos profundidades (2m y 3m) y dos alturas de olas con sus respectivos periodos. Las alturas de 0.88m y 2.71m se asociaron con periodos de 13.58s y 7.91s, respectivamente.

Se realizaron mediciones de la elevación de la superficie libre antes y después de la estructura en varios puntos de muestreo. A partir de estas mediciones, se calculó la altura de las olas tanto antes como después de la interacción con la estructura, lo que permitió determinar el coeficiente de transmisión.

Cuando las olas interactúan con una estructura, ocurren diferentes fenómenos: parte de la energía se disipa, otra parte se refleja y, dependiendo de la geometría de la estructura, una fracción de la energía se transmite a través de ella. Por lo tanto, es de gran importancia calcular y analizar el coeficiente de transmisión para comprender cómo se comporta la energía de las olas en relación con la estructura.

Estructura	Casos	Profundidad		Altura/ Periodo	
		2 m	3 m	H1(0,88) -T1(13,58)	H2 (2,71)-T2(7,91)
	1	X		X	
	2	X			X
	3		X	X	
	4		X		X

Tabla 3. Casos a evaluar. (Fuente: Campo C., et.al., 2018).

#### 3.1. EFECTOS DE LA PROFUNDIDAD

Como conclusión del estudio, se observó que, al mantenerse la misma profundidad, a medida que aumentaba la altura de las olas, también lo hacía el coeficiente de transmisión. Además, se encontró que los valores mínimos del coeficiente de transmisión se obtenían cuando la profundidad del agua era la mayor de todas las evaluadas (Campo C., et.al., 2018)

En general, los coeficientes de transmisión más bajos se presentaban en el caso 1, donde se registraba la menor profundidad y altura de olas, para las geometrías del prisma triangular, cubo, esfera y cilindro. Sin embargo, el comportamiento del cono era irregular en comparación con las demás geometrías.

Para visualizar los resultados, se generaron gráficos de caja, donde la línea central representa la mediana, los extremos de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75, y los puntos fuera de los extremos representan valores atípicos que se apartan de la tendencia general. Estos gráficos permiten visualizar de manera clara y concisa la variabilidad y distribución de los coeficientes de transmisión obtenidos.

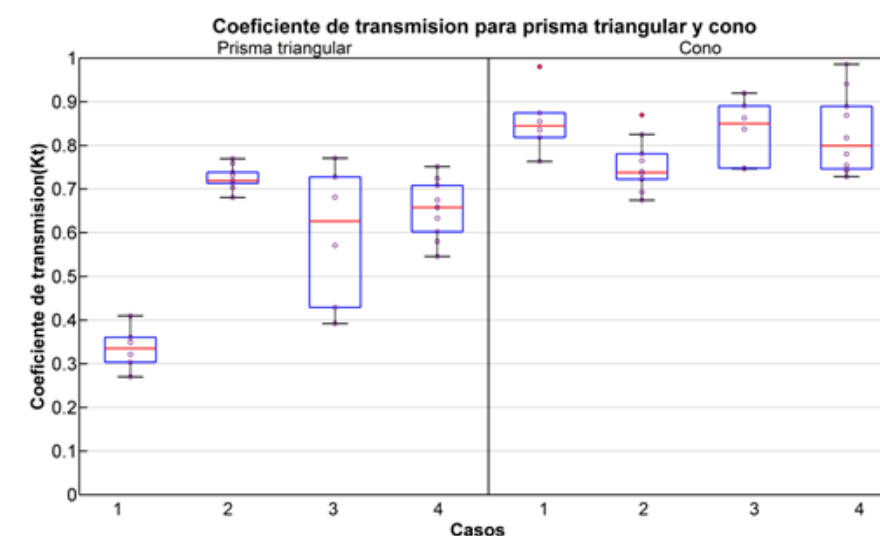


Figura 3. Coeficiente de transmisión para geometrías básicas prisma triangular y cono. (Fuente: Campo C., et.al., 2018)



### 3.2. EFECTOS DE LA GEOMETRÍA DE LAS PIEZAS

El estudio permite establecer la relación entre la forma geométrica y el coeficiente de transmisión para una misma profundidad. Esto proporciona información valiosa para determinar las formas más adecuadas a implementar en el fondo marino con el objetivo de reducir la energía del oleaje que llega a la costa (Obs.pers.).

Al analizar la gráfica, se observa que el cono exhibe el coeficiente de transmisión más alto en comparación con las demás formas. Esta característica se debe a que la proporción entre el área proyectada ocupada y el área total es la menor entre todas las estructuras, con un valor de 0.5. Esto sugiere que el agua se desplaza a través de los espacios laterales vacíos del cono, lo que genera un coeficiente de transmisión elevado.

Por otro lado, las geometrías con una mayor área proyectada ocupada presentaban valores más bajos de coeficiente de transmisión, como el prisma rectangular, el cubo y el cilindro. Específicamente, el prisma rectangular exhibió los valores más bajos de coeficiente de transmisión, especialmente en condiciones de menor altura de ola.

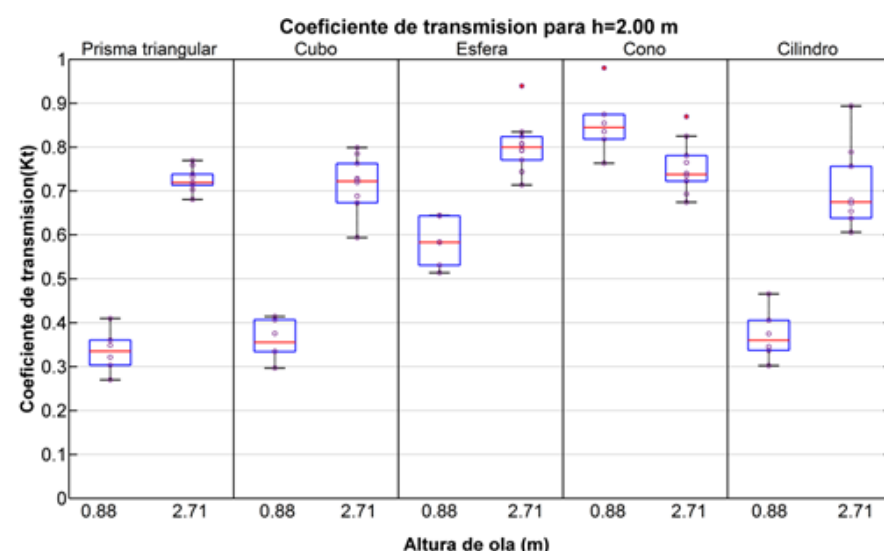


Figura 4. Coeficientes de transmisión para h=2 m. (Fuente: Campo C., et.al., 2018).

Para una profundidad de 3 m, se confirma que el prisma es la forma geométrica que proporciona los menores valores de coeficiente de transmisión. Como se mencionó anteriormente en este mismo apartado (3.2), a medida que aumenta el área proyectada, el coeficiente de transmisión tiende a disminuir. En este sentido, **las geometrías que presentan una mayor reducción en la altura del oleaje, en orden descendente, son:**

1. Prisma triangular
2. Prisma cúbico
3. Cilindro
4. Esfera
5. Cono

#### 3.2.1. Interacción del agua con las estructuras

Campo et.al (2018) proporciona una serie de gráficos en los que, dependiendo de la forma geométrica utilizada, se puede observar el campo de velocidades de forma visual después del paso de la primera ola. Lo más importante en estos gráficos es analizar las zonas con mayores velocidades y los vórtices que puedan llegar a generarse debido a las formas de las piezas. Estas zonas serán puntos de interés ya que podrán representar puntos de concentración de erosiones que pueden desembocar en problemas futuros de socavación de las piezas que conforman los arrecifes artificiales.

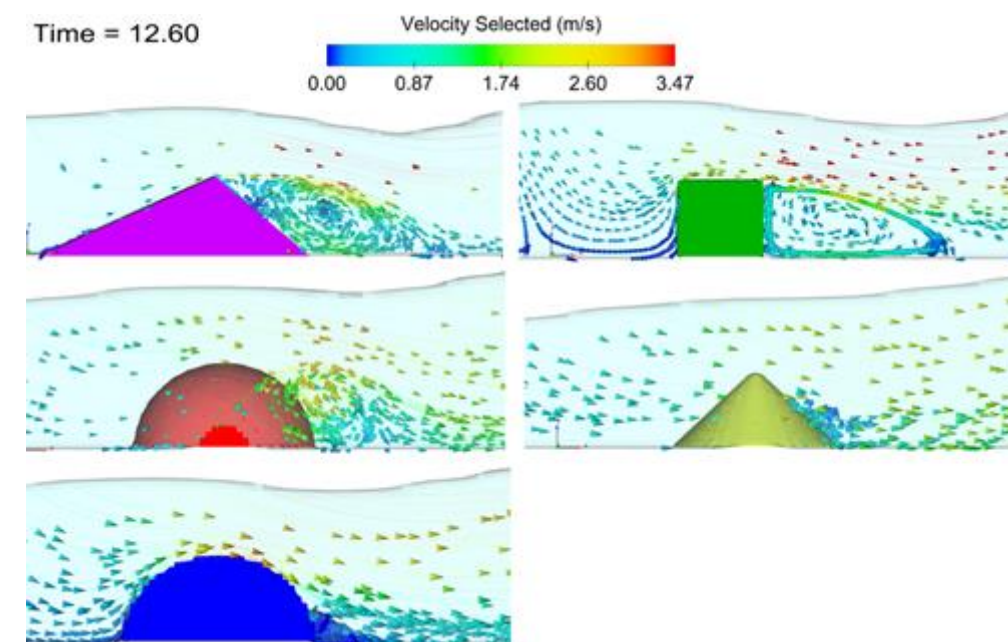


Figura 5. Vectores velocidad. (Fuente: Campo C., et.al, 2018).

Puede observarse que, en el prisma rectangular, el cubo y el cilindro, se crean vórtices laterales, sin embargo, en el cono, no se crean vórtices significativos y en la esfera se crea un pequeño vórtice. Relacionado con los vórtices está la velocidad del fluido alrededor de la estructura, la cual incrementa los esfuerzos cortantes en el lecho y de esta manera se producirían los ya nombrados problemas de erosión y socavación. En la figura siguiente se muestran los esfuerzos cortantes alrededor de las estructuras después del paso de una ola:

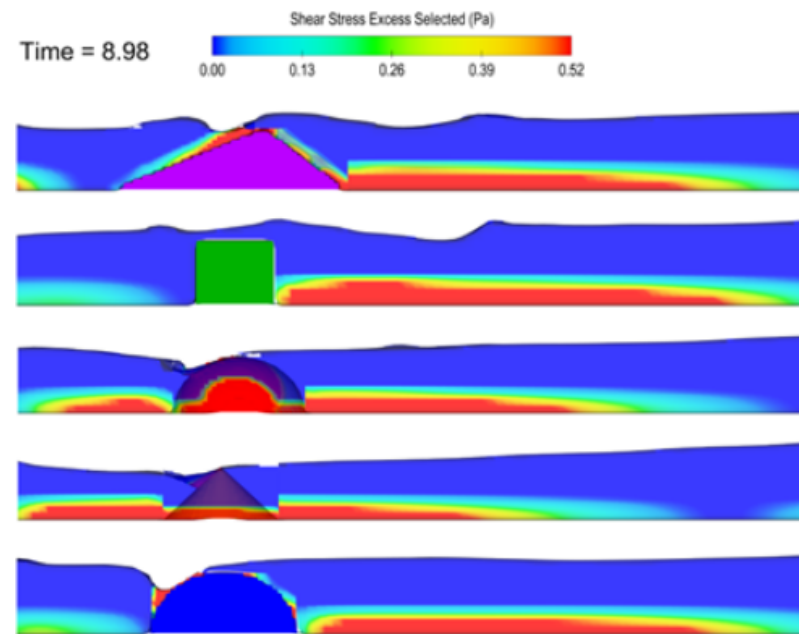


Figura 6. Esfuerzos cortantes generados sobre las estructuras. (Fuente: Campo C., et.al, 2018).

A continuación, se va a mostrar una nueva figura (figura 7) en la que se observan las líneas de flujo para el prisma triangular, cono y esfera. Para las geometrías que ocupan todo el espacio en la sección transversal, las líneas de flujo son rectas; el área que recibe el impacto del flujo es mayor, y puede asociarse a un menor coeficiente de transmisión. Para las geometrías que no ocupan todo el espacio en la sección transversal, las líneas de flujo rodean la estructura y los valores del coeficiente de transmisión tienden a ser mayores (Campo et.al., 2018).

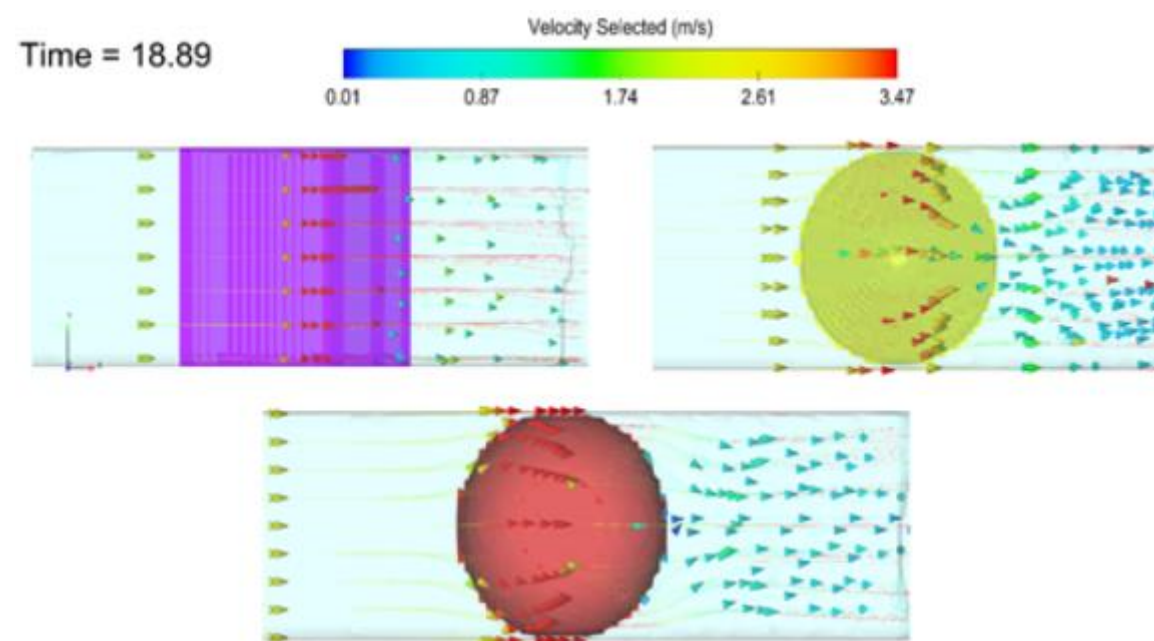


Figura 7. Líneas de flujo en las distintas piezas. (Fuente: Campo C., et.al, 2018).

Las **estructuras que presentan los mayores porcentajes de reducción de flujo de energía**, es decir, las estructuras que reducen la energía del oleaje en orden descendente son:

1. Cubos
2. Cilindros
3. Prismas triangulares
4. Esferas
5. Conos

Hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos para el prisma triangular, el cilindro y la esfera son muy similares. Todos estos resultados serán de vital importancia en caso de que se quiera realizar un diseño propio para la construcción de arrecifes artificiales.

#### 4. Conclusión del estudio de piezas

Tras el estudio realizado en este anejo, se ha observado que el tiempo requerido para alcanzar un ecosistema maduro ronda los 15 años en estos tipos de estructuras. Durante este proceso, se han explorado numerosas formas, algunas más beneficiosas para el hábitat marino y otras más convenientes en términos de construcción, instalación y consideraciones económicas. Por lo tanto, es importante considerar estos aspectos a la hora del diseño y creación un módulo propio para el caso práctico de este estudio, en caso de que esto fuese necesario.

Por otro lado, no se ha justificado la forma del hábitat creado y se ha abordado de manera poco detallada y productiva la superficie proporcionada y la instalación de organismos. Aunque se ha observado alguna utilidad del diseño en el transporte y colocación, no se ha encontrado más información relacionada con su impacto medioambiental.

## **ANEJO N°3: ENCUADRE GEOGRÁFICO, ACCESOS Y DATOS PREVIOS**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>58</b>
<b>2. Localización</b>	<b>58</b>
2.1. MARCO AUTONÓMICO: COMUNITAT VALENCIANA	58
<b>3. Accesos</b>	<b>59</b>
3.1. PLAYA DE “EL PUIG”	59
3.2. PUERTO DE SAGUNTO	60
3.2.1. Tráfico por carretera	60
3.2.2. Tráfico por ferrocarril	60
<b>4. Evolución de la línea de costa en la zona de estudio</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa político de España. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2023).</i>	58
<i>Figura 2. Mapa de la Comunitat Valenciana. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2023).</i>	58
<i>Figura 3. Mapa comarcas de la Comunitat Valenciana. (Fuente: Institut Cartogràfic Valencià, 2023).</i>	59
<i>Figura 4. Mapa accesos a la Playa de El Puig. (Fuente: Google maps, 2023).</i>	59
<i>Figura 5. Accesos al Puerto de Sagunto. (Fuente: Valenciaport, 2023).</i>	60
<i>Figura 6. Distancia entre el Puerto de Sagunto y la zona de estudio. (Fuente: Google Earth) .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 7. Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018. (Fuente: plano 2.2, 2023).</i>	<i>61</i>
<i>Figura 8. Zonas de en recesión o acreción en costa valenciana. (Fuente, Alguacil Jiménez, 2020)</i>	<i>61</i>

## 1. Introducción

El primer paso a la hora de realizar un estudio o proyecto es conocer el entorno en el que se va a desarrollar. En este caso, este trabajo se trata de un estudio general que tiene como objetivo el diseño de estructuras arrecifales para la protección de las praderas de Posidonia oceánica degradada, por lo que a priori no hay una localización exacta definida. Sin embargo, en este trabajo se analiza la aplicación práctica de este estudio para el caso del hemitómbolo del Puig (Valencia), por lo que sí existe una zona de estudio específica la cual hay que definir correctamente. Esta zona de estudio se trata de la Playa de “El Puig”, al norte de la ciudad de Valencia.

En este anejo se procede por tanto a analizar la localización, accesos y datos previos referentes a la playa de El Puig. Desde el primer momento de este caso práctico se ha tenido en cuenta el proceso constructivo que se va a llevar a cabo, por lo que se van a definir también los accesos al Puerto de Sagunto, ya que este será el punto de referencia para el acopio de las piezas que conformarán el arrecife que se va a diseñar en este trabajo.

La aplicación práctica de este estudio se sitúa en la Playa de El Puig, por lo que en primer lugar definiremos dónde se sitúa la misma. Esta playa forma parte de tres municipios: El Puig de Santa María, Puçol y Sagunto. Los tres se ubican junto al mar Mediterráneo y forman parte de la Comunidad Valenciana, la cual se encuentra al este de España, como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 1. Mapa político de España. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2023).

## 2. Localización

### 2.1. MARCO AUTONÓMICO: COMUNITAT VALENCIANA

Como puede apreciarse en la figura 1 de este mismo anejo, la Comunitat Valenciana se encuentra al este de España y limita al norte con Cataluña, al sur con la Región de Murcia, al noroeste con la comunidad de Aragón y al este-suroeste con Castilla-La Mancha.

Según el Portal Estadístico de la Comunidad Valenciana (2023), la Comunitat Valenciana cuenta con un total de 542 municipios y con tres provincias: Alicante, Castellón y Valencia. La Comunidad Valenciana, estrecha y alargada, se extiende entre el río Cenia (en Vinaroz) y Pilar de la Horadada, un poco más al sur del río Segura, con una longitud de costa de 518 km aproximadamente. La mayor concentración de población se da en torno a la capital de esta comunidad, la ciudad de Valencia, la cual se encuentra junto al mediterráneo, justo en el centro del Golfo de Valencia. A continuación, se muestra una imagen de la comunidad, en la que se puede apreciar que la Playa de El Puig se encuentra a aproximadamente a unos 15 km al norte de la ciudad de Valencia.



Figura 2. Mapa de la Comunitat Valenciana. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2023).



Los municipios de El Puig de Santa María, Puçol y Sagunto se encuentran dentro de la provincia de Valencia. El territorio de dicha provincia se divide en una serie de comarcas como puede apreciarse en la figura 2. Dentro de estas comarcas, estos municipios se encuentran en la comarca de L’Horta Nord. En la figura siguiente se puede observar la localización exacta de la Playa de El Puig dentro de la comarca de L’Horta Nord:

### 3. Accesos

#### 3.1. PLAYA DE “EL PUIG”

La accesibilidad a esta playa es una de sus características más destacables, ya que ofrece diferentes opciones para llegar a la misma. Tanto si se decide ir en coche como a pie, existen accesos adecuados.

Si se opta por acceder con vehículo personal, la carretera o vía más cercana es la V-21, la cual proporciona una ruta directa hacia la playa (ver figura 4). Los accesos están claramente señalizados a lo largo de la carretera, lo que facilita su ubicación. Es importante destacar que no hay una zona de aparcamiento específica en la playa.

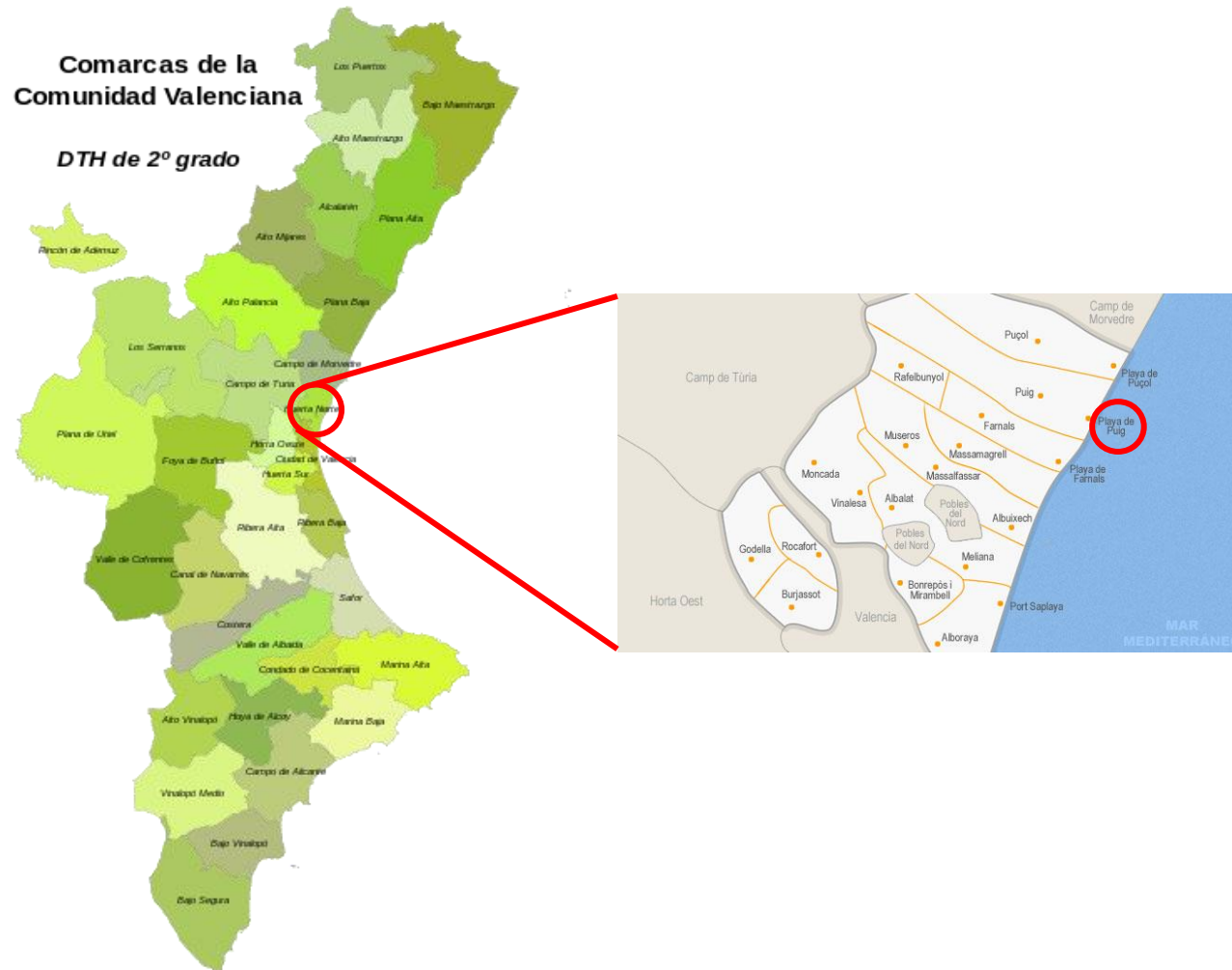


Figura 3. Mapa comarcas de la Comunitat Valenciana. (Fuente: Institut Cartogràfic Valencià, 2023).

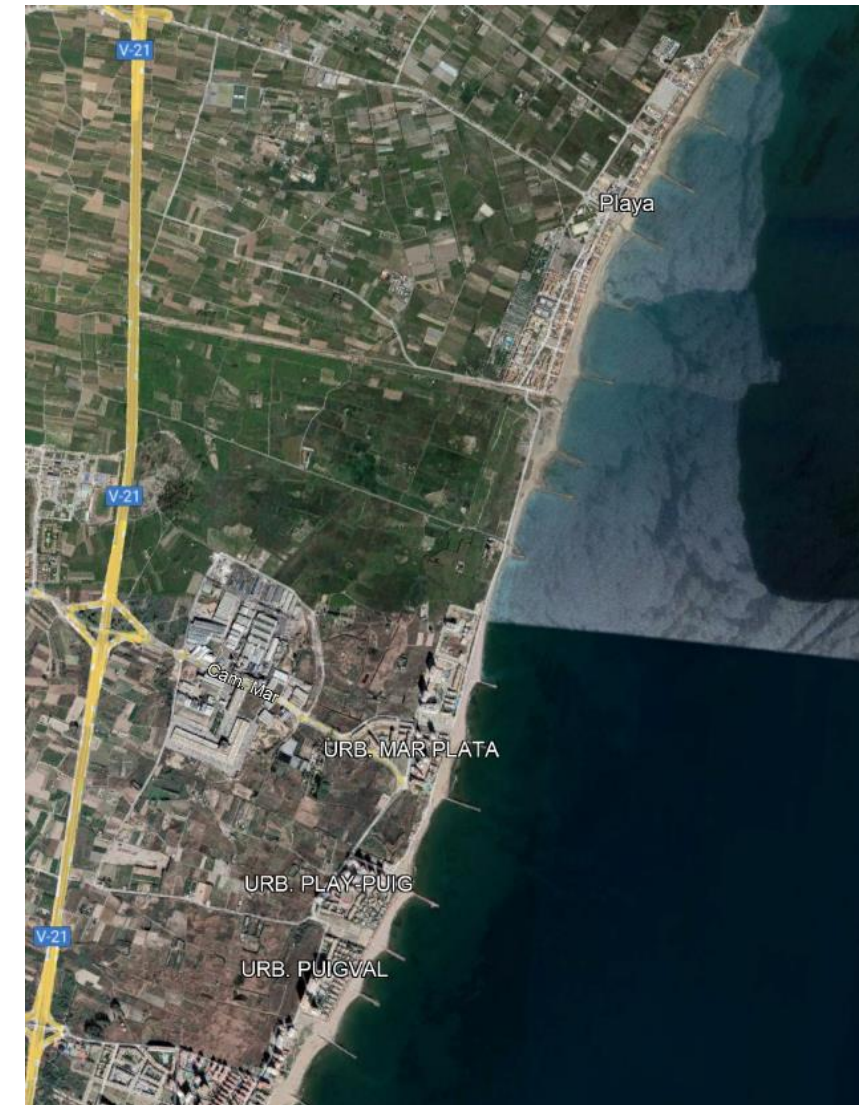


Figura 4. Mapa accesos a la Playa de El Puig. (Fuente: Google maps, 2023).



Con una distancia de catorce kilómetros a la capital valenciana y quince kilómetros al aeropuerto de Manises, El Puig de Santa María cuenta con un servicio regular de transporte público que facilita el acceso al destino. Las líneas 110, 112 y 115 de la red de autobuses metropolitanos Metrobus y la línea C6 de cercanías Valencia Norte - Castellón (con trenes cada 30 minutos), unen la localidad con la capital valenciana. Además, la línea 150 de autobús conecta El Puig con el aeropuerto de 05.25 a 23.55 horas.

El acceso por carretera desde Valencia se realiza a través de la V-21 o la CV-300 (antigua N-340), y desde Alicante o Barcelona por la A-7. La comunicación entre el casco urbano y la playa se realiza exclusivamente a través de la CV-318; y entre las poblaciones limítrofes, a través de la antigua carretera de Barcelona.

Existen también senderos peatonales los cuales están correctamente señalizados, y brindan indicaciones claras para una llegada sin complicaciones. Además, existe la opción de utilizar el transporte público para llegar a esta playa. Los autobuses urbanos ofrecen una alternativa cómoda y conveniente para aquellos que prefieren evitar conducir o no tienen acceso a un vehículo (*Playa puig val - play de el puig de santa maría, s. f.*).

En resumen, la accesibilidad es una prioridad en esta playa. Los accesos en coche, los senderos peatonales y el transporte público ofrecen opciones para llegar de manera conveniente (Obs.pers.).

### 3.2. PUERTO DE SAGUNTO

A continuación, se van a analizar los distintos accesos por vía terrestre al puerto de Sagunto, separando el tráfico en: tráfico por carretera y tráfico ferroviario. El Puerto de Sagunto ha sido seleccionado como central de operaciones debido a varias razones técnicas. En primer lugar, el puerto cuenta con la infraestructura adecuada y un amplio espacio para el acopio de piezas, lo que facilita la organización y el almacenamiento de los materiales necesarios para el proyecto. Además, la elección del Puerto de Sagunto se basa en su proximidad a la zona de estudio, el Hemitómbolo del Puig, lo que reduce los tiempos y costos de transporte de las piezas. Asimismo, el puerto cuenta con instalaciones y equipos para la carga y descarga de piezas sobre las pontonas, lo que garantiza una eficiente logística marítima. En caso de que el espacio para acopios en el puerto sea limitado, se destaca la calidad de los accesos al puerto, lo que facilita el traslado de materiales y minimiza posibles retrasos o inconvenientes en la operación.

#### 3.2.1. Tráfico por carretera

El Puerto de Sagunto se enlaza a la Red de carreteras mediante la V-23 y la CV-309, desde las cuales accede al:

- Noroeste de la Península: desde la autovía A-23 mediante la V-23.
- Corredor Norte-Sur: la autovía A-7 en su recorrido Barcelona – Algeciras y enlaza con la autovía A-23.
- Costa de Valencia: a través de la V-21, a la que se accede desde la CV-309 y la V-23.

#### 3.2.2. Tráfico por ferrocarril

El Puerto posee una infraestructura privada, propiedad de ARCELOR, que desde el Muelle Sur se conecta a la Red Ferroviaria de Interés General. El 20 de febrero de 2014 se publicó en el BOE la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) favorable al Acceso Ferroviario al Puerto de Sagunto, con la aprobación de la DIA se inicia el proceso de redacción del proyecto constructivo que dará acceso al Puerto de Sagunto a la Red Ferroviaria de Interés General (Valenciport, 2023). En sintonía con este acceso la Autoridad Portuaria de Valencia tiene ya diseñada su red de ferrocarril interior que permitirá que las terminales tengan conexión pública a la red general. Cabe destacar en este punto que a tan solo 5 km del Puerto de Sagunto se encuentra situada la Terminal Pública de Ferrocarril gestionada por ADIF (Valenciport, 2023).



Figura 5. Accesos al Puerto de Sagunto. (Fuente: Valenciport, 2023).

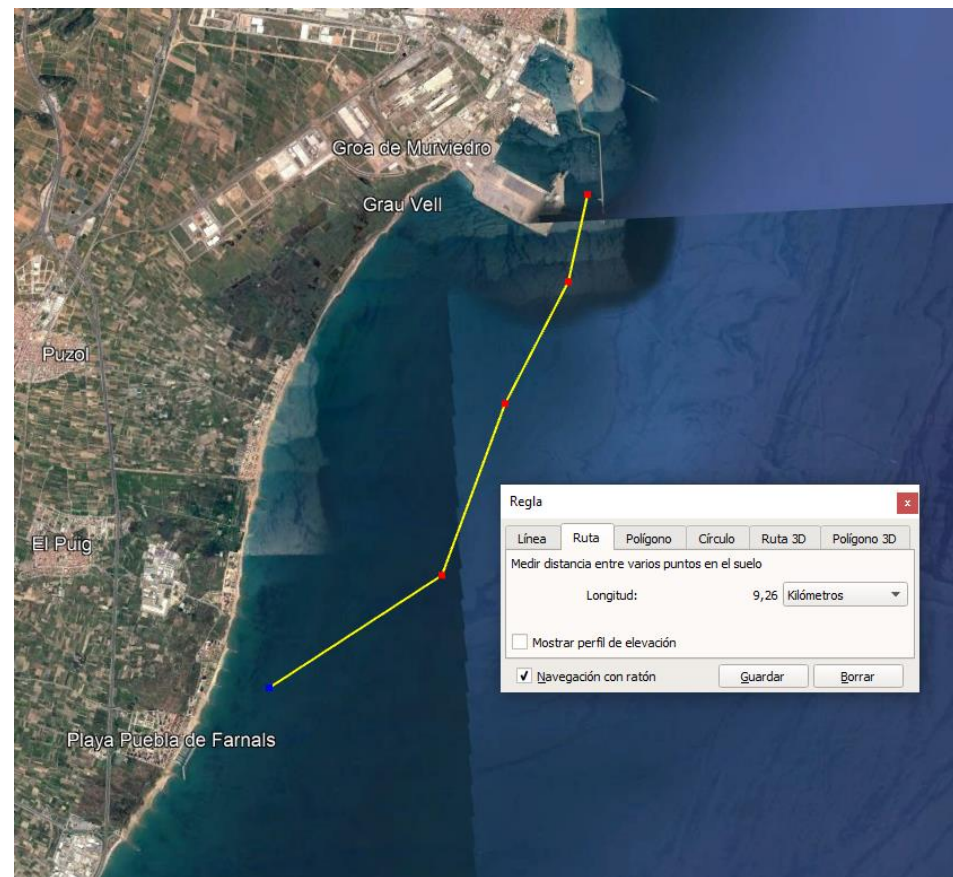


Figura 6. Distancia entre el Puerto de Sagunto y la zona de estudio. (Fuente: Google Earth)

#### 4. Evolución de la línea de costa en la zona de estudio

El aumento del nivel del mar, la erosión en la costa y el número infraestructuras marítimas en la costa de la comunidad valenciana son factores de especial relevancia en el desarrollo del litoral del levante español (Alguacil, 2020). Las playas del levante tienen un gran valor medioambiental, social y económico, sin embargo, se están perdiendo en las últimas décadas.

En las zonas costeras, se pueden identificar dos tipos principales de transporte de sedimentos: el transporte longitudinal, que discurre en dirección paralela a la costa, y el transporte transversal, que se desplaza en dirección perpendicular a la costa. El primero de ellos presenta la particularidad de variar su dirección según la orientación del oleaje incidente, mientras que el transporte transversal se mantiene en sentido perpendicular entre la línea de costa y el mar. Alguacil (2020) examina la evolución de la línea de costa en la región de Valencia durante el período comprendido entre 1956 y 2018, y los impactos ocasionados por las barreras presentes en el litoral. Para realizar el estudio de la evolución de la línea de costa, se emplearon ortofotos georreferenciadas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, 2020), seleccionando específicamente los años 1956 y 2018. Durante la década de los años 50, se llevó

a cabo el "Vuelo Americano (serie B)", del cual se obtuvieron las ortofotos AMS (B) 1956-1957. Este fue el primer levantamiento de precisión de la línea de costa, lo que permitió evaluar los efectos de la actividad humana en las seis décadas anteriores. Para el año 2018, se emplearon las ortofotos más recientes del PNOA de Máxima Actualidad (Alguacil, 2020). Tras el análisis comparativo de las líneas de costa superpuestas (Figura 7), se concluye que la erosión de las playas en la zona de estudio es considerable.



Figura 7. Evolución de la línea de costa entre 1956 y 2018. (Fuente: plano 2.2, 2023)

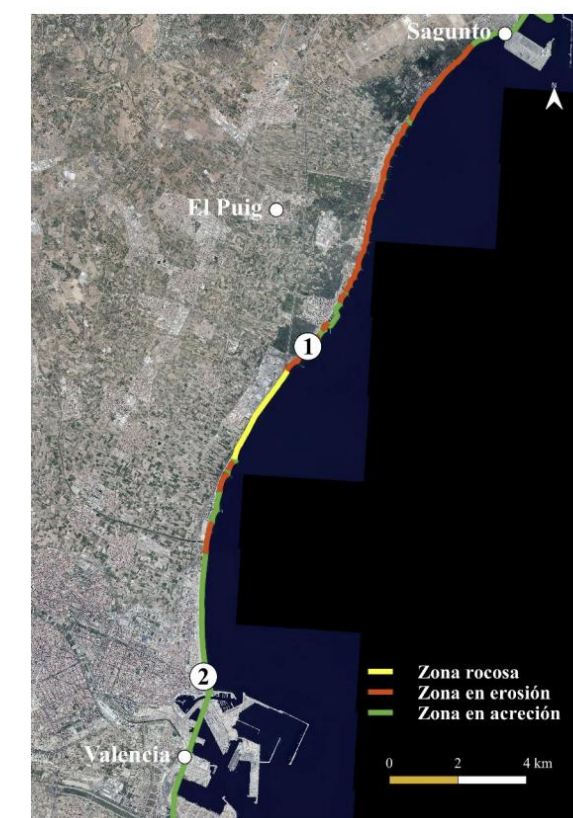


Figura 8. Zonas de en recesión o acreción en costa valenciana. (Fuente, Alguacil Jiménez, 2020)



## **ANEJO N°4: BATIMETRÍA & TOPOGRAFÍA**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

---

<b>1. Introducción .....</b>	<b>64</b>
<b>2. Batimetría.....</b>	<b>64</b>
2.1. <i>BATIMETRÍA GENERAL DE LA COSTA MEDITERRÁNEA .....</i>	<i>64</i>
2.2. <i>BATIMETRÍA DE DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</i>	<i>64</i>
2.2.1. Estudios ecocartográficos .....	64
2.2.2. Batimetría.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Figura 1. Batimetría general de la costa valenciana. (Fuente: Navionics, 2023).....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 2. Batimetría de detalle de la zona de estudio. (Fuente: MITECO, 2007).....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3. Ficha técnica playa del Puig. (Fuente: MITECO, 2007). .....</i>	<i>65</i>

## 1. Introducción

El objetivo principal de este anejo es establecer la configuración de profundidades en la zona de estudio. La batimetría, que analiza las profundidades del mar, podría considerarse como el equivalente subacuático de la altimetría. La representación gráfica de esta batimetría en forma de planos se realiza mediante cartas batimétricas. Estas cartas se basan en líneas de igual profundidad, conocidas como isobatas, que son comparables a las líneas de contorno en altimetría.

En este apartado se va a realizar un análisis de la batimetría de la zona de estudio para determinar las profundidades, las cuales serán necesarias conocer para caracterizar posteriormente las condiciones del oleaje y para realizar el diseño de las piezas a disponer, así como comprobar la estabilidad de las mismas.

Cabe mencionar que este apartado incluirá imágenes extraídas de los planos de la batimetría. Para consultar las batimetrías completas presentadas en este apartado, se recomienda dirigirse al documento de planos, específicamente a los planos 2 y 2.1.

## 2. Batimetría

### 2.1. **BATIMETRÍA GENERAL DE LA COSTA MEDITERRÁNEA**

En este apartado se va a definir una representación general de la batimetría costera, la cual desempeñará un papel crucial en el Anejo N°6: "Clima marítimo y estudio del nivel del mar". Esta información ayudará a definir el ángulo de incidencia del oleaje en relación con la batimetría. La ubicación de la playa del Puig se ha resaltado con una circunferencia en color rojo. A continuación, se muestra la vista general de la batimetría de la costa Valenciana:

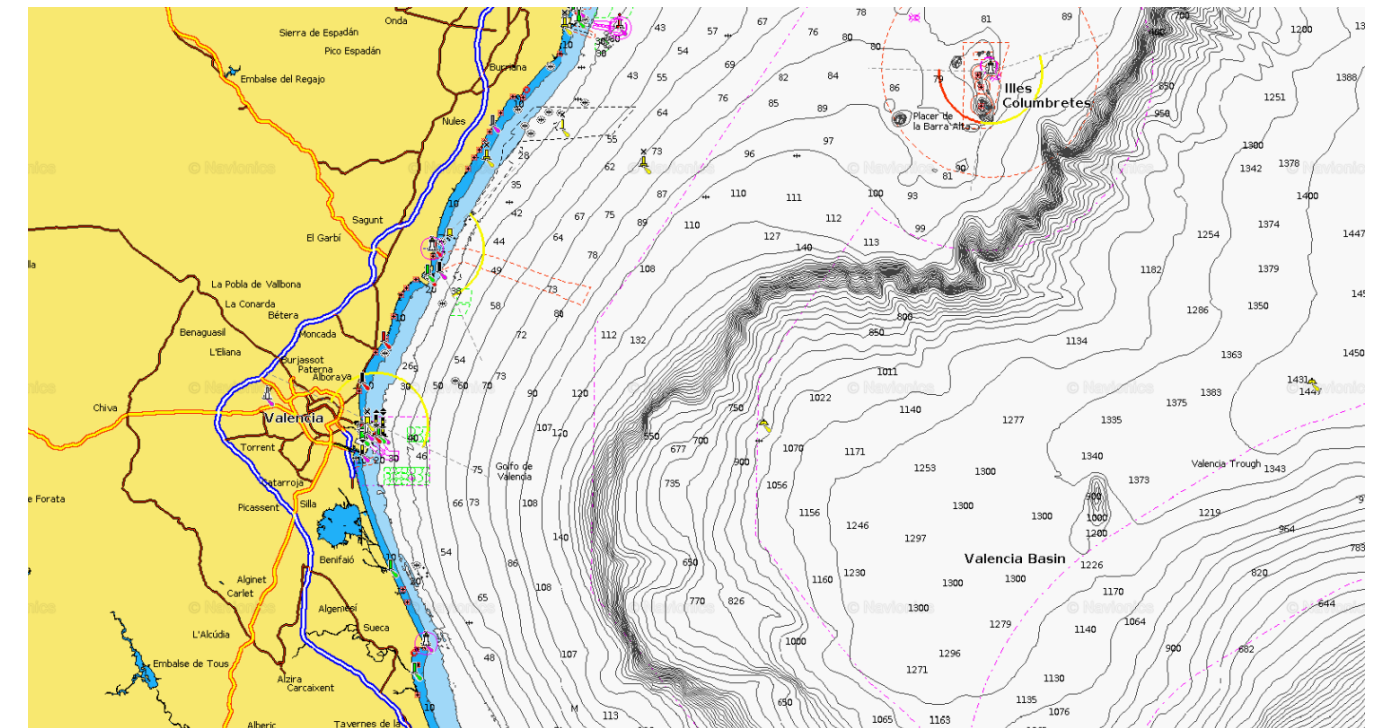


Figura 1. Batimetría general de la costa valenciana. (Fuente: Navionics, 2023)

### 2.2. **BATIMETRÍA DE DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### 2.2.1. Estudios ecocartográficos

Como recoge el MITECO (2007): "las ecocartografías del litoral español comprenden una serie de estudios de ingeniería marítima y ecología del medio marino, con sus resultados perfectamente estructurados en un Sistema de Información Geográfica (GIS) y bases de datos asociadas." Entre otras, estas ecocartografías, según MITECO (2007), incluyen:

- Batimetría detallada realizada mediante el uso de la tecnología de sonda Multihaz, que permite obtener información precisa de la plataforma costera sumergida a escalas de 1:1.000 y 1:5.000.
- Información y cartografía de las comunidades bentónicas y la biocenosis, junto con la creación de una base de datos que engloba todas las especies analizadas. Se tienen en cuenta diversos parámetros, como la abundancia, la riqueza específica y la diversidad.
- Elaboración de mapas temáticos que indican, entre otras variables, los usos y la clasificación del suelo, la geología, los espacios naturales protegidos y los recursos pesqueros. Además, se han creado fichas temáticas relacionadas con los puntos de muestreo, en las cuales se recopila toda la información obtenida.
- Información detallada sobre la franja costera, teniendo en cuenta los aspectos ambientales y patrimoniales más relevantes. Esta información se estructura en un Sistema de Información Geográfica (GIS), lo que permite realizar un estudio rápido y eficiente. Además, facilita la actualización y ampliación de la información según las necesidades del momento.

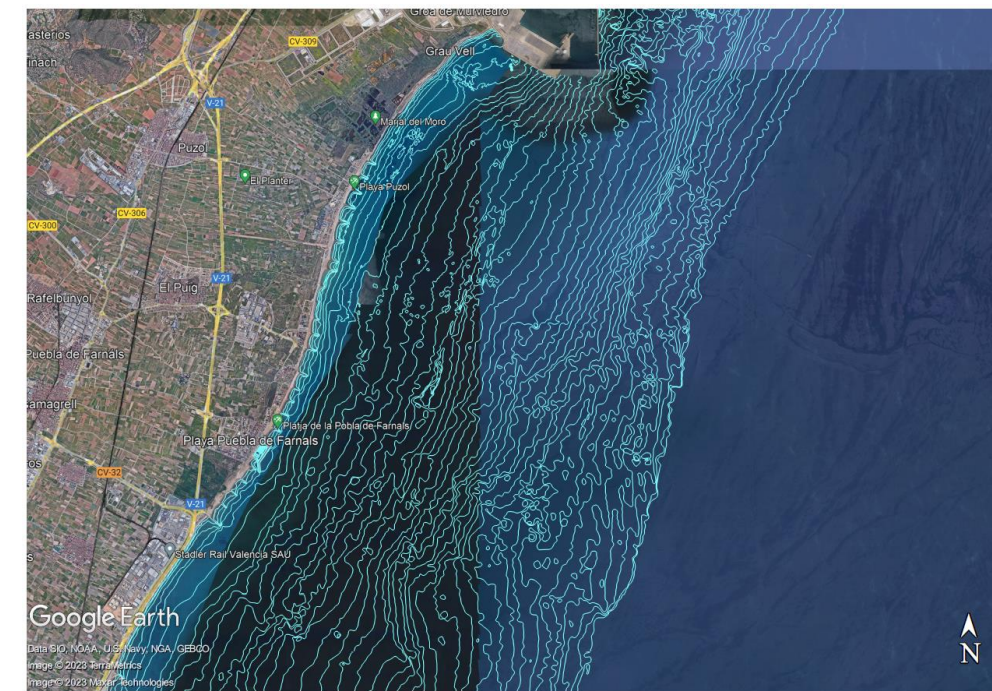


Figura 2. Batimetría de detalle de la zona de estudio. (Fuente: MITECO, 2007).

Se muestra a continuación la ficha técnica proporcionada por el MITECO a través de su estudio ecocartográfico (2007) que proporciona datos sobre la pendiente de la playa del Puig y sobre las dimensiones exactas de la misma:

En resumen, las ecocartografías del litoral español proporcionan un conjunto completo de datos y mapas que permiten comprender y gestionar de manera eficaz los diferentes aspectos relacionados con el medio marino y su entorno costero (Obs. pers.). El propósito de estos estudios es obtener un completo respaldo cartográfico de una zona costera específica, acompañado de una descripción detallada que incluya datos sobre las comunidades naturales, el paisaje y los elementos patrimoniales, tanto en tierra como en el medio marino.

### 2.2.2. Batimetría

En este caso, se ha tomado como batimetría de detalle la consultada a través de los estudios ecocartográficos realizados por el MITECO (2007). En base a esta batimetría se definirán las profundidades de colocación de las distintas piezas y servirá como base para la realización de la propagación del oleaje dentro del estudio de clima marítimo, que contará con un anejo detallado.

Finalmente se muestra a continuación la batimetría de detalle de la zona de la playa del Puig, en la cual cada una de las isobatas que pueden observarse corresponden a una profundidad creciente, de izquierda a derecha, de un metro.

FICHA DE PLAYAS					
Código Playa V008	HMN 29-27	Hoja 5000 696_Burjasot_6-4/6-5/7-4	Municipio PUIG	Provincia VALENCIA	SIG D.G. Costas Cod. Estudio: 07 Cod SubEstudio: 01
Denominación de la Playa: <b>Playa de Puig</b>					
		<b>Datos base de la playa</b> Superficie total playa: <b>25.58Ha</b> Perímetro: <b>7208.66 m</b> Longitud: <b>2821.77 m</b> Anchura media: <b>87.95 m</b> Anchura máxima: <b>255.48m</b> Anchura mínima: <b>4.17m</b>		<b>Características morfológicas de la playa</b> Pendiente media: <b>1.37 %</b> Tipo de playa: <b>Abierta con campo de espigones</b> Tipo de sedimento: <b>Arenas finas</b> D <sub>50</sub> : <b>0.21 mm</b> Color arena: <b>Dorada</b> Ajuste Dean: <b>0.113</b>	
<b>Croquis contorno</b>					
Escala 1:47,217					

Figura 3. Ficha técnica playa del Puig. (Fuente: MITECO, 2007).



## **ANEJO Nº5: ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## ÍNDICE

---

<b>1. Introducción</b> .....	<b>68</b>
<b>2. Geología</b> .....	<b>68</b>
<b>3. Geotecnia</b> .....	<b>69</b>
<b>4. Morfología submarina</b> .....	<b>69</b>
4.1. LOCALIZACIÓN DE LAS PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA.....	70
<b>5. Mapas IGME</b> .....	<b>72</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Figura 1. Extracto del MAGNA en la zona de estudio. (Fuente: IGME, 1973)</i> .....	68
<i>Figura 2. Extracto del mapa geotécnico de la zona de estudio. (Fuente: IGME, 1973).</i> .....	69
<i>Figura 3. Extracto del mapa de la morfología terrestre en la zona de estudio. (Fuente: MITECO, 2007).</i> .....	69

## 1. Introducción

El objetivo fundamental de este anejo es establecer las características geológicas, geotécnicas y morfológicas de los suelos submarinos que albergarán este proyecto. El propósito de este análisis es evaluar la factibilidad de la obra en relación con el entorno físico. Para verificar que las estructuras planificadas no excedan la capacidad de carga del terreno, se emplean los mapas geológicos y geotécnicos elaborados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 1973) y también se tendrán en cuenta los estudios morfológicos del terreno que se han realizado por el MITECO (2007) en el estudio “*Ecocartografía de Valencia*”.

## 2. Geología

Como se ha mencionado en la introducción de este anejo, se recurre al Mapa Geológico de España elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Recurriendo a los mapas MAGNA con una escala 1:50.000, se tiene que la hoja 696 (30-31) que se corresponde con la localidad de Burjassot, muestra los datos geológicos de la zona de estudio.

En la zona a estudiar de estudio se observa principalmente dos tipologías de materiales, ambas pertenecientes a holoceno del período cuaternario.

- Estos materiales son: Limos negros (31) – Albufera: antiguamente (en años geológicos) en esta zona existía una albufera. En la actualidad se encuentra totalmente colmatada y el nivel freático de la zona está muy alto, llegando a aflorar en algunos puntos. La litología de este material se corresponde principalmente de limos arenosos negros (mapa geológico, IGME – 1973).
- Limos pardos (32): forman una amplia orla que rodea a los limos negros. Este material posee bastante potencia y en algunos puntos adquiere tonos rosados. Proceden del lavado de las arcillas rojas (mapa geológico, IGME – 1973).

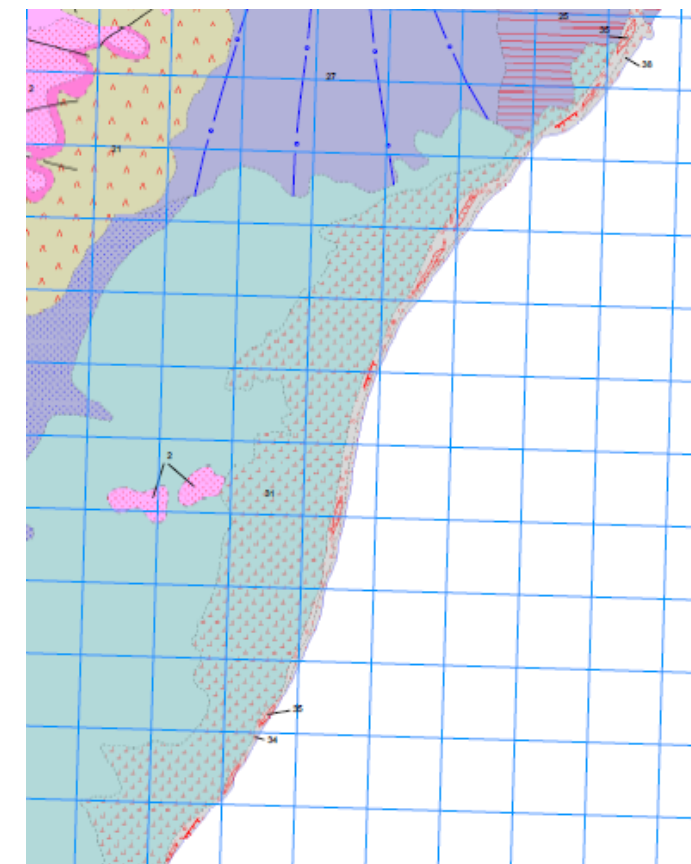


Figura 1. Extracto del MAGNA en la zona de estudio. (Fuente: IGME, 1973).



### 3. Geotecnia

Respecto a la geotecnia, disciplina que se encarga del estudio de las propiedades y comportamiento de los suelos y rocas en relación con la ingeniería y la construcción, en la zona de estudio correspondiente con la playa del Puig, según el Mapa de propiedades Geotécnicas elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) se trata de una zona con bajísima capacidad de carga y altísimos asentamientos, tanto elásticos como edométricos. Según la memoria elaborada para este mismo mapa por el IGME (memoria mapa geotécnico, IGME – 1973), se trata de una zona incompetente para soportar cimentaciones en su estado natural, por lo que es necesario realizar tratamientos de mejora. Se muestra a continuación un extracto del mapa geotécnico focalizado en la zona de estudio:



Figura 2. Extracto del mapa geotécnico de la zona de estudio. (Fuente: IGME, 1973).

Es importante resaltar que solo se dispone información geotécnica de los suelos terrestres, es decir, no existe información geotécnica acerca de los suelos submarinos, por lo que habrá que recurrir a otras fuentes de información diferentes al IGME y, cobrará especial importancia, el conocimiento de la morfología de la zona submarina en la que se dispondrán las estructuras arrecifales artificiales a diseñar en este estudio.

### 4. Morfología submarina

En este apartado se abordará el análisis de la morfología del terreno, un aspecto fundamental en cualquier estudio geotécnico. La morfología del terreno hace referencia a las características y formas físicas que presenta la superficie terrestre, incluyendo su topografía, relieve, tipos de suelos y rocas, así como la distribución de elementos geomorfológicos (*Guía de estudio: morfología del suelo*, 2017). A través del estudio y comprensión de la morfología del terreno se pueden obtener importantes datos sobre el comportamiento geotécnico del mismo, su estabilidad y su capacidad para soportar estructuras o infraestructuras. El análisis detallado de la morfología permite determinar la presencia de elementos como afloramientos rocosos, cambios en la composición del suelo, variaciones en la pendiente del terreno, entre otros aspectos relevantes. Estos elementos proporcionan información clave para la planificación y diseño de proyectos de ingeniería, permitiendo tomar decisiones fundamentadas y aplicar medidas adecuadas para garantizar la seguridad y eficiencia de las obras a diseñar en este estudio. En resumen, comprender y analizar la morfología del terreno es esencial para lograr una adecuada evaluación geotécnica y una correcta planificación de proyectos en función de las características propias del terreno (Obs.pers.).

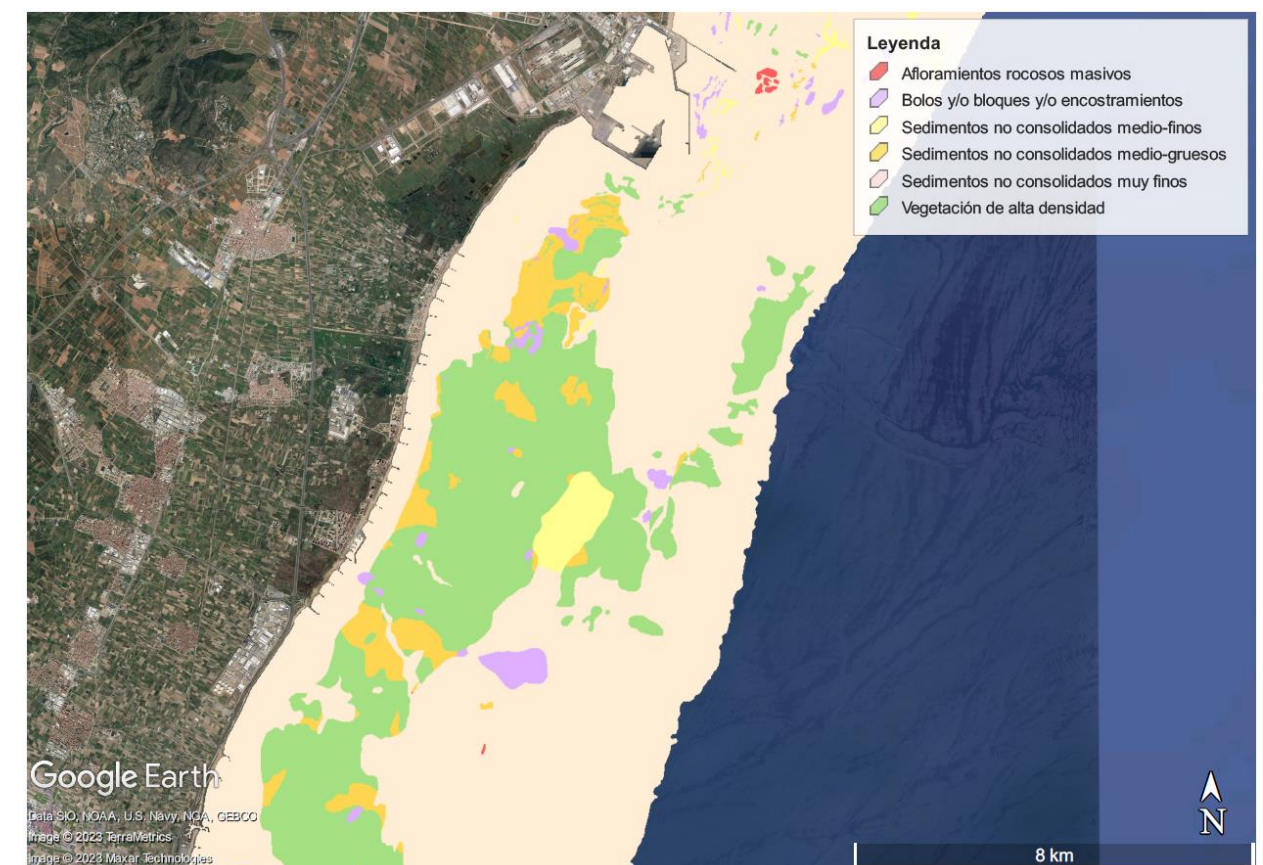


Figura 3. Extracto del mapa de la morfología terrestre en la zona de estudio. (Fuente: MITECO, 2007).

A continuación, se va a realizar una breve descripción de las características principales de las tipologías de suelos que aparecen en la figura 3 del presente anejo. Parte de las siguientes definiciones se han extraído del documento “*Guía de estudio: morfología del suelo*” (2017).

1. **Afloramientos rocosos masivos:** se trata de zonas en las que las rocas emergen en la superficie submarina del terreno de forma masiva y predominante. Estos afloramientos suelen ser rocas duras y compactas, como granito, basalto o caliza. Las características geotécnicas de los afloramientos rocosos masivos suelen incluir una alta resistencia y elevada capacidad portante, lo que los hace adecuados como cimentaciones sólidas para estructuras.
2. **Bolos y/o bloques y/o encostramientos:** hace referencia a la presencia de grandes piedras, bloques y/o rocas dispersas en el terreno. Estos elementos suelen ser de tamaño considerable y pueden estar compuestos por diferentes tipos de rocas. En términos geotécnicos, los bolos, bloques y encostramientos pueden afectar la estabilidad del terreno, especialmente si están sueltos o no están adecuadamente anclados. Estos pueden representar un desafío para la excavación y construcción, requiriendo medidas adicionales de estabilización. Al encontrarse en el lecho marino, la presión ejercida por el agua genera un efecto de consolidación de estos materiales, por lo que se pueden disponer las estructuras arrecifales en este terreno sin problemas.
3. **Sedimentos no consolidados medio-finos:** se trata de materiales sedimentarios como arenas y limos, que presentan un tamaño de partícula de medio a fino. Estos sedimentos son comúnmente transportados y depositados por el agua. En términos geotécnicos, los sedimentos no consolidados medio-finos pueden ser relativamente compresibles y tener una capacidad de carga moderada. La estabilidad de las estructuras construidas sobre estos sedimentos puede depender de su densidad y de las características de compactación del material.
4. **Sedimentos no consolidados medio-gruesos:** hace referencia a materiales sedimentarios como gravas y arenas gruesas, que presentan un tamaño de partícula de medio a grueso. Estos sedimentos son generalmente más grandes y tienen una mayor resistencia que los sedimentos finos. En términos geotécnicos, los sedimentos no consolidados medio-gruesos pueden ofrecer una mayor capacidad de carga y estabilidad en comparación con los sedimentos finos. Sin embargo, su comportamiento geotécnico

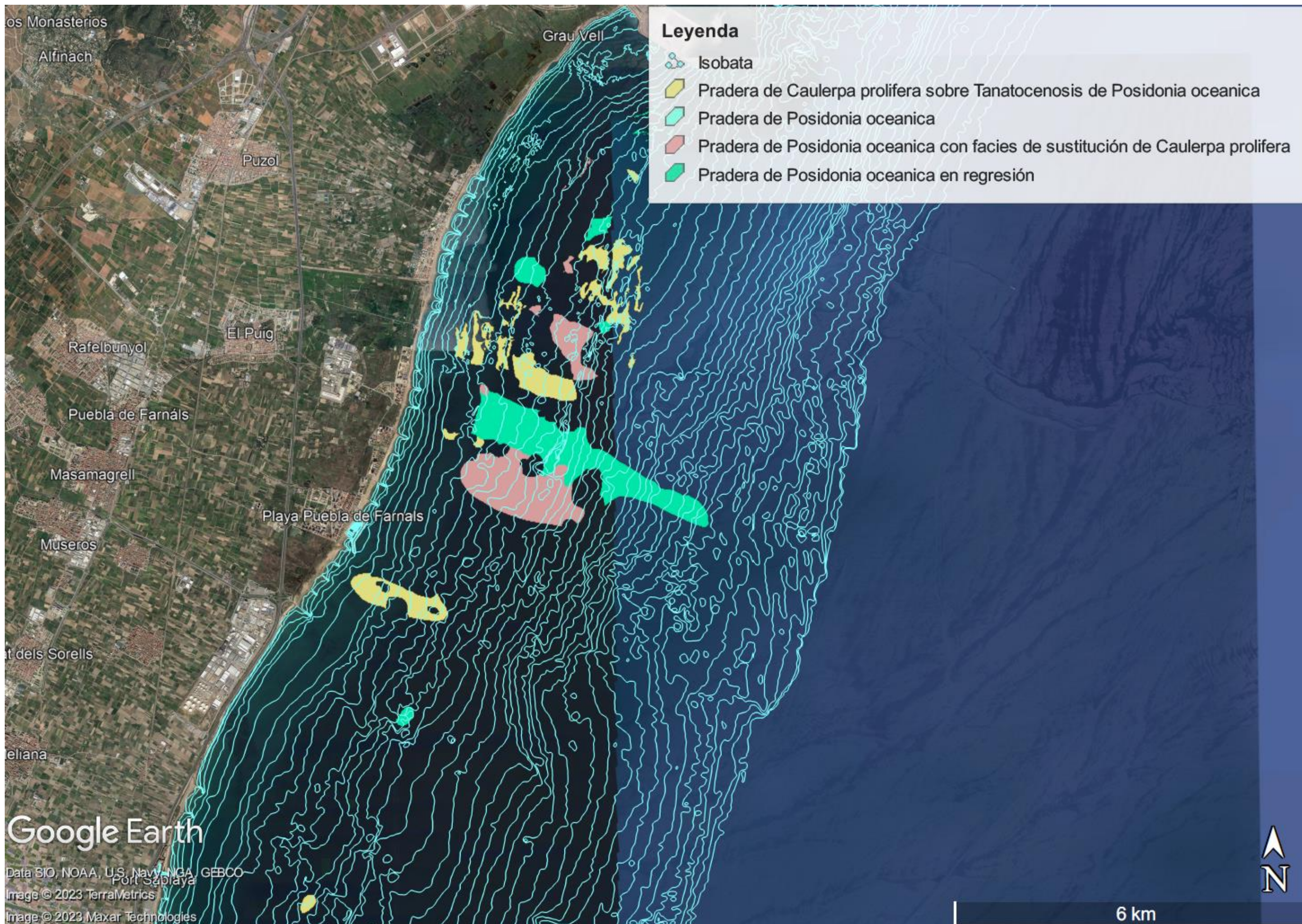
dependerá de la graduación de la granulometría, la densidad y la cohesión de los materiales.

5. **Sedimentos no consolidados muy finos:** se trata de materiales sedimentarios extremadamente finos, como arcillas y limos finos. Estos sedimentos pueden ser altamente susceptibles a la compresión y a la expansión y pueden dar lugar a fenómenos de licuefacción bajo las cargas impuestas por las estructuras a diseñar. En términos geotécnicos, los sedimentos no consolidados muy finos pueden presentar baja resistencia al corte, alta compresibilidad y capacidad de carga limitada. Es importante tener en cuenta que los terrenos con suelos blandos o suelos altamente compresibles, como arcillas expansivas o limos orgánicos, pueden experimentar asentamientos o cambios de volumen significativos los cuales pueden provocar el colapso de las estructuras diseñadas, por lo que habrá que tener en muy en cuenta el peso a la hora de diseñar las piezas que conformen las estructuras arrecifales (Obs.pers.).
6. **Vegetación de alta densidad:** respecto a la vegetación, está hace referencia a las praderas de Posidonia oceánica y otras especies. En términos geotécnicos, la vegetación de alta densidad puede tener un impacto en el terreno, ya que como se vio en el anejo N°1 “Antecedentes y objeto de estudio” las raíces y rizomas que conforman la Posidonia oceánica pueden penetrar en el terreno y afectar las características del suelo. Esto puede incluir la estabilización del suelo y la reducción de la erosión. El objetivo de estas estructuras arrecifales es regenerar las praderas de Posidonia oceánica, por lo tanto, no se permitirán soluciones en las que las estructuras arrecifales afecten negativamente a las praderas (aplastarlas), ya que iría en contra del problema al que se quiere dar solución con este estudio.

#### **4.1. LOCALIZACIÓN DE LAS PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA**

A continuación, se muestra un mapa en el que se observa, con mayor detalle, la localización de las zonas de praderas de Posidonia oceánica en la zona objeto de estudio (Hemitómbolo del Puig) proporcionada por el MITECO (2007). El objetivo de este estudio es regenerar dichas zonas por lo que, como se ha mencionado anteriormente no se diseñarán soluciones que afecten negativamente a estas praderas.







## 5. Mapas IGME

### MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA Escala 1:50.000

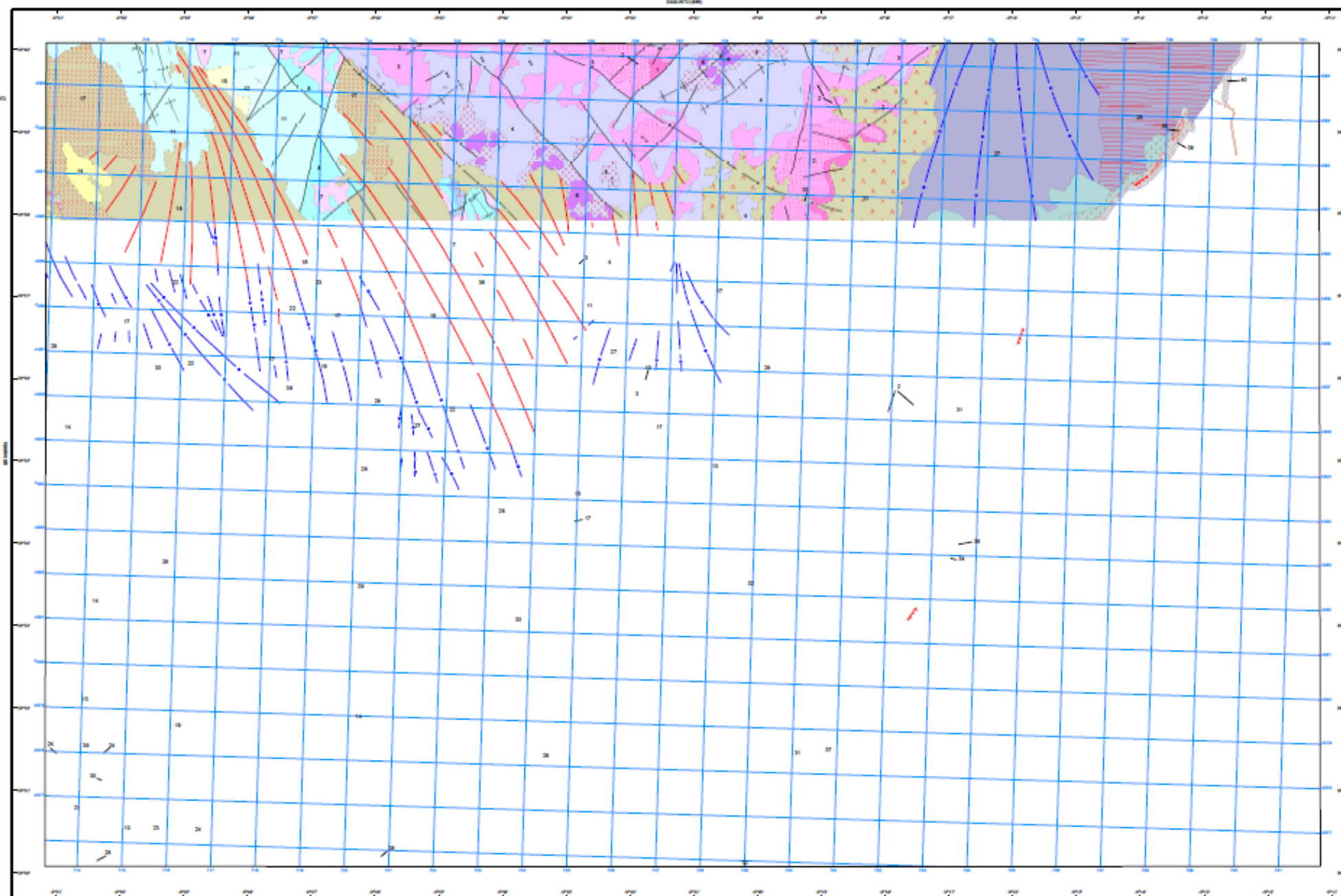


**BURJASOT**

696  
 29-27

**LEYENDA**

CUATERNARIO	PLUVIDIO	38 PLUYA. Arcillas y arenas
	FLUVIDIO	37 INCIUM ANTROPICOLO. Arcillas
	FLUVIDIO	36 COLUVIDIO. Arcillas
	FLUVIDIO	35 ALUVIDIO. Arcillas
OLIGOCENO	SUPERIOR	34 COCCION LITORAL. Conglomerado marino
		33 COCCION LITORAL. Conglomerado marino
	INFERIOR	32 ALUVIDIO. Liras negras
		31 ALUVIDIO. Liras negras
		30 TERRAZAS
		29 CURVAS DE DISCALIFICACION. Terra rosa
		28 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		27 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		26 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		25 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
MIOCENO	SUPERIOR	24 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		23 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
	MEDIO	22 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		21 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		20 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		19 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		18 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		17 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		16 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		15 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
PLEISTOCENO	SUPERIOR	14 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		13 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
	MEDIO	12 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		11 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		10 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		9 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		8 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		7 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		6 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		5 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
TERCIARIO	SUPERIOR	4 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		3 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
	MEDIO	2 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		1 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		0 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		0 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		0 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		0 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		0 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con
		0 MANTOS DE ARROXIDA. Arcillas rojas con

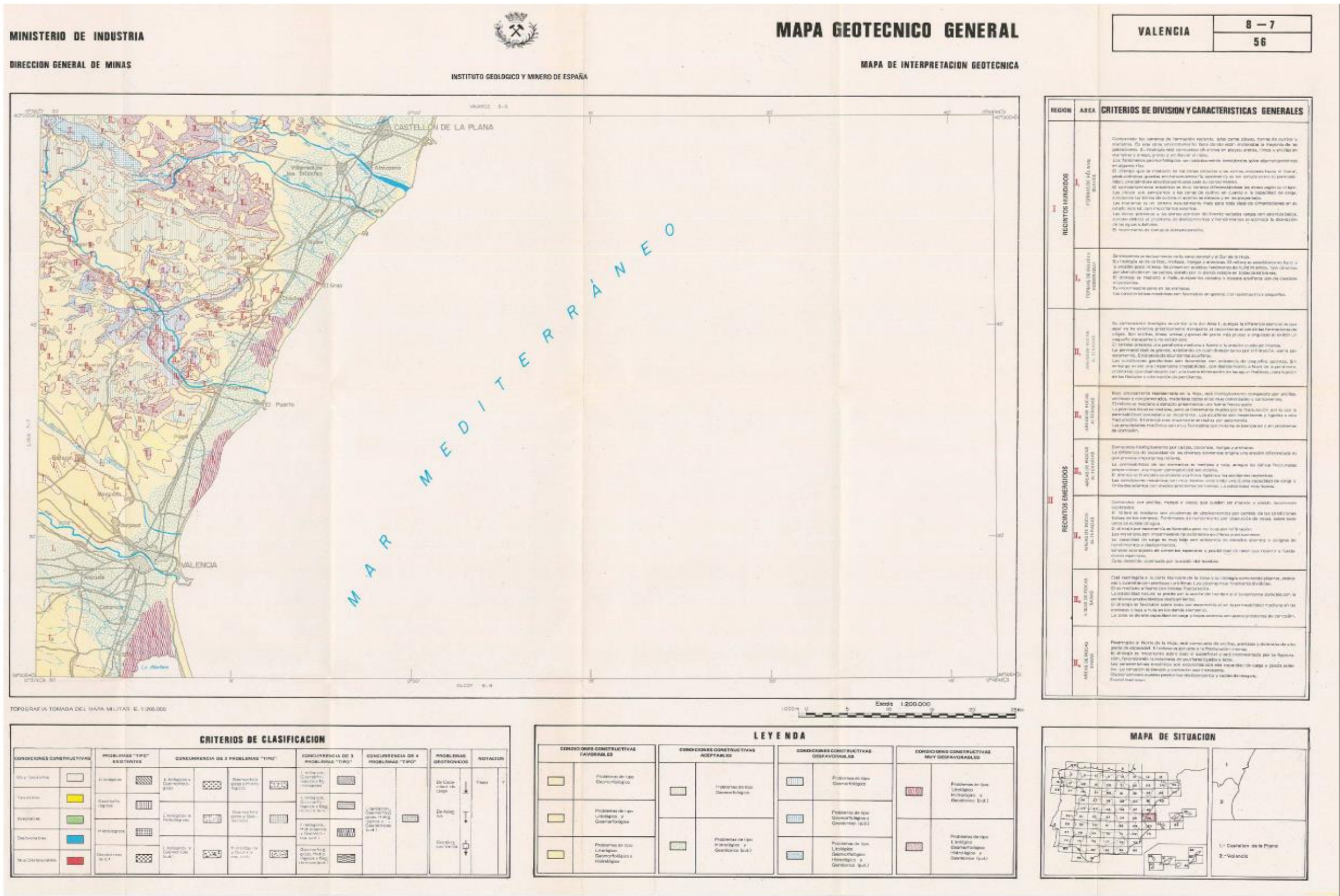


**SIMBOLOS CONVENCIONALES**

Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura
Ortoestructura	Ortoestructura

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E.  
 ANO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA, 1972  
 Autor: J.L. Goy (División de Geología)  
 R. Vegas Matricán (PTI SA)  
 C. Zúñiga García y C. García (I. G. M. E.)  
 Dirección y supervisión: I.G.M.E.





Página 73

## **ANEJO N°6: CLIMA MARÍTIMO Y ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>77</b>
<b>2. Nivel del mar</b>	<b>77</b>
2.1. VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR	78
2.1.1. Variaciones del nivel del mar debido al cambio climático	78
<b>3. Consecuencias debidas al cambio climático</b>	<b>80</b>
3.1. IMPACTOS PRINCIPALES	80
3.1.1. Desarrollo socioeconómico: impactos	81
3.1.2. Impactos sobre los ecosistemas	81
3.1.3. Escenarios de erosión de la costa valenciana	81
3.1.4. Impactos sobre el oleaje	82
<b>4. Estimación de vida útil y período de retorno (ROM 0.0)</b>	<b>82</b>
<b>5. Clima marítimo y propagación del oleaje</b>	<b>84</b>
5.1. ESTIMACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TEMPORAL MÁS CONDICIONANTE	84
5.2. SELECCIÓN DE LA BOYA PARA TOMA DE DATOS	84
5.2.1. Comprobación de aguas profundas – boya de Valencia	85
5.3. CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE: RÉGIMEN EXTREMAL	85
5.3.1. Propagación oleaje dirección NE	87
5.3.2. Propagación oleaje dirección E	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. mareógrafo de Sagunto. (Fuente: Puertos del Estado, 2022)	77
Figura 2. Esquema DATUM mareógrafo de Sagunto. (Fuente: Puertos del Estado, 2022)	78
Figura 3. Estadística de variaciones del mar máximas y mínimas. (Fuente: Puertos del Estado, 2017)	78
Figura 4. Escenarios de aumento del nivel del mar. (Fuente: Iñigo J. Losada Rodríguez et.al, 2014)	79
Figura 5. Principales niveles de referencia del mar incluyendo sobreelevación por cambio climático. (Fuente: elaboración propia)	79
Figura 6. Escenarios de inundación debida al cambio climático en la zona de estudio. (Fuente: visor GVA, 2023)	80
Figura 7. Escenarios de erosión de la línea de costa de El Puig. (Fuente: visor GVA, 2023)	81
Figura 8. Vida útil de la obra en función del IRE. (Fuente: ROM 0.0, 2000)	83
Figura 9. Probabilidad conjunta de fallo ELU. (Fuente: ROM 0.0, 2000)	83
Figura 10. Relación para la obtención del período de retorno. (Fuente: ROM 0.0, 2000)	83
Figura 11 Identificación de los FETCH más condicionantes. (Fuente: Google Earth, 2023)	84
Figura 12. Conjunto de boyas y puntos SIMAR de la costa valenciana. (Fuente: Puertos del Estado, 2022)	84
Figura 13. Rosa direccional del oleaje en Boya de Valencia. (Fuente: Puertos del Estado)	86
Figura 14. Régimen extremal del oleaje dirección NE. (Fuente: Puertos del Estado, 2022)	86
Figura 15. Ángulo de incidencia del oleaje respecto batimétrica dirección NE. (Fuente: elaboración propia, 2023)	87
Figura 16. Ángulo de incidencia del oleaje respecto batimétrica dirección E. (Fuente: elaboración propia, 2023)	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vida útil y período de retorno de la obra a proyectar. (Fuente: elaboración propia)	83
Tabla 2. Características oleaje en aguas profundas. (Fuente: elaboración propia, 2023)	87
Tabla 3. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección NE. (Fuente: elaboración propia, 2023)	87
Tabla 4. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección E. (Fuente: elaboración propia, 2023)	88

## 1. Introducción

El propósito de este anejo es realizar un minucioso estudio y análisis de las condiciones climáticas marítimas en la zona de la playa del Puig. Se buscará establecer con precisión la altura de ola significativa o de cálculo, y se llevará a cabo una detallada caracterización de la propagación del oleaje hasta su llegada a la costa. Asimismo, se definirán las referencias de cotas topográficas con el fin de determinar el nivel del mar actual, lo cual resultará fundamental para evaluar la situación más desfavorable en términos de diseño de las piezas que conformarán el arrecife artificial. Se tendrán en cuenta también los escenarios de cambio climático mencionados en el Anejo N°1: “Antecedentes y objeto del estudio” para definir el nivel del mar que genera la situación más desfavorable para el diseño de las piezas.

## 2. Nivel del mar

En este caso, se estudia el nivel del mar con el objetivo de definir las variaciones de este, centrándose sobre todo en las variaciones del nivel del mar debido al cambio climático. Como ya se vio en el Anejo N°1: “Antecedentes y objeto del estudio” las variaciones del nivel del mar asociadas al cambio climático se atribuyen básicamente a cambios de nivel estéricos, causados fundamentalmente por variaciones en la temperatura de la columna de agua, y a los cambios de masa de los océanos, como resultado de la adición de agua proveniente de los reservorios continentales (Diego K. Kresting, 2016).

Inicialmente, para obtener datos sobre el nivel del mar, se utiliza la red REDMAR (Red de Medición del Nivel del Mar y Agitación de Puertos del Estado). Esta red tiene como finalidad la monitorización en tiempo real y la creación de series históricas del nivel del mar, con el propósito de su posterior análisis y aprovechamiento.

Para obtener las referencias de las diferentes cotas se utiliza el Mareógrafo de Sagunto, ya que es el más cercano a la zona de estudio en la que se basa este proyecto (Playa del Puig). Se muestra a continuación una imagen que permite identificar donde se sitúa este mareógrafo.

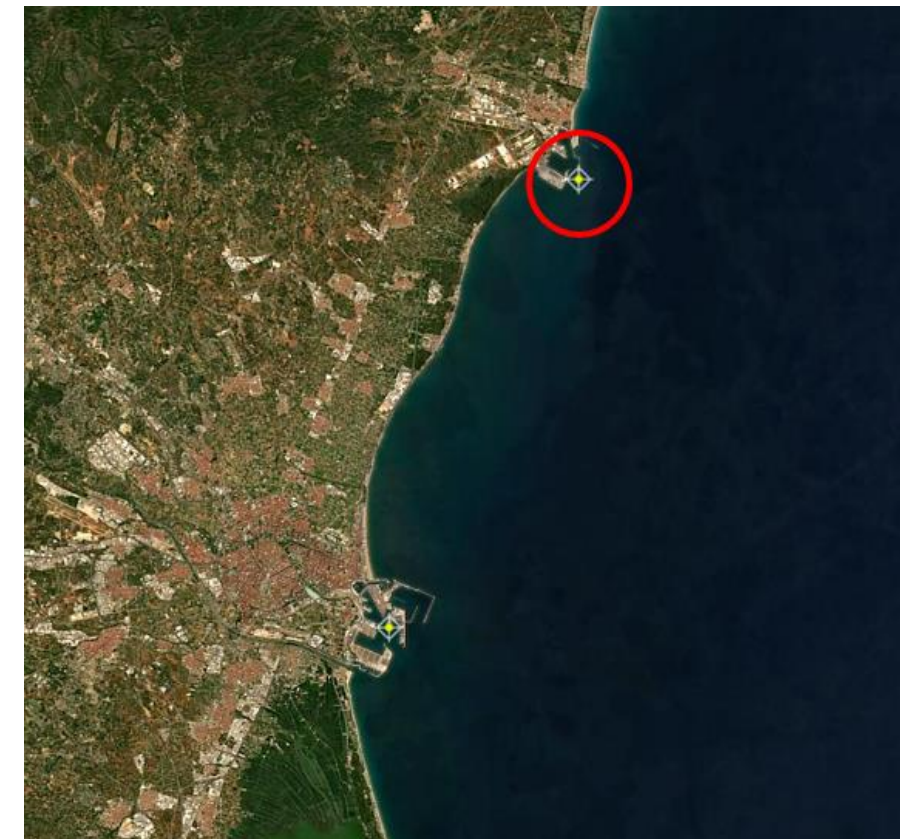


Figura 1. mareógrafo de Sagunto. (Fuente: Puertos del Estado, 2022)

En concreto se van a usar los datos recopilados en el resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea proporcionado por Puertos del Estado (2017). Se obtienen el siguiente esquema DATUM que permite visualizar los niveles de referencia del mar:

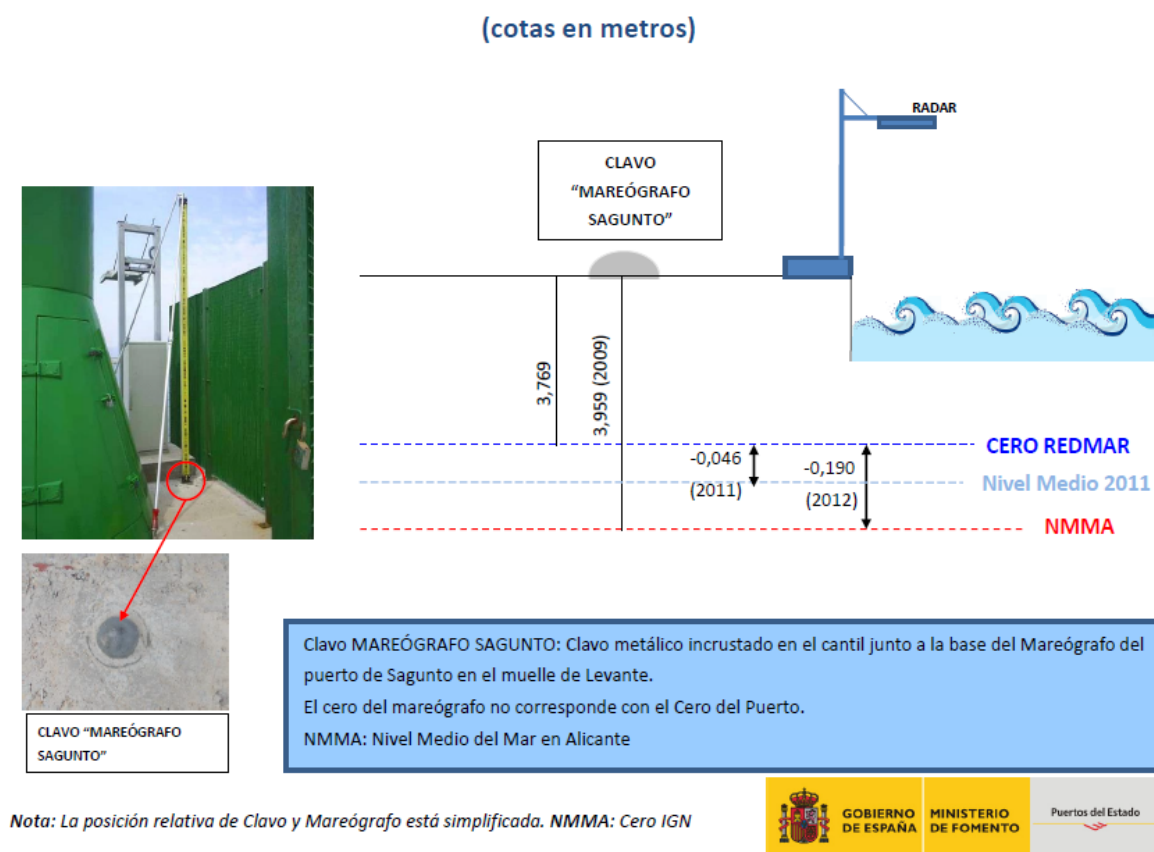


Figura 2. Esquema DATUM mareógrafo de Sagunto. (Fuente: Puertos del Estado, 2022).

## 2.1. VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR

Las fluctuaciones en el nivel del mar se denominan mareas y corresponden a oscilaciones de onda que duran más de una hora. Existen dos tipos de mareas: la marea astronómica, que se produce debido a las atracciones gravitatorias y se caracteriza por movimientos periódicos de elevación y descenso del nivel del mar, y la marea meteorológica, que se debe a cambios en la presión atmosférica y a la acción del viento, que puede generar corrientes (Instituto Español de Oceanografía, 2010).

Para tener en cuenta estas variaciones, se utiliza un mareógrafo, el cual registra datos en tiempo real en intervalos de 5 minutos y los interpola para obtener resultados precisos. Es importante considerar la sobreelevación del mar, ya que esta determinará la profundidad y, por lo tanto, como se vera a la hora de estudiar el clima marítimo y la propagación del oleaje, determina

la altura de las olas que pueden alcanzar la estructura arrecifal. Para determinar esta sobreelevación, se deben analizar tanto la marea astronómica como la marea meteorológica, como se detalla a continuación:

$$S_{NM}(t) = S_{MA}(t) + S_{MM}$$

Donde:

- $S_{NM}$  : nivel de marea
- $S_{MA}$  : sobreelevación originada por la marea astronómica
- $S_{MM}$  : sobreelevación originada por la marea meteorológica

Finalmente se obtienen los siguientes resultados de variaciones del nivel del mar, extraídos del "Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria en el Puerto de Sagunto" (Puertos del Estado, 2017) que como se ha mencionado anteriormente, es el mareógrafo de referencia al ser el que se encuentra más cerca de la playa del Puig.

Estadística Mínimos		Estadística Máximos	
Mínima (m):	-0.45	Mínima (m):	-0.29
Máxima (m):	0.31	Máxima (m):	0.55
Media (m):	-0.13	Media (m):	0.05
Desv.Est. (m):	0.10	Desv.Est. (m):	0.10
Moda (m):	-0.12	Moda (m):	0.03
Mediana (m):	-0.12	Mediana (m):	0.04
Sesgo:	-0.11	Sesgo:	0.13
Curtosis:	0.40	Curtosis:	0.71

Figura 3. Estadística de variaciones del mar máximas y mínimas. (Fuente: Puertos del Estado, 2017).

### 2.1.1. Variaciones del nivel del mar debido al cambio climático

En el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), se ha desarrollado el estudio "Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación" (Kersting, D.K., 2016), el cual indica que las tendencias de ascenso del nivel medio del mar para el siglo XXI se sitúan entre 3,7 y 5,3 mm/año para el escenario A2 (emisiones de



gases invernadero altas), lo que podría resultar en un aumento total de 40 a 60 cm para el año 2100. Por otro lado, el informe "Cambio climático en la costa española" (PNACC, 2014) muestra proyecciones del aumento del nivel medio del mar para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, en el período 2081-2100, en las costas españolas (ver Figura 4).

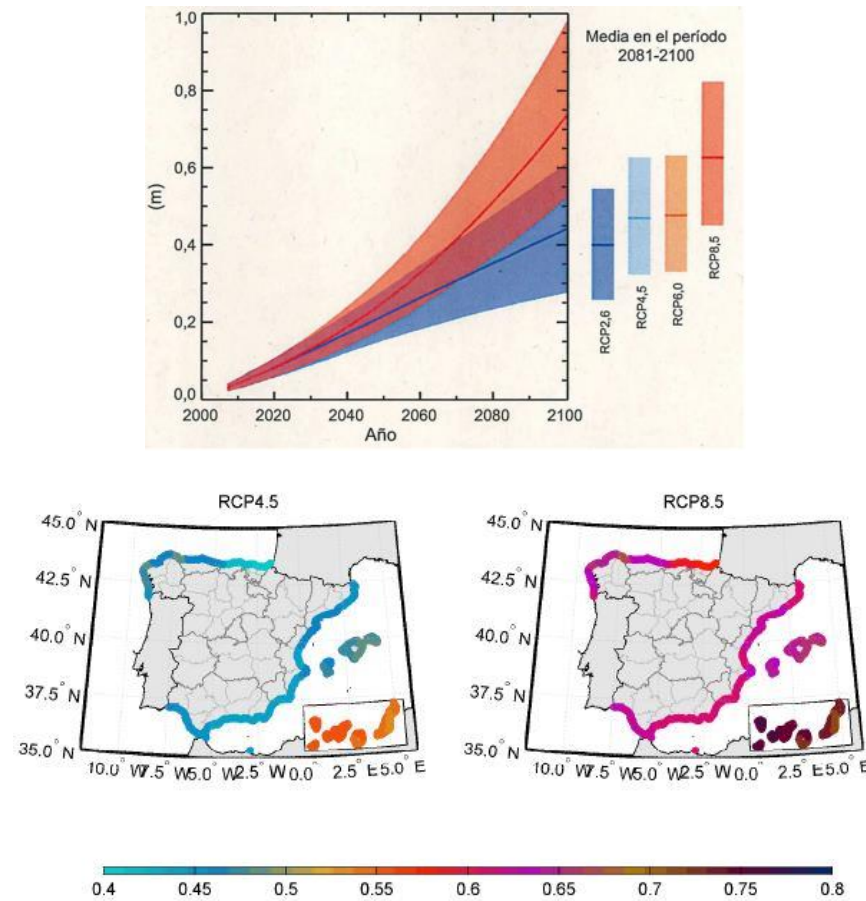


Figura 4. Escenarios de aumento del nivel del mar. (Fuente: Iñigo J. Losada Rodríguez et.al, 2014).

Como también se mencionó en el anejo N°1: "Antecedentes y objeto del estudio" el Instituto Español de Oceanografía (IEO, 2010) llevó a cabo un estudio sobre las tendencias del nivel del mar en el Mar Mediterráneo como parte del informe sobre el Cambio Climático en el Mediterráneo Español en 2010. Según las conclusiones del informe, se observa un incremento significativo en el nivel del mar a partir de principios de los años 90. Este aumento se atribuye al descenso de la presión atmosférica y al aumento de las temperaturas, con tasas que oscilan entre 2,5 mm/año y 10 mm/año (IEO, 2010). Los datos indican que, además del calentamiento de las aguas, otros factores, como el aumento de la masa de agua, podrían haber contribuido a esta aceleración en la tasa de ascenso del nivel del mar.

Teniendo en cuenta todos estos datos, se ha establecido en este proyecto una estimación de aumento del nivel del mar de 6 mm/año. Con esta cifra, se realizará el cálculo del incremento del nivel del mar al que la obra deberá hacer frente. Considerando una vida útil de 25 años para el proyecto, se estima que el aumento total del nivel del mar debido al cambio climático será de:

$$S_{NM}(t) = S_{MA}(t) + S_{MM} = 10 \text{ cm}$$

Donde:

- $S_{CC}$  : sobreelevación generada por el cambio climático (cm)
- $S_{Anual}$  : sobreelevación anual = 6 mm/año
- $S_{Útil}$  : vida útil de la estructura= 15 años

Se llevarán a cabo los cálculos de diseño considerando esta sobreelevación para el año 2040. En este esquema, se definen los valores del nivel máximo y mínimo observados, así como la pleamar astronómica máxima (PMMA) y la bajamar astronómica mínima (PMMI), teniendo en cuenta esa sobreelevación estimada de 10 cm, el esquema de niveles del mar es el siguiente:

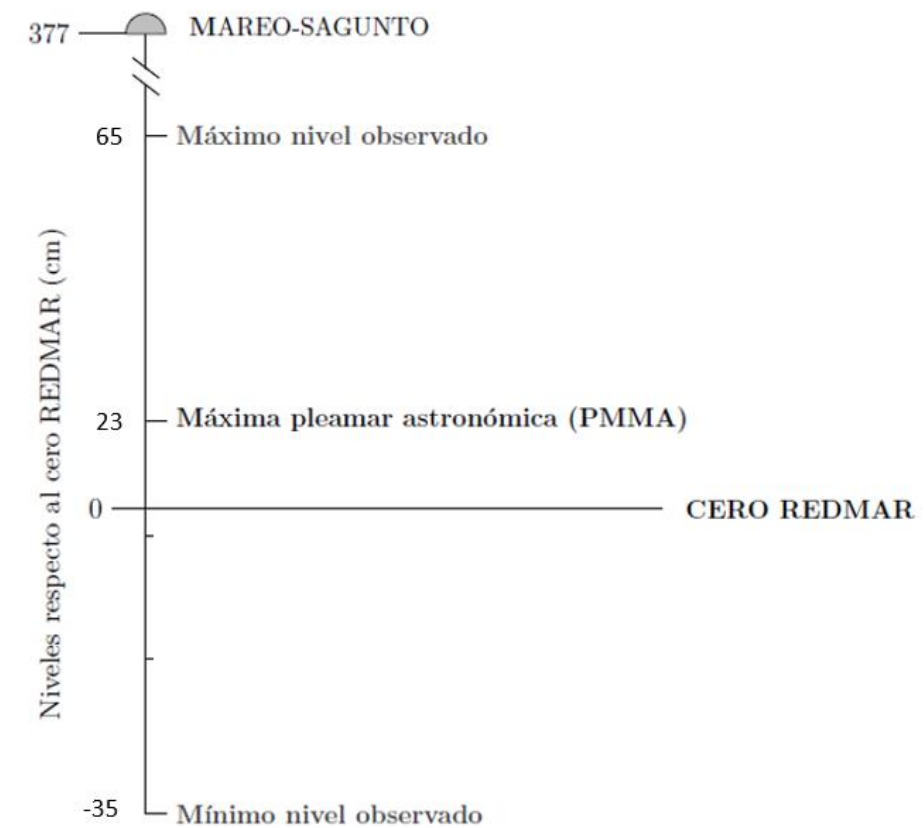


Figura 5. Principales niveles de referencia del mar incluyendo sobreelevación por cambio climático. (Fuente: elaboración propia)

### 3. Consecuencias debidas al cambio climático

La subida del nivel del mar y otros efectos del cambio climático tienen consecuencias significativas en los sistemas costeros naturales. Los escenarios futuros evidencian que la costa valenciana se encuentra en una situación preocupante. Alertan claramente sobre la situación de emergencia del litoral valenciano (y nacional) y de la urgencia existente para tomar medidas que garanticen la sostenibilidad e incrementen la resiliencia ante los efectos del cambio climático (Iñigo J., Losada Rodríguez, et al., 2014).

En este apartado se pretende identificar las principales consecuencias generadas por el cambio climático y las acciones antrópicas. Se va a realizar especial hincapié en los escenarios de recesión de la costa, en concreto de la línea de costa objeto de la aplicación práctica de este estudio, la de la Playa del Puig. El objetivo fundamental de este apartado es identificar los principales problemas generados por el cambio climático que podrían ser solucionados con la disposición de estructuras arrecifales artificiales, a parte de la regeneración de las praderas de Posidonia oceánica.

#### 3.1. IMPACTOS PRINCIPALES

Los sistemas costeros en España muestran una notoria sensibilidad ante diversos factores, incluyendo la elevación del nivel del mar y otros como el aumento de la temperatura superficial del agua, la acidificación, los cambios en las tormentas y las variaciones en el oleaje.

El oleaje constituye una de las principales dinámicas que pueden experimentar cambios y afectar nuestra costa. Durante las últimas seis décadas, se han observado significativas modificaciones tanto en intensidad como en dirección. En el contexto de España, los impactos atribuibles al cambio climático se refieren a alteraciones en la temperatura del océano y a la acidificación (Iñigo J., Losada Rodríguez, et al., 2014).

Es importante destacar que los impactos observados relacionados con inundaciones o erosión en las zonas costeras no pueden ser atribuidos exclusivamente al cambio climático, ya que están ampliamente influenciados por la actividad humana.

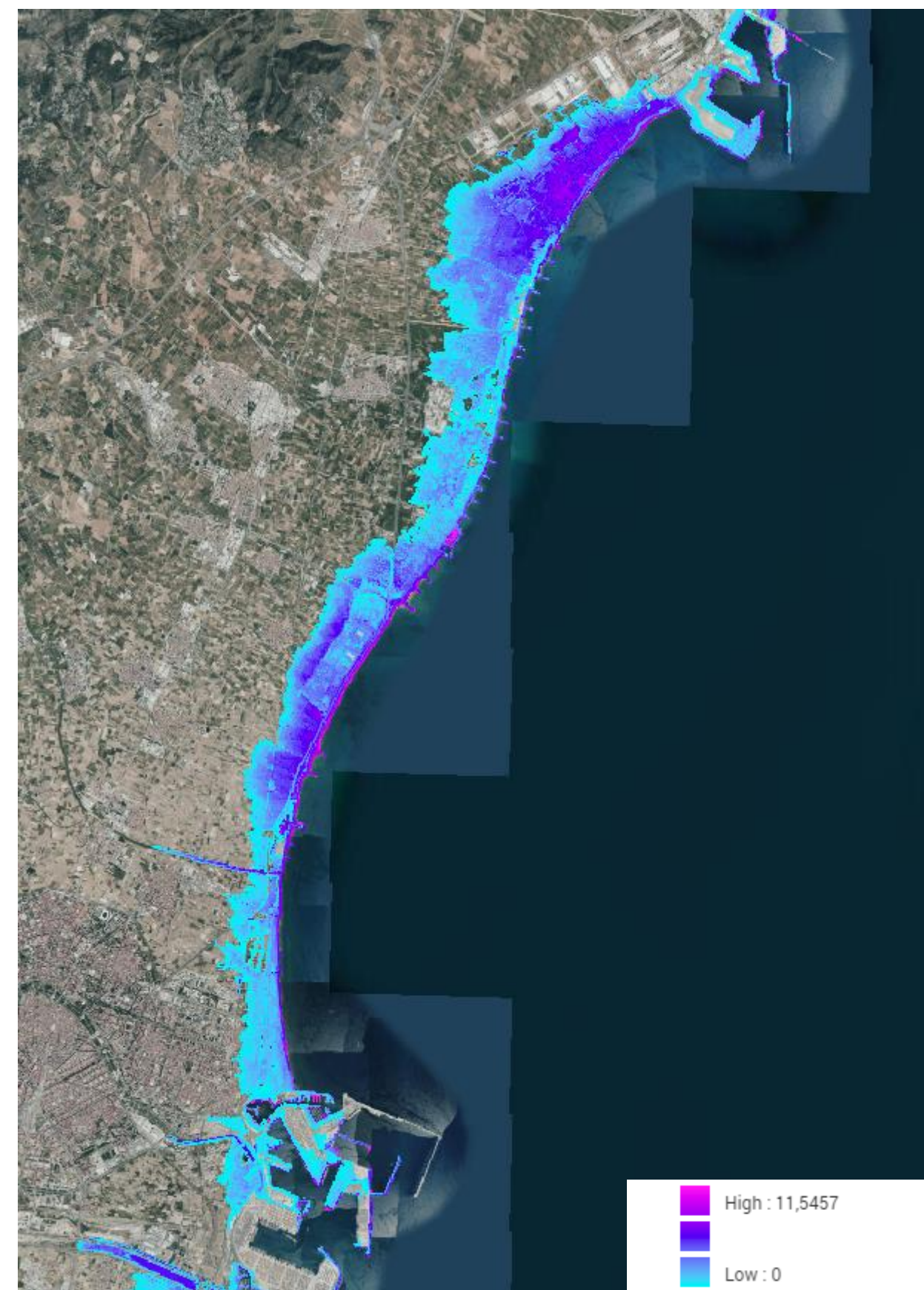


Figura 6. Escenarios de inundación debida al cambio climático en la zona de estudio. (Fuente: visor GVA, 2023).



### 3.1.1. Desarrollo socioeconómico: impactos

El desarrollo socioeconómico, junto con factores no climáticos como el desvío o variación de caudales en ríos, la retención de sedimentos y la pérdida de hábitat, potencian los impactos del cambio climático en las zonas costeras. En los últimos años, según Iñigo J., Losada Rodríguez, et al., (2014), se ha registrado un notable aumento demográfico en la franja costera, lo que ha llevado a importantes cambios en el uso del suelo y a la rigidez en gran parte del litoral. Esto ha generado un aumento en la exposición y vulnerabilidad de la zona costera, y como consecuencia, un incremento del riesgo.

Si se mantiene la tendencia de crecimiento poblacional, actividades y ubicación de bienes en la costa española, la exposición y vulnerabilidad costera se verán incrementadas. Los riesgos y consecuencias sobre el sistema socioeconómico debido a eventos extremos se agravarán debido al cambio climático, especialmente a la subida del nivel del mar. Ante un escenario de aumento del nivel medio del mar, será necesario elevar la cota de las obras de protección contra la inundación costera entre 40 y 60 cm para mantener la operatividad de los puertos y la funcionalidad de las estructuras. Es decir, sería necesario realizar una actualización de prácticamente todas las obras de defensa costera del litoral español.

### 3.1.2. Impactos sobre los ecosistemas

La subida del nivel del mar y los cambios en la dirección e intensidad del oleaje provocarán impactos adversos en los sistemas costeros como la inundación costera y la erosión. Las playas, dunas y acantilados, que ya están experimentando estos efectos erosivos, seguirán siendo afectados por el aumento del nivel del mar y el incremento en la intensidad del oleaje. Los mayores incrementos en la cota de inundación de las playas se observarán en la cuenca Mediterránea, y la subida del nivel del mar intensificará tanto la frecuencia como la intensidad de los eventos extremos de inundación.

Una de las consecuencias más significativas del cambio climático en los sistemas costeros naturales es la pérdida de praderas de Posidonia oceánica. Si el Mediterráneo occidental experimentara un aumento promedio de temperatura de  $3,4 \pm 1,3^\circ\text{C}$  para finales de siglo, la densidad de las praderas de Posidonia disminuiría hasta alcanzar tan solo el 10% de la densidad actual (Iñigo J., Losada Rodríguez, et al., 2014).

### 3.1.3. Escenarios de erosión de la costa valenciana

Como se menciona en el documento “La costa valenciana frente la emergencia climática” (GVA, 2022), la situación de la costa valenciana es compleja, lo que pone en relieve la vulnerabilidad de sus ecosistemas y servicios ambientales. Esta zona costera es especialmente delicada ante los efectos del cambio climático, efectos como el aumento del nivel del mar explicado anteriormente, el incremento de la temperatura superficial del agua, los cambios en las tormentas y las variaciones en el oleaje

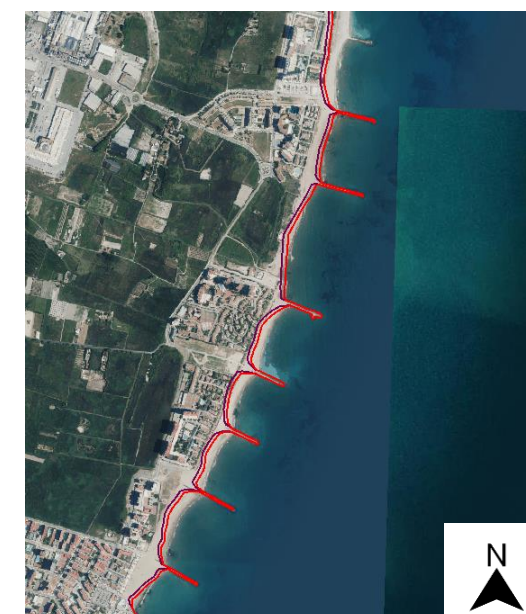


Figura 7. Escenarios de erosión de la línea de costa de El Puig. (Fuente: visor GVA, 2023).



Los escenarios futuros evidencian que la costa valenciana se encuentra en una situación preocupante. Alertan claramente sobre la situación de emergencia del litoral valenciano y de la urgencia existente para tomar medidas que garanticen la sostenibilidad e incrementen la resiliencia ante los efectos del cambio climático. Anteriormente, se ha mostrado una imagen (figura 7) de los escenarios de recesión correspondientes a los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5 para 100 años, para la línea de costa de la playa del Puig.

La introducción de medidas de adaptación, como por ejemplo estructuras arrecifales artificiales que reduzcan la acción erosiva del oleaje, puede contribuir a reducir los impactos y consecuencias generados por el cambio climático en cualquiera de los escenarios considerados anteriormente.

### 3.1.4. Impactos sobre el oleaje

Según Iñigo J., Losada Rodríguez, et al., (2014), el estudio de la tendencia a largo plazo de las mayores olas en la costa desvela que no se han producido cambios significativos en la mayor parte del litoral español. Es cierto que, hoy en día, hay muy pocas estimaciones de cómo cambiarán las olas a lo largo del siglo XXI para los distintos escenarios de cambio climático.

Las proyecciones de altura de ola media muestran una muy ligera disminución en prácticamente todo el litoral español, siendo este patrón más significativo en el Mediterráneo. Hasta el año 2040 el cambio en la altura de ola media es prácticamente nulo, y los escenarios posteriores a ese año muestran que el cambio no es significativo.

Como señala Iñigo J., Losada Rodríguez, et al., (2014), hoy en día los métodos de cálculo están aún en desarrollo, y el debate sobre la necesidad de agregar distintas ejecuciones y modelos o, por el contrario, trabajar con unos pocos está abierto.

## 4. Estimación de vida útil y período de retorno (ROM 0.0)

En este apartado se describirán los procedimientos necesarios para determinar la vida útil de la estructura y el período de retorno, el cual será de vital importancia definir para, posteriormente, caracterizar el oleaje de cálculo de las estructuras a diseñar en este estudio. Todos los conceptos presentados en este apartado se han obtenido a través del “Programa de recomendaciones de obras marítimas (ROM) 0.0-0.1. Procedimiento general y bases de cálculo” (Puertos del Estado, 2000).

1. Se lleva a cabo la estimación del **IRE** o índice de repercusión económica. Para estimar este valor se ha usado la formulación propuesta por la ROM en su apartado 2.7.1.4:

$$IRE = \frac{CRD + CRI}{C_0}$$

Donde:

- $C_0$ : parámetro que en España tiene un valor de 3.000.000 €
- $CRD$ : es el valor de las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra. Al estar en fases preliminares de diseño, se va a estimar que este valor se corresponde con la inversión inicial, la cual se estima que es de aproximadamente 5.000.000 €
- $CRI$ : hace referencia a las repercusiones económicas por cese, destrucción o pérdida de la operatividad de la obra realizada. Se estima con la siguiente ecuación (apartado 2.11.1.4):

$$\frac{CRI}{C_0} = C \times (A + B)$$

- A es el coeficiente de ámbito del sistema productivo al que sirve la obra marítima. En este caso se toma:  $A=1$  ya que la obra afecta a nivel local al destinarse únicamente como protección de la playa del Puig.
- B hace referencia al a la importancia estratégica del sistema económico y productivo al que sirve la obra. En este caso se considera que es irrelevante, y por ello se toma:  $B=1$ .
- C hace referencia a la importancia de la obra para el sistema económico y productivo al que sirve. Se trata de una obra de carácter local que no posee grandes repercusiones para los diferentes sistemas económicos de la zona. Por ello se toma:  $C=1$ , ya que se considera mínimamente relevante.

$$\frac{CRI}{C_0} = 2$$

Después de realizar los cálculos descrito anteriormente se obtiene que el valor del IRE es:

$$IRE = 3.667$$

2. Una vez estimado del IRE, con este valor se determina la vida útil de la obra, sabiendo que este valor será el período de tiempo que la misma este en servicio. La ROM, en su tabla 2.1 define que:

IRE	≤ 5	6 - 20	> 20
Vida útil en años	15	25	50

Figura 8. Vida útil de la obra en función del IRE. (Fuente: ROM 0.0, 2000).

El valor del IRE es menor que 5, por lo tanto, la vida útil del proyecto será de **15 años**:

3. El siguiente paso consiste en estimar la probabilidad conjunta de fallo (apartado 2.10.2 de la ROM). La probabilidad conjunta de fallo en ELU, es decir, la  $P_{f,ELU}$ , debe ajustarse a los valores recomendados de la siguiente tabla:

ISA	< 5	5 - 19	20 - 29	> 30
$P_{f,ELU}$	0.20	0.10	0.01	0.0001
$\beta_{ELU}$	0.84	1.28	2.32	3.71

Figura 9. Probabilidad conjunta de fallo ELU. (Fuente: ROM 0.0, 2000).

Para obtener el valor de esta probabilidad, como se observa en la figura anterior, será necesario definir el valor del ISA (Índice de repercusión social y ambiental), el cual se define en el apartado 2.7.1.6 de la ROM como el sumatorio de tres índices:

- ISA1: es el subíndice de posibilidad y alcance de pérdidas humanas. Según el apartado 2.11.3.1, los valores de este índice varían entre 0 y 20, según si el daño producido puede ser remoto (0) o catastrófico (20). En este caso se toma un valor de 0, ya que la pérdida de vidas humanas es improbable.
- ISA2: es el subíndice de daños en el medio ambiente y patrimonio artístico-histórico. Según el apartado 2.11.3.2, los valores de este índice varían entre 0 y 15, según si el daño producido es remoto (0) o muy alto (15). Se toma un valor de 4, ya que estas obras de protección pueden llegar a producir efectos negativos sobre el medio que quiere protegerse, por lo que se toma un valor reducido para tener en cuenta estos posibles efectos negativos.
- ISA3: es el subíndice de alarma social. Según el apartado 2.11.3.3, los valores de este índice varían entre 0 y 15, según si la alarma social puede ser baja (0) o muy alta (15). En este caso se toma un valor de 0, dado que no se evidencian señales de una posible alarma social relevante relacionada con el colapso de la estructura.

Por tanto, el valor del ISA definido en el apartado 2.7.1.6 de la ROM es de:

Autor: Alejandro García Cárcel

$$ISA = \sum_{i=1}^3 ISA_i = 0 + 4 + 0 = 4$$

Según la figura 9, para un valor de  $ISA < 5$ , la probabilidad conjunta de fallo ( $P_{f,ELU}$ ) es de 0.2.

4. Finalmente, el apartado 7.7.1.1 proporciona la relación entre el riesgo y el período de retorno, una vez conocida la vida útil. Se utilizan estas relaciones ya que son una simplificación en la que se evalúa la seguridad frente los modos de fallo principales. La relación es:

$$P_{n,v} = 1 - [F_x(x)]^V = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^V$$

Figura 10. Relación para la obtención del período de retorno. (Fuente: ROM 0.0, 2000).

Donde:

- $P_{n,v}$ : probabilidad conjunta de fallo = 0.2
- V: vida útil = 15 años

Despejando se obtiene que el período de retorno es de  $T_R = 68$  años, por lo que se aproxima a tomar  $T_R = 75$  años. Finalmente se ha obtenido que:

<b>Período de retorno (<math>T_R</math>)</b>	75 años
<b>Vida útil</b>	15 años

Tabla 1. Vida útil y período de retorno de la obra a proyectar. (Fuente: elaboración propia).

Con el objetivo de comprobar que el cálculo de la vida útil de la estructura es correcto, se ha acudido a la ROM 1.0-09 "Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo" proporcionada por Puertos del Estado (2009). En ella, en la figura 2.2.33, se observa una clasificación de la vida útil mínima en función del tipo de área abrigada. Se comprueba que efectivamente, para obras de defensa de playas, la vida útil de las obras es de 15 años, por lo que se verifica que el cálculo realizado anteriormente es correcto.



## 5. Clima marítimo y propagación del oleaje

Según la definición de la ROM 0.3-91, el clima marítimo es la “caracterización del oleaje en periodos largos de tiempo o descripción estadística de la variación en el dominio del tiempo de los Estados del Mar en un emplazamiento dado” (ROM - *widisper* | *puertos.es*, s. f.-b).

Este apartado tiene como objetivo describir y caracterizar las acciones del oleaje en la zona del hemitómbolo del Puig de manera que se puedan conocer algunos de los condicionantes existentes a la hora de dimensionar y ejecutar las actuaciones correspondientes para la construcción de los arrecifes artificiales.

### 5.1. ESTIMACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TEMPORAL MÁS CONDICIONANTE

Para poder definir las características del oleaje es de vital importancia conocer los factores que generan el mismo. Estos son los siguientes:

- Velocidad del viento
- Superficie sobre la cual actúa el viento. Dato característico que recibe el nombre de FETCH

Es crucial determinar la orientación en la cual la extensión de agua expuesta al viento es mayor, ya que es desde esa dirección que los temporales y las mayores alturas de oleaje se originarán desde esas direcciones. Para identificar estas direcciones, se utiliza la herramienta Google Earth, que nos brinda la capacidad de estimar la longitud aproximada de los Fetch.

DIRECCIÓN	FETCH (KM)
NE	925
SE	550



Figura 11 Identificación de los FETCH más condicionantes. (Fuente: Google Earth, 2023).

Al examinar la tabla y la figura, se puede observar que el área de mayor extensión del FETCH corresponde a la dirección noreste (Obs.pers).

### 5.2. SELECCIÓN DE LA BOYA PARA TOMA DE DATOS

Se muestra a continuación una imagen en la que puede observarse la localización de las distintas boyas y puntos sintéticos (puntos SIMAR) que permiten analizar el oleaje en las costas valencianas.

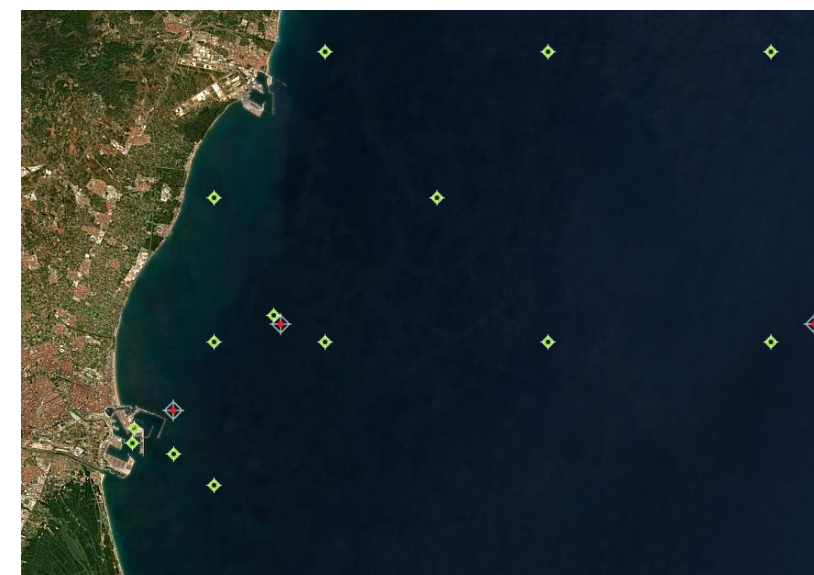


Figura 12. Conjunto de boyas y puntos SIMAR de la costa valenciana. (Fuente: Puertos del Estado, 2022).



Para poder seleccionar la fuente de información que se va a tomar como referencia para el cálculo de las expuestas con anterioridad, es necesario analizar diferentes aspectos y compararlos entre cada una de las boyas y puntos sintéticos. En primer lugar, el tipo de sensor de la boya. La boya de Valencia es de tipo direccional, mientras que la boya Costera de Valencia II es de tipo escalar, por lo que no proporciona información sobre la dirección del oleaje. Los puntos sintéticos (SIMAR - Sistema Integrado de Información del Medio Ambiente Marino) son una serie de puntos de referencia ficticios que se utilizan para representar las condiciones de oleaje en una ubicación específica, las cuales se generan utilizando modelos numéricos y datos históricos de mediciones de oleaje en puntos cercanos (boyas). Estos modelos y datos permiten estimar las características del oleaje, como la altura, la dirección y el periodo de las olas, en el punto sintético. Esta información es útil para realizar predicciones y análisis relacionados con el oleaje en áreas donde no se dispone de mediciones más correctas (mediciones de boyas).

En segundo lugar, el número de años de registro. La boya de Valencia ha estado registrando datos un total de 16 años y 1 mes, mientras que la boya Costera de Valencia II ha estado registrando datos un total de 8 años y 5 meses aproximadamente. Con respecto a la actualidad de los datos se conoce que la boya de Valencia sigue en activo, mientras la boya Costera de Valencia II lleva desde 2013 inactiva

Finalmente se selecciona la boya de Valencia, situada en mar abierto. Esta elección es debido a que la boya proporciona información sobre la direccionalidad del oleaje, tiene más tiempo de registro y tiene unos datos más actualizados. Se trata de una boya que está alejada de la zona de actuación, por lo que será necesario hacer una serie de consideraciones previas a los datos proporcionados por la propia boya para realizar la propagación del oleaje

### 5.2.1. Comprobación de aguas profundas – boya de Valencia

En primer lugar, será necesario comprobar que dicha boya se encuentra en aguas profundas, es decir, que la acción del fondo no tiene efecto sobre el oleaje. Se debe realizar dicha comprobación para poder realizar la propagación del oleaje siguiendo los métodos desarrollados por Airy, G.B. (1845) en cuanto a refracción y asomeramiento. Para ello se comprueba que la profundidad de la boya (260 m) es mayor que cierto valor límite. El valor límite se corresponde con la condición de aguas profundas (off-shore) que se obtiene de la siguiente forma:

$$D_o = \frac{g * T^2}{4\pi}$$

En este caso se ha decidido obtener el valor de  $D_o$  con respecto al valor más limitante, es decir, el mayor valor del período pico ( $T_p$ ). Analizando los datos obtenidos por Puertos del Estado (2022), se comprueba que el mayor período pico se corresponde con el valor de altura de ola asignado a un período de retorno de 500 años. El mayor valor del período del oleaje obtenido es de 15'5 s. Con este valor de  $T_p$  se obtiene que  $D_o = 183$  m, por lo tanto, se cumple que la boya de Valencia se encuentra en aguas profundas ya que:

$$D_{boyavalencia} = 260 \text{ m} > D_o = 183 \text{ m}$$

### 5.3. CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE: RÉGIMEN EXTREMAL

La función de distribución del régimen extremal del oleaje es la encargada de proporcionar la probabilidad de ocurrencia de un estado del mar con vientos de gran intensidad y una determinada altura de riesgo durante un periodo de tiempo específico, también conocido como temporal.

Dado que la seguridad, estabilidad y funcionalidad de cualquier estructura situada en la costa depende en gran medida de la acción del oleaje durante los temporales, es necesario estimar la frecuencia y la probabilidad con la cual se presentan temporales que superan una altura de ola significativa para cada una de las direcciones que afectan a la zona de interés.

Para ello se toma como referencia el régimen extremal proporcionado por Puertos del Estado en su informe climático (Puertos del Estado, 2022) realizado a partir de los datos arrojados por la Boya de Valencia.

Siguiendo los planteamientos presentados por Airy, G.B. (1845) basados en el ajuste de la distribución Weibull, se recopilan los datos de oleaje de la boya de Valencia, que como se ha verificado, se encuentra ubicada en aguas profundas. Posteriormente, se realiza la propagación del oleaje hasta alcanzar la zona del caso práctico, que en el caso que ocupa a este estudio es la zona de la playa del Puig, al norte de Valencia. Dicha propagación se ha llevado a cabo empleando las formulaciones presentadas por M<sup>a</sup> Del Carmen Palomino Monzón et.al (2001). En primer lugar, es fundamental obtener una batimetría general que permita determinar el ángulo de incidencia del oleaje en relación a la misma. De esta manera, se puede realizar la propagación del oleaje considerando la influencia del asomeramiento y la refracción del oleaje.

En este estudio, se han empleado las expresiones de Airy y, mediante el uso de una hoja de cálculo en Excel, se han calculado las longitudes de onda para cada variación de la batimetría, obteniendo así las alturas de las olas en estas diferentes profundidades. Posteriormente este cálculo servirá para definir fácilmente las alturas de ola a distintas profundidades, lo cual a su vez permitirá la posibilidad de desarrollar distintas soluciones en función de la profundidad de diseño del arrecife artificial.

El primer paso para realizar el estudio del clima marítimo es identificar las direcciones de oleaje, lo cual se ha realizado anteriormente. Además, Puertos del estado (2022) en su informe de “Extremos máximos de oleaje por direcciones” define cuales son las principales direcciones del oleaje en la boya de Valencia, los cuales no coinciden exactamente con los definidos en el apartado 5.1 de este mismo anejo, ya que en principio no se había tenido en cuenta el efecto del oleaje en dirección este, sin embargo, se puede observar en la figura 13 como la dirección este es la segunda dirección con una mayor incidencia de oleaje.

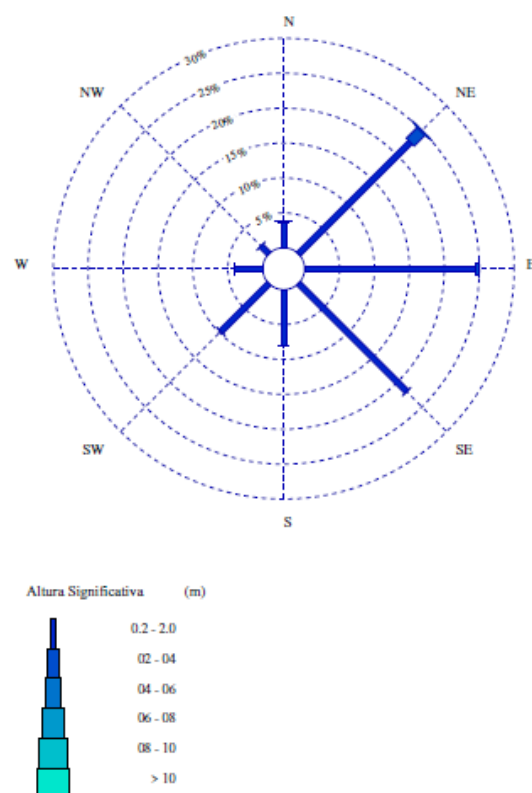


Figura 13. Rosa direccional del oleaje en Boya de Valencia. (Fuente: Puertos del Estado).

En la memoria de datos de la boya de Valencia se incluyen gráficos que muestran la relación entre la altura de ola significativa (Hs) y la probabilidad de excedencia o periodo de retorno, junto con los puntos utilizados para ajustar la función de distribución Weibull. Según las directrices de

Puertos del Estado (2022), la línea central del gráfico representa el ajuste exacto de dicha distribución Weibull, mientras que las líneas superior e inferior del gráfico representan los intervalos de confianza. Estos intervalos proporcionan una medida de la incertidumbre en la estimación central.

Para determinar el valor de la altura de ola de diseño, se opta por utilizar el valor obtenido a través de la distribución Weibull, el cual se corresponde con la estima central.

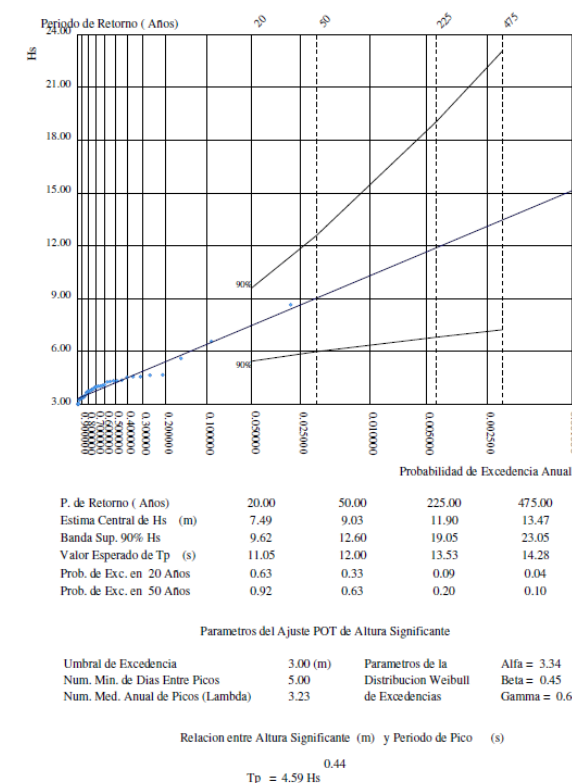


Figura 14. Régimen extremal del oleaje dirección NE. (Fuente: Puertos del Estado, 2022).

En el proceso de propagación del oleaje, es imprescindible considerar dos factores: el ángulo de incidencia del oleaje en relación con la batimetría y el cumplimiento de la condición de aguas profundas. Si la boya se encuentra en aguas profundas, el oleaje puede propagarse directamente hasta la profundidad correspondiente. Como se ha demostrado en el apartado 5.2.1 de este mismo anejo, efectivamente la boya de Valencia se encuentra en aguas profundas por lo que se puede realizar la propagación del oleaje directamente. Una vez conocido el oleaje en aguas indefinidas se realiza la propagación hacia la costa para obtener los valores del oleaje en el área específica objeto de estudio, es decir, la zona de costa de la playa del Puig.

Gracias a los datos proporcionados por Puertos del estado (2022) en su informe de “Extremos máximos de oleaje por direcciones”, se obtienen las siguientes características del oleaje en la

boya (aguas profundas) para el período de retorno calculado en el apartado 4 de este mismo anejo, es decir,  $T_r = 75$  años.

### OLEAJE BOYA DE VALENCIA (AGUAS PROFUNDAS)

Dirección	NE	E
H <sub>so</sub> (m)	9'8	5'6
T <sub>P</sub> (s)	12'5	8'6

Tabla 2. Características oleaje en aguas profundas. (Fuente: elaboración propia, 2023).

#### 5.3.1. Propagación oleaje dirección NE

Hay que tener en cuenta que, para facilitar el cálculo de la propagación del oleaje, se realizará una simplificación al estimar una batimetría lineal y paralela una vez que se ingresa a la plataforma continental.

Se muestra a continuación una imagen de la batimetría general de la costa valenciana en la que se va a definir el ángulo de incidencia del oleaje para la dirección NE. En esta misma imagen se ha remarcado en un cuadro verde la zona de estudio (Playa del Puig) y con un círculo rojo se ha señalado la posición de la boya de Valencia.

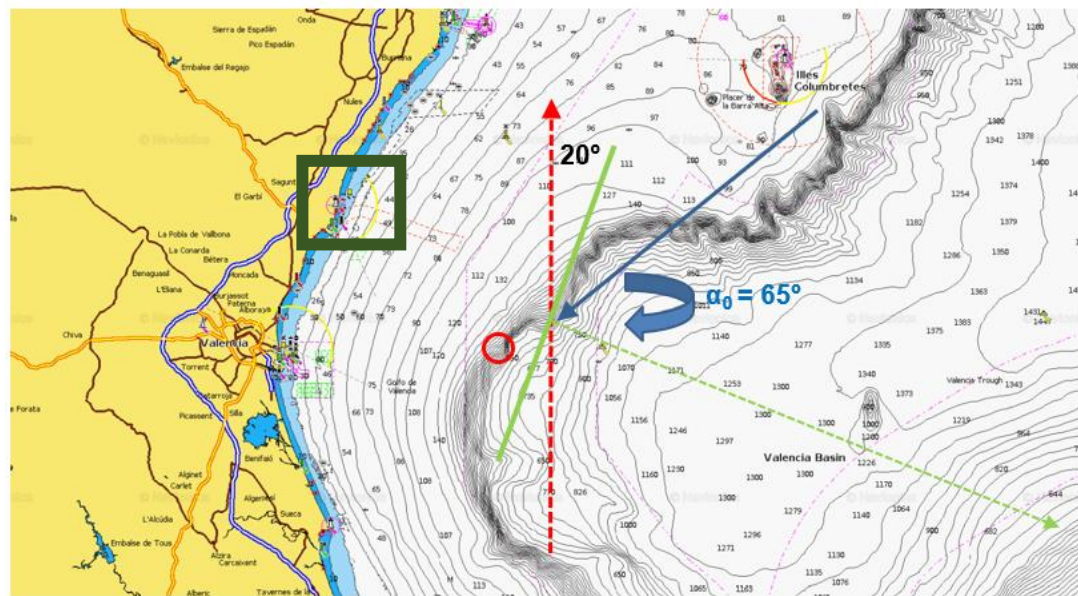


Figura 15. Ángulo de incidencia del oleaje respecto batimétrica dirección NE. (Fuente: elaboración propia, 2023).

Una vez conocido el ángulo de incidencia y usando las alturas de ola y períodos pico de oleaje definidos en la tabla 2 de este anejo, ya se puede llevar a cabo la propagación del oleaje basándose en las formulaciones propuestas por Massel S. (1996). Es importante tener en cuenta que se van a presentar datos de una serie de profundidades ya que todavía no se han definido las posibles soluciones de diseño de arrecifes artificiales, por lo que, al no estar definidas estas soluciones no se sabe exactamente la profundidad a la que se colocarán las piezas del arrecife, por lo que es necesario definir la altura de ola para una serie de profundidades decreciente. A continuación, se muestra una tabla que recoge las alturas de ola obtenidas con la propagación en función de la profundidad.

#### Alturas de ola H<sub>s</sub> (m) – T<sub>r</sub> = 75 años – Dirección NE

Profundidad - d (m)	H <sub>s,propagación</sub>	H <sub>s,fondo</sub>	H <sub>s</sub>
50	7,6	39,0	7,6
30	6,9	23,4	6,9
20	6,7	15,6	6,7
10	6,7	7,8	6,7
5	-	3,9	3,9

Tabla 3. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección NE. (Fuente: elaboración propia, 2023).

Como se puede apreciar en la tabla 3, se ha tenido en cuenta el índice de rotura del oleaje por fondo. El valor de este índice es de 0.78, por lo que las olas con  $H > 0.78 d$  romperán, es decir, la ola más grande que puede haber a una profundidad  $d$  es  $0.78 d$ . Este factor suele ser el que limita las alturas de ola en profundidades reducidas (<20 m), ya que la profundidad hace que la ola rompa antes de alcanzar la altura obtenida con la propagación del oleaje.

#### 5.3.2. Propagación oleaje dirección E

De manera análoga, se realiza el cálculo para el oleaje en dirección E, teniendo en cuenta las mismas consideraciones que en el apartado anterior y sabiendo que será necesario modificar el ángulo de incidencia del oleaje como se puede observar en la siguiente imagen:



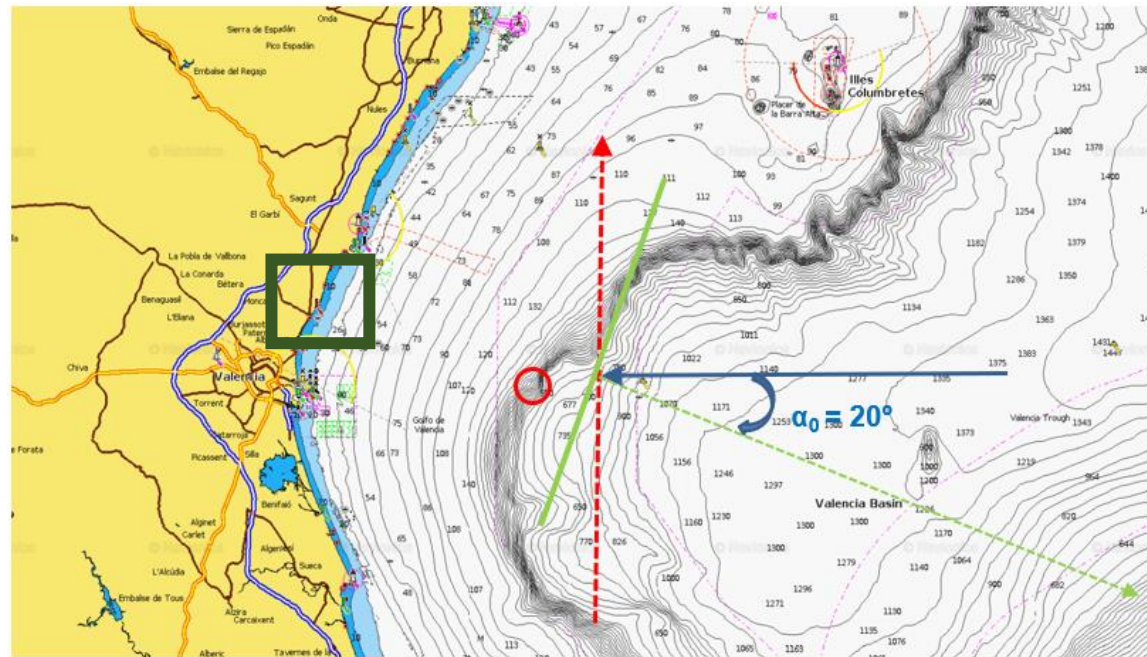


Figura 16. Ángulo de incidencia del oleaje respecto batimétrica dirección E. (Fuente: elaboración propia, 2023).

**Alturas de ola  $H_s$  (m) –  $Tr = 75$  años – Dirección E**

Profundidad - d (m)	$H_{s,propagación}$	$H_{s,fondo}$	$H_s$
50	5,5	39,0	5,5
30	5,2	23,4	5,2
20	5,1	15,6	5,1
10	5,1	7,8	5,1
5	5,1	3,9	3,9

Tabla 4. Alturas de ola de diseño en función de la profundidad -Dirección E. (Fuente: elaboración propia, 2023).

## **ANEJO N°7: ESTUDIO DE SOLUCIONES**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	<b>92</b>
1.1. DEFINICIÓN BÁSICA DEL PROBLEMA A SOLUCIONAR .....	92
<b>2. Introducción al método AHP y selección de criterios</b> .....	<b>92</b>
2.1. CRITERIOS ESCOGIDOS PARA EL ANÁLISIS DE SOLUCIONES .....	93
2.1.1. Determinación de pesos de los criterios seleccionados .....	93
<b>3. Estudio de soluciones: alternativas propuestas</b> .....	<b>95</b>
3.1. ALTERNATIVA Nº1: ESTRUCTURAS ALVEOLARES A BAJA PROFUNDIDAD .....	95
3.2. ALTERNATIVA Nº2: DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA (HLCS).....	98
3.2.1. Cubípodos, ¿qué son? .....	98
3.2.2. HLCS de cubípodos .....	99
3.2.3. Diseño preliminar de la estructura.....	100
3.3. ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES .....	102
<b>4. Valoración de las alternativas propuestas</b> .....	<b>105</b>
4.1. COMPARACIÓN EN FUNCIÓN DEL CRITERIO 1: ECONOMÍA .....	106
4.1.1. Costes de ejecución / construcción .....	106
4.1.2. Costes de mantenimiento y/o conservación.....	107
4.2. COMPARACIÓN EN FUNCIÓN DEL CRITERIO 2: FUNCIONALIDAD .....	107
4.2.1. Beneficios sobre los ecosistemas marinos.....	107
4.2.2. Capacidad de reducción de energía del oleaje .....	108
4.3. COMPARACIÓN EN FUNCIÓN DEL CRITERIO 3: RESILIENCIA .....	111
4.3.1. Capacidad de desmantelamiento .....	111
4.3.2. Seguridad para bañistas y embarcaciones (balizamiento).....	111
<b>5. Alternativa óptima obtenida con el método AHP</b> .....	<b>112</b>
5.1.1. Conclusión del estudio de soluciones .....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura jerárquica de los criterios seleccionados. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	93
Figura 2. Escala fundamental de comparación. (Fuente: Yepes, V., 2018) .....	93
Figura 3. Formulación de índice de consistencia, valor de consistencia y % máximos permitidos. (Fuente: Yepes, V., 2018) .....	94
Figura 4. Resultados de consistencia. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	94
Figura 5. Localización del límite de la zona de baño. (Fuente: Google Earth, 2023) .....	95
Figura 6. Prediseño de la estructura alveolar. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	96
Figura 7. Disposición en bloques de las estructuras alveolares dentro de la zona de baño. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	96
Figura 8. Prediseño de pieza especial que fomenta el crecimiento de fanerógamas. (Fuente: Elaboración propia, 2023) .....	97
Figura 9. Sección trasversal dique exento de baja cota (LCS). (Fuente: Medina J.R, et.al, 2015) .....	98
Figura 10. Cubípedo. (Fuente: Medina, J.R. % Gómez-Martín M.E., 2015).....	98
Figura 11. Acopio de cubípodos. (Fuente: Medina, J.R. & Gómez-Martin, M. E., 2015).....	99
Figura 12. Colocación de cubípodos. (Fuente: Medina, J.R. & Gómez-Martin, M. E., 2015) .....	99
Figura 13. Sección tipo de HCLS de cubípodos. (Fuente: Medina et. al., 2020).....	99
Figura 14. Formulación para el cálculo del número de estabilidad. (Fuente: Medina, J.R. & Gómez-Martín, M. E).....	100
Figura 15. Parámetros de diseño de la malla de colocación y la sección transversal. (Fuente: Lozano Tovar, S., 2021).....	101
Figura 16. Dimensiones habituales de los cubípodos en función del parámetro L. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	101
Figura 17. Malla de colocación de la estructura. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	102
Figura 18. Tamaño final de los cubípodos. (Fuente: plano 5, 2023) .....	102
Figura 19. Sección transversal del diseño del HLCS. (Fuente: plano 5, 2023) .....	102
Figura 20. Dique de pie con unidades Beachsaver. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006).....	103
Figura 21. Sección TCT (Triangular + Cuadrada + Triangular ) con módulos básicos. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006) .....	103
Figura 22. Esquema de asentamiento y socavación del dique modular TCT. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006) .....	104
Figura 23. Configuración T3CT – Ancho de 12,5 metros. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006).....	104
Figura 24. Configuración TCT2 - Altura de 12,5 metros. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006) .....	104
Figura 25. Prediseño de configuración TCT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6, 2023). .....	105



Figura 26. Prediseño de configuración T2CT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6, 2023) ..... 105

Figura 27. Vectores velocidad. (Fuente: Campo C., et.al, 2018). ..... 109

Figura 28. Coeficientes de transmisión de geometías básicas -  $h=2.8$  m y  $D=3$  m. (Fuente: Campo C. et.al., 2018) ..... 109

Figura 29. Relación entre  $K_t$  y  $R_c/H_m$ . (Fuente: Lozano Tovar, S., 2021)..... 109

Figura 30. Parámetros de diseño de red neuronal estructura TCT. (Fuente: Medina, J.R et.al, 2006) ..... 110

Figura 31. % energía transmitida, disipada y reflejada. (Fuente: Medina, J.R et.al, 2006)..... 110

Figura 32. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 2.2. (Fuente: propia, 2023) ..... 110

Figura 33. Puntuaciones de las alternativas - Alternativa idónea. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 112

Tabla 13. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 2.1. (Fuente: propia, 2023) ..... 108

Tabla 14. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 2.1. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 108

Tabla 15. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 3.1. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 110

Tabla 16. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 3.1. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 111

Tabla 17. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 3.1. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 111

Tabla 18. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 3.2. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 112

Tabla 19. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 3.2. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 112

Tabla 20. Matriz de valoración de las alternativas en función de los subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023)..... 112

Tabla 21. Puntuación final de las alternativas: definición de alternativa óptima. (Fuente: elaboración propia, 2023)..... 112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de comparación pareada para ponderación de criterios. (Fuente: elaboración propia, 2023)..... 93

Tabla 2. Definición de los pesos de los criterios y subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 94

Tabla 3. Principales ventajas y desventajas de la alternativa 1. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 97

Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de la alternativa 2. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 100

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de la alternativa 3. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 105

Tabla 6. Análisis del coste de la alternativa 1. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 106

Tabla 7. Análisis del coste de la alternativa 2. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 106

Tabla 8. Análisis del coste de la alternativa 3. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 107

Tabla 9. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 1.1. (Fuente: elaboración propia, 2023)..... 107

Tabla 10. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 1.1. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 107

Tabla 11. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 1.2. (Fuente: elaboración propia, 2023)..... 107

Tabla 12. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 1.2. (Fuente: elaboración propia, 2023) ..... 107

## 1. Introducción

El objetivo fundamental de este anejo es presentar una serie de alternativas que den solución al problema planteado en este estudio. Las soluciones propuestas en este anejo han sido analizadas y diseñadas para el caso práctico del hemitómbolo del Puig (Valencia) en el que se buscará la restitución del efecto reductor de la energía del oleaje ejercido por las praderas de Posidonia oceánica degradadas para evitar lo máximo posible las posibles erosiones que puedan generarse sobre la línea de costa y, también, como objetivo principal se ha definido la capacidad de mejora sobre los ecosistemas marinos que poseen las alternativas planteadas.

En primer lugar, se realizará una breve introducción del método que se va a utilizar en este estudio para definir la selección de la alternativa idónea. Esta selección se realizará en base a una serie de criterios preestablecidos, los cuales se definirán en este mismo anejo (método AHP – Proceso Analítico Jerárquico). Una vez definido el método, se procederá a ponderar los criterios y subcriterios seleccionados con el objetivo de obtener el peso/importancia que tiene cada uno de ellos a la hora de escoger la solución óptima de las que se plantearán en este anejo.

### 1.1. DEFINICIÓN BÁSICA DEL PROBLEMA A SOLUCIONAR

Como se ha definido en el Anejo N°1 “Antecedentes y objeto del estudio” el objetivo principal de este estudio es abordar los desafíos actuales y futuros de la ingeniería costera relacionados con la regeneración de las praderas de Posidonia oceánica degradadas y la reducción de la energía del oleaje. Se propone un enfoque integral basado en la construcción de estructuras arrecifales artificiales, con el fin de restaurar los servicios ecosistémicos perdidos debido a la degradación de ciertos hábitats marinos.

En la actualidad, muchas playas mediterráneas están experimentando un retroceso significativo debido a diversos factores, como barreras artificiales litorales y fluviales que interrumpen el flujo de sedimentos o la degradación de las praderas de Posidonia oceánica, entre otras. Se prevé que el calentamiento global y el aumento del nivel del mar en las próximas décadas agraven aún más la erosión costera en estas áreas (Obs.pers.).

En este contexto, el estudio propuesto busca brindar soluciones sostenibles a estos desafíos en el ámbito de la ingeniería costera, considerando especialmente el escenario futuro de aumento significativo del nivel del mar, los procesos erosivos en curso, el cambio climático y la

degradación de los ecosistemas marinos. Teniendo todo esto en cuenta, mediante la implementación de estructuras arrecifales artificiales se busca restituir el efecto de reducción de la energía del oleaje ejercido anteriormente por las praderas de Posidonia oceánica con estructuras artificiales arrecifales que favorezcan además el aumento de biodiversidad marina proporcionando así una protección costera efectiva y sostenible.

## 2. Introducción al método AHP y selección de criterios

El objetivo del siguiente apartado es presentar una serie de criterios los cuales han sido seleccionados con el fin de determinar la opción más adecuada para el diseño de arrecifes artificiales que tengan como objetivo regenerar las praderas de Posidonia oceánica degradadas y dotar de cierta rugosidad al fondo marino con el propósito de reducir la energía del oleaje y, por tanto, evitar posibles recesiones en la línea de costa.

Para llevar a cabo este análisis multicriterio, se empleará el método conocido como Proceso Analítico Jerárquico (AHP), desarrollado por el profesor Thomas L. Saaty en los años 70. Según esta metodología la cual ha sido también descrita por Yepes, V (2018), el AHP permite la selección de alternativas en función de una jerarquía de criterios que a menudo entran en conflicto. En esta estructura jerárquica, el objetivo final se encuentra en el nivel superior, mientras que los criterios y subcriterios se sitúan en los niveles inferiores. Para garantizar la eficacia del método, Yepes, V (2018) señala la importancia de seleccionar criterios y subcriterios de manera precisa, asegurándose de que sean relevantes y mutuamente excluyentes, es decir, que sean independientes entre sí.

En definitiva, como menciona García Cárcel, A. (2021), se trata de una matriz de comparación por pares, donde se determina la preferencia relativa de un concepto respecto a otro, y además permite indicar la intensidad de dicha preferencia según la escala. A continuación, se enumeran algunas de las principales ventajas de utilizar AHP en los procesos de toma de decisiones:

- Facilita la reflexión
- Considera todas las alternativas
- Ayuda a estructurar el razonamiento
- Verifica su consistencia
- Permite alcanzar un resultado objetivo y fiable.

## 2.1. CRITERIOS ESCOGIDOS PARA EL ANÁLISIS DE SOLUCIONES

A continuación, se van a definir y explicar los criterios y subcriterios que van a ser utilizados para realizar el análisis de alternativas con el método AHP. Esta serie de criterios y subcriterios debe estar ordenada siguiendo un esquema jerárquico, ya que el método así lo precisa, por tanto, será necesario realizar dicha organización. Los criterios que finalmente se han definido son los siguientes:

- **Criterio 1: ECONÓMICO**
  - o **Subcriterio 1.1:** costes de ejecución / construcción
  - o **Subcriterio 1.2:** costes de mantenimiento y/o conservación
- **Criterio 2: FUNCIONAL**
  - o **Subcriterio 2.1:** beneficios sobre los ecosistemas marinos
  - o **Subcriterio 2.2:** capacidad de reducción de energía del oleaje
- **Criterio 3: RESILIENCIA Y ADAPTABILIDAD AL MEDIO**
  - o **Subcriterio 3.1:** capacidad de desmantelamiento
  - o **Subcriterio 3.2:** seguridad para bañistas y embarcaciones (balizamiento)

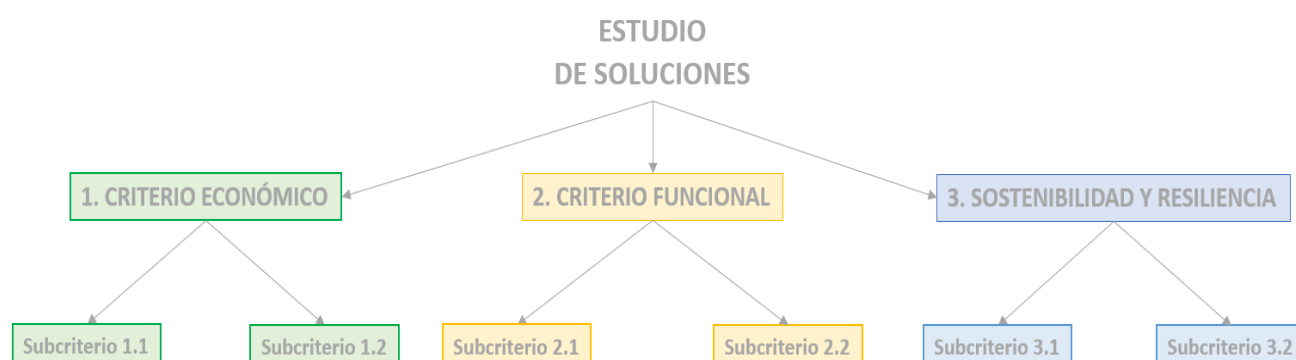


Figura 1. Estructura jerárquica de los criterios seleccionados. (Fuente: elaboración propia, 2023)

### 2.1.1. Determinación de pesos de los criterios seleccionados

Una vez establecida la estructura jerárquica que se va a utilizar para realizar el estudio de soluciones, como menciona García Cárcel, A. (2021), se procede a la comparación de los criterios dentro de cada grupo del mismo nivel y se realiza una evaluación directa en pares de las alternativas según los criterios del nivel inferior. Para llevar a cabo esta comparación, se emplean matrices de comparación pareadas utilizando una escala de referencia fundamental. En el presente estudio, la escala de referencia se encuentra definida en la tabla que se muestra a continuación:

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Figura 2. Escala fundamental de comparación. (Fuente: Yepes, V., 2018)

Utilizando la escala de comparación proporcionada en la figura 2 se realiza la ponderación de los criterios para determinar su importancia relativa en comparación con los demás. Este proceso permite establecer la matriz de comparación pareada o matriz de decisión mencionada previamente, la cual adopta la siguiente configuración:

		CRITERIO ECONÓMICO		CRITERIO FUNCIONAL		RESILIENCIA Y ADAPTABILIDAD	
		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
CRITERIO ECONÓMICO	1.1	1,00	5,00	2,00	1,00	1,00	5,00
	1.2	0,20	1,00	0,15	0,15	0,20	2,00
CRITERIO FUNCIONAL	2.1	0,50	6,67	1,00	0,75	0,50	5,00
	2.2	1,00	6,67	1,33	1,00	1,00	5,00
RESILIENCIA Y ADAPTABILIDAD	3.1	1,00	5,00	2,00	1,00	1,00	4,00
	3.2	0,20	0,50	0,20	0,20	0,25	1,00

Tabla 1. Matriz de comparación pareada para ponderación de criterios. (Fuente: elaboración propia, 2023)



De acuerdo con Yepes, V (2018), esta matriz debe cumplir con las propiedades de coherencia, lo cual implica que no debe haber contradicciones en las valoraciones realizadas. La coherencia se logra a través del uso del índice de coherencia (CI), donde  $\lambda_{max}$  representa el autovalor máximo y  $n$  representa la dimensión de la matriz de decisión, que en este caso es de seis filas por seis columnas ( $n=6$ ). Una vez obtenido el valor de CI, se calcula la proporción de coherencia (CR). Se considera aceptable si no excede los valores establecidos en la figura 3. Si el CR máximo se supera en una matriz, sería necesario revisar las ponderaciones para garantizar la coherencia de la matriz de ponderación pareada.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

Figura 3. Formulación de índice de consistencia, valor de consistencia y % máximos permitidos. (Fuente: Yepes, V., 2018)

El valor del RI (Random Index) se refiere al índice aleatorio que indica la consistencia de una matriz generada de manera aleatoria. Como se puede observar en la figura anterior este valor no puede superar el valor de 0.1 ya que la matriz de comparación es de 8 x 8 (mayor de 5). El valor de este índice se calcula utilizando la siguiente fórmula que aparece en la figura 4. En esta misma figura también pueden observarse los cálculos realizados para la matriz de comparación presentada en la tabla 1:

$$R_{ci} = \frac{1.98 * (n - 2)}{n}$$

<b>Ci=</b>	<b>0.01879734</b>	
<b>Rci=</b>	1,32	
<b>CR=</b>	0,0142	Consistente

Figura 4. Resultados de consistencia. (Fuente: elaboración propia, 2023)

El valor del CR en este caso es menor al límite del 10% establecido en la figura 3 para matrices con una dimensión mayor a 5 (en el caso de este estudio  $n = 6$ ). Esto indica que la matriz es consistente y por tanto se puede proceder con el análisis de las alternativas que se han presentado en este anejo. Una vez realizada la comprobación de consistencia de la matriz, se calcula el vector propio de la misma, el cual permite determinar los pesos asignados a cada uno de los subcriterios establecidos al inicio del apartado 2.1 de este mismo anejo. Los pesos correspondientes a cada subcriterio se detallan a continuación:

	PESOS (%)
Subcriterio 1.1: Costes de ejecución/construcción	25,01
Subcriterio 1.2: Costes de mantenimiento y/o conservación	4,55
Subcriterio 2.1: Beneficios sobre los ecosistemas marinos	17,69
Subcriterio 2.2: Reducción de energía del oleaje	24,53
Subcriterio 3.1: Capacidad de desmantelamiento	24,10
Subcriterio 3.2: Seguridad para bañistas y embarcaciones (balizamiento)	4,12

	PESOS (%)
Criterio 1. ECONÓMICO	<b>29.56</b>
Criterio 2. FUNCIONAL	<b>42.22</b>
Criterio 3. RESILIENCIA Y ADAPTABILIDAD AL MEDIO	<b>28.22</b>

Tabla 2. Definición de los pesos de los criterios y subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023)

### 3. Estudio de soluciones: alternativas propuestas

A continuación, se van a definir las diferentes alternativas propuestas en este estudio. Hay que tener en cuenta que en el caso particular en el que se va a desarrollar este proyecto (playa del Puig), con los datos extraídos del Atlas de las praderas marinas de España (Instituto Español de Oceanografía), se observa que el último reducto de pradera de Posidonia oceánica se encuentra al NE, a una profundidad entre 14 y 17 metros. En la actualidad esta pradera presenta una escasa cobertura y densidad. Se encuentran también algunas manchas aisladas en profundidad hasta fondos de 25 metros.

Es de vital importancia recordar la localización de estas praderas, aunque el principal objetivo es restituir artificialmente estas praderas, no regenerarlas. Como se mostrará a continuación, existen ciertas ventajas de disponer estructuras arrecifales a profundidades reducidas (inferiores a los 5 metros), sobre todo en la reducción de la energía del oleaje, sin embargo, si se colocan las estructuras a baja profundidad estas no tendrán ningún efecto para la regeneración de las praderas de Posidonia oceánica.

Por tanto, queda patente que las distintas alternativas presentan una serie de ventajas y desventajas, sobre todo si se realiza una comparación por pares de las alternativas (comparación entre ellas). Por ello, en el apartado anterior se han definido con claridad los criterios y subcriterios para valorar las alternativas, ya que se busca tener en cuenta estas ventajas y desventajas que pueden presentar.

#### 3.1. ALTERNATIVA Nº1: ESTRUCTURAS ALVEOLARES A BAJA PROFUNDIDAD

Como se ha mencionado anteriormente en la introducción del apartado 3, la profundidad de colocación de las piezas es fundamental, ya que definirá la influencia que tendrá la estructura sobre el oleaje y también definirá si se protegen o no las praderas de Posidonia oceánica. En este caso se ha decidido disponer las estructuras arrecifales a baja profundidad, en concreto dentro de la zona de baño de 200 metros desde la línea de costa. Con esto, es previsible que se consiga una notable reducción de la energía del oleaje que llega a la costa y, a su vez, se reduce la erosión de la línea de costa. Como puede observarse en la siguiente figura (figura 5) el límite de la zona de baño, localizado a 200 metros de la línea de costa, se corresponde aproximadamente con la batimétrica de 4 metros de profundidad.

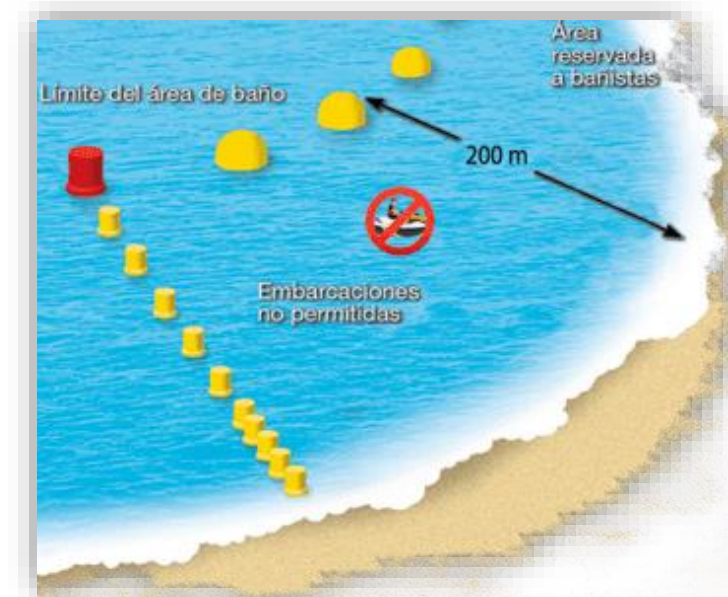
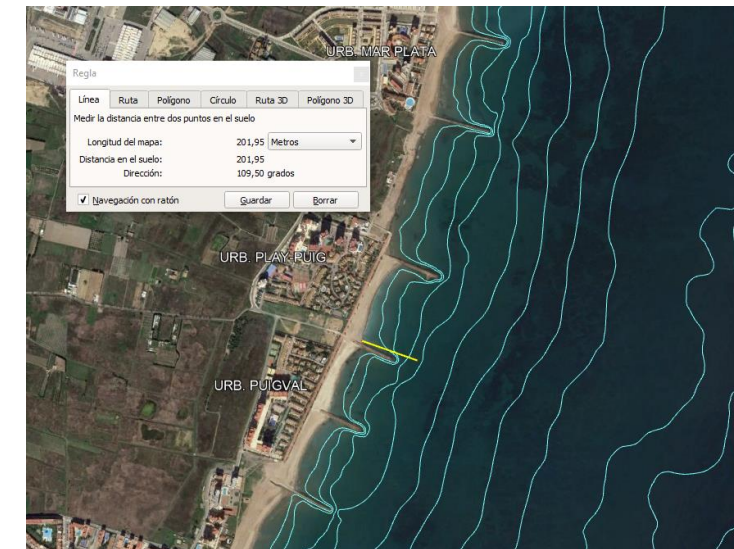


Figura 5. Localización del límite de la zona de baño. (Fuente: Google Earth, 2023)

Como se ha mencionado en la introducción de este apartado, en la zona que afecta al hemitómbolo de el Puig, las praderas de Posidonia oceánica se sitúan aproximadamente a una profundidad de entre 15 y 25 metros, por lo que el efecto de regeneración de las praderas de esta alternativa sería prácticamente nulo. Por ello, para fomentar la creación de ecosistemas marinos y mejorar la biodiversidad marina en la zona en defecto de proteger y regenerar las praderas de Posidonia, se ha decidido utilizar módulos arrecifales alveolares, los cuales están prefabricados en hormigón. Estas estructuras cuentan con una serie de orificios que favorecen la colonización de las estructuras por las especies marinas.

En la clasificación de los arrecifes artificiales realizada en el “Anejo Nº1 Antecedentes y objeto del estudio”, este tipo de estructuras se clasifican dentro del tipo: arrecifes artificiales para la



creación de ecosistemas / pesqueros / reproducción. Se muestra a continuación un prediseño de la tipología de piezas a disponer para la construcción del arrecife, las cuales tendrán una altura aproximada de dos metros y medio (consultar el plano 4 de este estudio en el que aparecen las dimensiones de esta tipología e piezas).

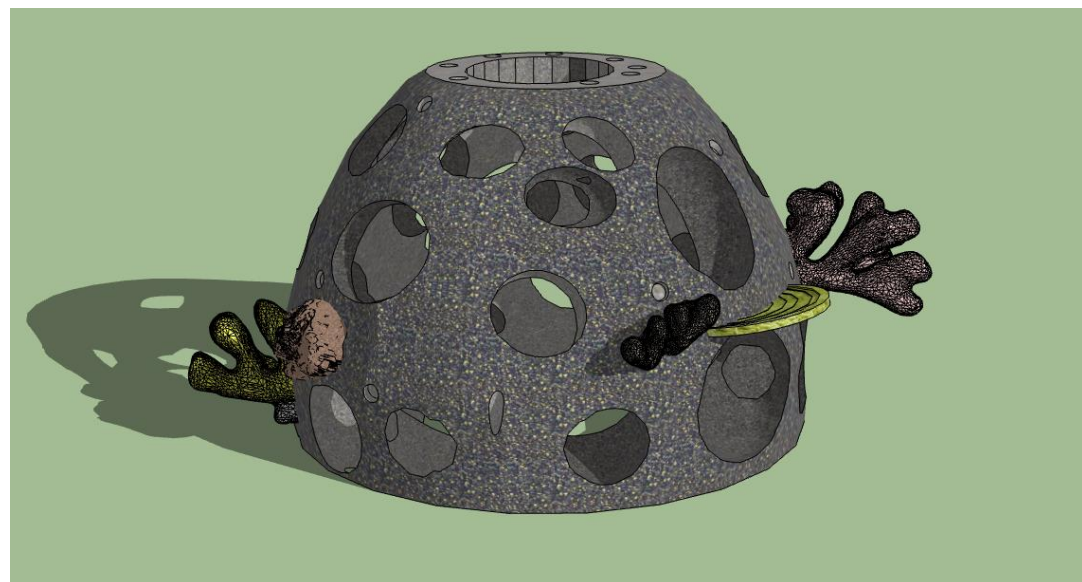


Figura 6. Prediseño de la estructura alveolar. (Fuente: elaboración propia, 2023)

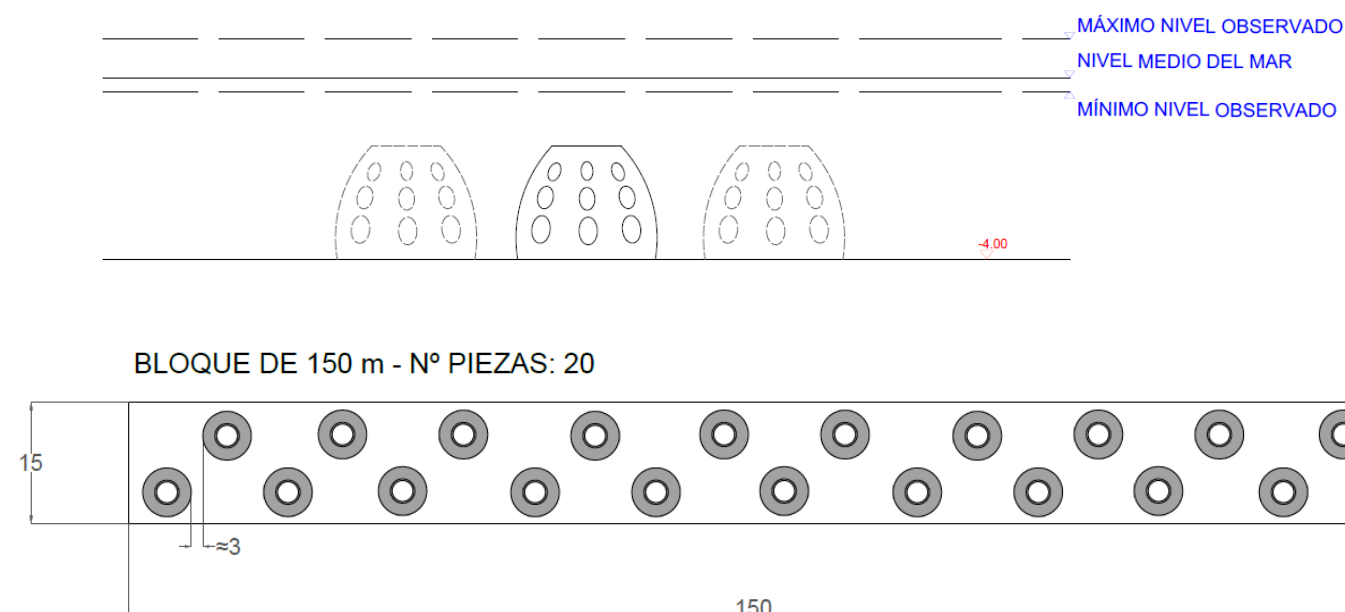
Es importante tener en cuenta, desde el inicio, el proceso constructivo que se va a seguir para definir la obra. En este caso, la profundidad tan reducida presenta serios problemas logísticos, ya que se necesitarían embarcaciones con calados muy reducidos, inferiores a los dos metros, ya que una vez dispuestas las piezas, la embarcación debe poder maniobrar sin problemas para manipular las piezas en caso de ser necesario. El planteamiento de construcción por vía terrestre se presenta complicado, no por su complejidad, sino por el coste que conlleva, ya que la superficie a ocupar por las estructuras para proteger completamente el hemitómbolo del Puig es muy elevada, lo cual provocaría un aumento excesivo de los costes de construcción.

A continuación, se va a mostrar una imagen en la que se define la localización aproximada de dichas estructuras, teniendo en cuenta, como comenta Luque et al., (2001) que los arrecifes más aislados tienden a ser más efectivos para aumentar la complejidad y el tamaño de la comunidad marina. La zona de actuación se corresponde con la zona donde actualmente existen espigones transversales. Los distintos módulos están compuestos por aproximadamente 20 piezas y la separación entre bloques es de entre 100 y 200 metros aproximadamente. En caso de que esta alternativa resulte ser la óptima, se realizará un diseño más detallado de la solución final.



Figura 7. Disposición en bloques de las estructuras alveolares dentro de la zona de baño. (Fuente: elaboración propia, 2023)

A continuación, se va a mostrar una imagen en la que se define la sección transversal de esta alternativa y la distribución en planta de las piezas dentro de los bloques que se han definido en la figura 7 de este mismo anejo. Se recomienda visualizar los planos correspondientes al diseño de esta alternativa para visualizar con mayor detalle las características principales del diseño que se ha llevado a cabo.





Con el objetivo de mejorar el crecimiento de ecosistemas marinos y fomentar el desarrollo de especies que de alguna forma suplan la degradación de las praderas de Posidonia, se ha incluido como concepto, la posibilidad de diseñar una serie de piezas especiales en las que se incluya en la propia estructura los medios necesarios para la plantación de fanerógamas marinas, las cuales, como se vio en el “Anejo N°1: Antecedentes y objeto de estudio” desarrollan una serie de raíces que permiten estabilizar la playa sumergida. Se muestra una imagen (ver figura 8) con un prediseño de este concepto.

Por último, se ha definido una tabla en la que se pueden observar las principales ventajas e inconvenientes de esta alternativa, la cual también se muestra a continuación.

VENTAJAS	ICONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de energía del oleaje y por tanto reduce la recesión de la línea de costa</li> <li>• No precisa de balizamiento ya que se encuentra dentro de la zona de baño</li> <li>• Reclamo turístico para el buceo</li> <li>• Facilidad para su desmantelamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas logísticos para su construcción por vía marítima debido a la baja profundidad</li> <li>• Construcción de los módulos alveolares complicada debido a la complejidad del encofrado</li> <li>• Volumen de elementos elevado</li> </ul>

Tabla 3. Principales ventajas y desventajas de la alternativa 1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

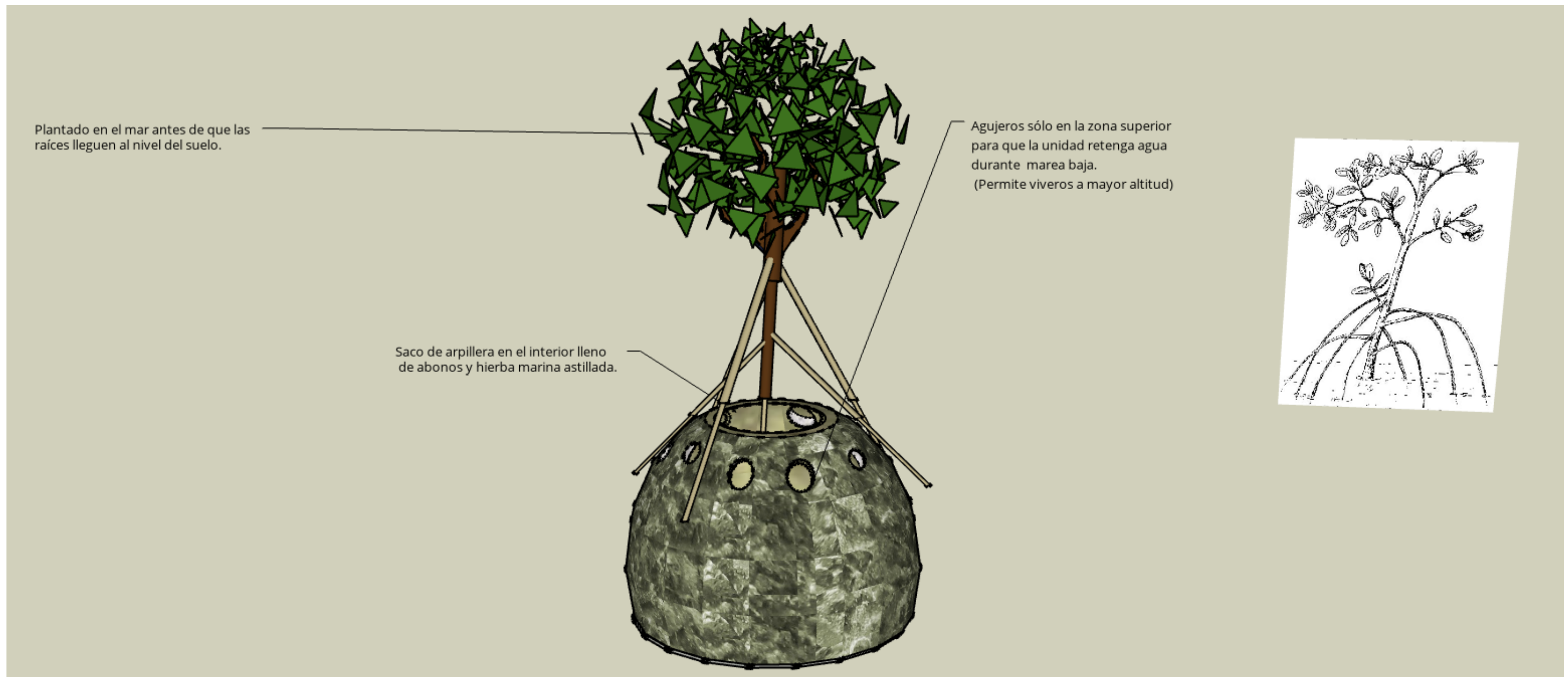


Figura 8. Prediseño de pieza especial que fomenta el crecimiento de fanerógamas. (Fuente: Elaboración propia, 2023)

### 3.2. ALTERNATIVA Nº2: DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA (HLCS)

Las estructuras de baja cota (LCS) son comúnmente empleadas como barreras costeras para la protección y estabilización de playas, simulando a los diques exentos. Los diques homogéneos de baja cota de coronación (HLCS) son una forma de estructura marítima que ofrece diversas ventajas en términos de protección costera ya que disipan parte de la energía del oleaje y promueven la conservación y regeneración de los ecosistemas marinos.

Las estructuras de baja cota de coronación, también conocidas como LCS (Low-Crested Structures), son elementos marítimos utilizados para defender la costa. Estas estructuras se caracterizan por tener una altura cercana al nivel del mar y permitir el paso parcial del oleaje. Su aplicación principal se encuentra en la protección de áreas costeras y en la creación de zonas protegidas con cierto grado de oleaje.

Existen diferentes tipos de LCS, los cuales varían en función de los materiales utilizados en su construcción en primer lugar, y de su altura, en segundo. Su sección transversal suele tener forma trapezoidal con distintas inclinaciones, y pueden incluir una plataforma adicional que incrementa la estabilidad en caso de erosión del fondo.

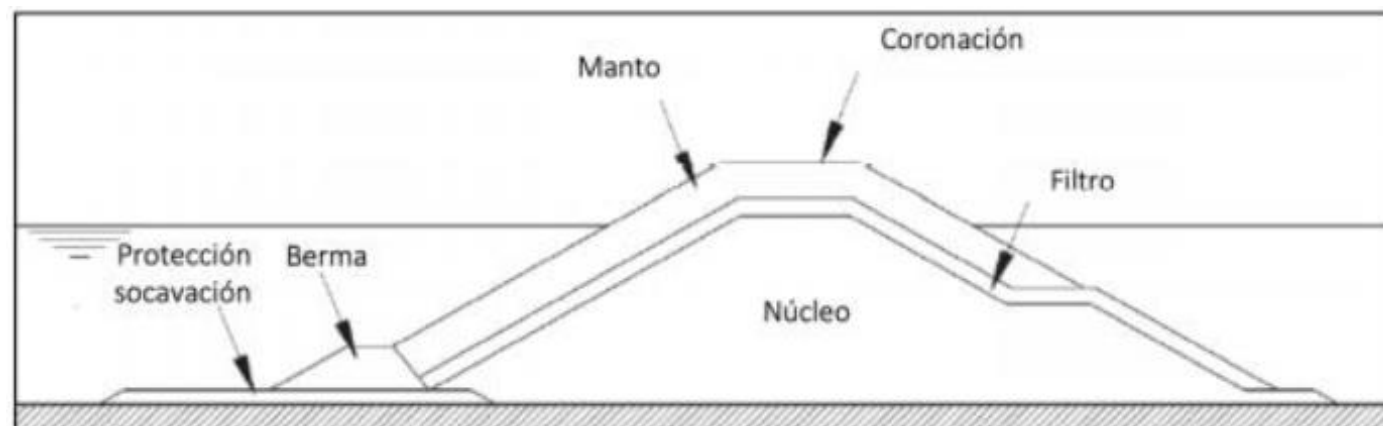


Figura 9. Sección trasversal dique exento de baja cota (LCS). (Fuente: Medina J.R, et.al, 2015)

Las HLCS (Homogeneous Low-crested Structures) son estructuras formadas por un solo material que se emplean principalmente como diques exentos para proteger y estabilizar playas. Por lo tanto, cumplen las mismas funciones que los diques exentos, como reducir la energía del oleaje y crear áreas resguardadas, modificar la morfología de las playas para su estabilización, prevenir la regresión de la línea costera y influir en la dinámica litoral.

#### 3.2.1. Cubípodos, ¿qué son?

El Cubípodo es un elemento prefabricado de hormigón diseñado en el LPC-UPV por Josep R. Medina y M.E. Gómez Martín para la formación de estructuras marítimas de defensa de la costa, tales como diques en talud, diques longitudinales, espigones o diques exentos. Se trata de un elemento de forma cúbica con una serie de protuberancias de forma tronco piramidal en sus caras con el objetivo de evitar el acoplamiento o aumentar la trabazón entre elementos (Medina, J.R. & Gómez-Martín, M.E., 2015).



Figura 10. Cubípodo. (Fuente: Medina, J.R. % Gómez-Martín M.E., 2015)

Los elementos de hormigón comúnmente utilizados exhiben una alta resistencia estructural pero una baja estabilidad hidráulica (Medina, J.R. & Gómez-Martín, M.E., 2015). El Cubípodo surge como una solución intermedia que busca equilibrar estas características, es decir, es una pieza que ofrece una mayor estabilidad hidráulica sin comprometer su resistencia.

Para aumentar la estabilidad, los Cubípodos incorporan protuberancias en todas sus caras, lo que mejora el encaje entre las piezas. Esto les confiere un comportamiento más flexible frente a las fuerzas del oleaje, al tiempo que mantienen una resistencia estructural similar a la de un cubo convencional.

En resumen, el Cubípodo conserva las ventajas de las piezas de hormigón masivas, como una robustez estructural elevada y resistencia al oleaje debido a su peso propio. Al mismo tiempo, supera sus limitaciones al incrementar la estabilidad hidráulica frente al oleaje (debido a un aumento de la trabazón entre piezas) y permite una disposición aleatoria. Además, también mantiene las ventajas logísticas de los cubos, como la facilidad de fabricación, almacenamiento, manipulación y colocación (Obs.pers.).



Una de las principales ventajas que ofrece el cubípodo es la facilidad de construcción de esta tipología de piezas. Su fabricación se realiza utilizando un encofrado vertical diseñado específicamente para optimizar la eficiencia de producción, lo que resulta en una reducción de costos y espacio requerido, lo que hace que el Cubípodo sea altamente competitivo. El proceso de fabricación es simple y altamente eficiente (Medina, J.R. & Gómez-Martín, M.E., 2015).

Gracias a su forma cúbica con protuberancias, los Cubípodos pueden apilarse en múltiples niveles de altura, lo que permite un almacenamiento compacto en áreas reducidas. En el parque de fabricación, se utilizan pinzas de doble presión para manipularlos.



Figura 11. Acopio de cubípodos. (Fuente: Medina, J.R. & Gómez-Martín, M. E., 2015)

Finalmente, la colocación de los Cubípodos se lleva a cabo utilizando pinzas simples de presión. La colocación de las piezas es totalmente aleatoria, por tanto no es necesario que cada una de las piezas tenga una orientación específica con respecto a las demás, lo que significa que no se requiere de buzos ni mano de obra especializada para esta tarea. Para indicar la posición exacta de la malla de colocación, se utiliza un sistema de posicionamiento GPS ubicado en la pluma de la grúa. Los rendimientos de instalación suelen oscilar entre 8 y 12 Cubípodos por hora (Medina, J.R. & Gómez-Martín, M.E., 2015).



Figura 12. Colocación de cubípodos. (Fuente: Medina, J.R. & Gómez-Martín, M. E., 2015)

### 3.2.2. HLCS de cubípodos

Se trata de estructuras con una elevada porosidad ya que no presentan un núcleo formado por materiales impermeables. Las HLCS (Homogeneous Low-Crested Structures) formadas por Cubípodos son una solución para proteger los ecosistemas marinos en áreas donde el turismo de sol y playa es una actividad económica relevante (Odériz et al., 2018). El cambio climático y las actividades humanas han causado la degradación y vulnerabilidad de estos ecosistemas costeros, por lo tanto, el uso de estas estructuras puede solucionar el creciente problema de la recesión de la línea de costa

Estas HLCS pueden emplearse como diques exentos, brindando protección a las playas de manera similar a los diques convencionales pero con un menor impacto ambiental, considerándose infraestructuras amigables con el entorno. Además, promueven la colonización marina y aumentan la biodiversidad (Odériz et al., 2018). Estas estructuras están diseñadas para ser estáticamente estables, sin presentar movimientos significativos durante los temporales, a diferencia de los diques arrecife definidos por Ahrens (1987), que son dinámicamente estables y experimentan grandes movimientos durante los temporales.

Según Odériz et al. (2018), las HLCS de Cubípodos se presentan como una solución para abordar la erosión costera, teniendo en cuenta la estética del paisaje, la biodiversidad de los arrecifes y el cambio climático. Por su parte, Medina et al. (2019) han estudiado las HLCS de Cubípodos con diferentes configuraciones de capas como una solución para la regeneración de los ecosistemas coralinos en declive.

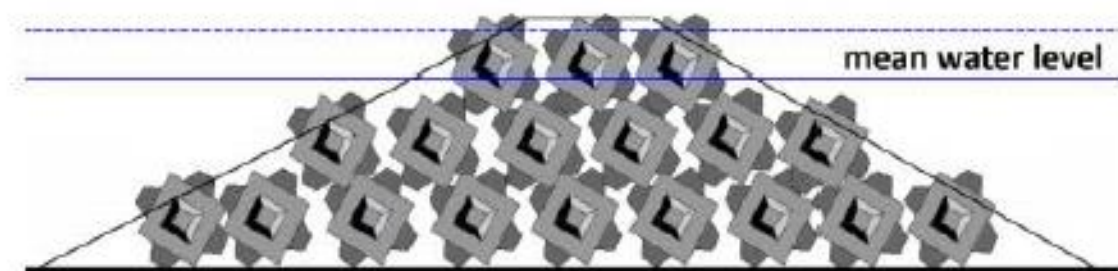


Figura 13. Sección tipo de HLCS de cubípodos. (Fuente: Medina et. al., 2020)

La función principal de las HLCS es la protección de playas, la cual se basa en la transmisión del oleaje y la disipación de energía del mismo. Según Medina et al. (2019), se observó que las HLCS tenían un coeficiente de transmisión mayor que las LCS convencionales debido a su mayor permeabilidad. Es importante destacar que la energía reflejada y disipada aumenta con el



francobordo, por lo tanto, un diseño adecuado de las HLCS requiere una estimación precisa de su cota de coronación, que está directamente relacionada con el francobordo.

VENTAJAS	ICONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran reducción de la energía de oleaje</li> <li>• Mitigación de problemas de erosión costera</li> <li>• Estabilización de playas y control de corrientes litorales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisa de campaña de balizamiento si se coloca a una profundidad &gt; 4 m</li> <li>• Consumo de hormigón muy elevado ya que el volumen de piezas es considerable</li> <li>• Escaso control sobre especies colonizadoras y beneficios reducidos para creación de ecosistemas en comparación con alternativa nº1</li> <li>• Desmantelamiento complejo debido al elevado volumen de piezas</li> </ul>

Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de la alternativa 2. (Fuente: elaboración propia, 2023)

### 3.2.3. Diseño preliminar de la estructura

Para la realización del diseño preliminar de la estructura HLCS se va a utilizar como referencia principal el Trabajo Final de Master realizado por Lozano Tovar, S. (2021), con el título: “Estudio de transmisión de oleaje para el diseño de diques arrecife homogéneos de Cubípodos. Aplicación a la protección del litoral del Parque Nacional de Corcovado (Costa Rica).”

Lo primero y más importante es definir los criterios principales con los que se diseñan este tipo de estructuras, que en este caso serán: profundidad, altura de ola de diseño, tamaño de los cubípodos, malla de colocación y criterios de avería. Estos últimos hacen referencia a que la evaluación de las averías de las estructuras expuestas a la acción del oleaje se realiza generalmente de manera cualitativa mediante criterios asociados a modificaciones en su morfología. Se consideran dos umbrales cualitativos de daño en el elemento principal: el Inicio de Averías (IDA) y el Inicio de Destrucción (IDE). El primero indica un límite en el cual se observan pequeños desplazamientos de las piezas, mientras que el segundo señala el punto a partir del cual se produce un colapso progresivo de la estructura.

En este prediseño se va a tomar como referencia el IDA para realizar el cálculo del tamaño de las piezas y la colocación de las mismas. Para ello es necesario definir el número de estabilidad de la estructura, el cual viene definido con la siguiente formulación proporcionada por Medina, J.R. & Gómez-Martín, M.E., (2015):

$$N_s = \frac{H_{m0}}{\Delta D_n}$$

Figura 14. Formulación para el cálculo del número de estabilidad. (Fuente: Medina, J.R. & Gómez-Martín, M. E)

Donde:

- $H_{m0}$ : altura de ola significativa incidente
- $\Delta$ : densidad relativa sumergida ( $[\rho_p/\rho_w]-1$ ),  $\rho_p$  es la densidad de la pieza,  $\rho_w$  es la densidad del agua
- $D_n$ : lado del cubo equivalente de la pieza

De los ensayos correspondientes al inicio de avería e inicio de destrucción realizados por Lozano Tovar, S. (2021) se ha obtenido el número de estabilidad ( $N_s$ ) medio, cuyos valores son:

- $N_s$  (IDA) = 1,4
- $N_s$  (IDE) = 2,3

Conociendo estos valores del número de estabilidad gracias a los ensayos realizados por Lozano Tovar, S. (2021) y con el clima marítimo que se ha caracterizado en este estudio, concretamente en el anejo N°6: “Clima marítimo y estudio del nivel del mar” ya se pueden caracterizar las dimensiones de las piezas. Tomando como referencia el trabajo de Lozano Tovar, S. (2021) el diseño preliminar de este tipo de estructura estará formada por tres capas de Cubípodos, dispuestos mediante una malla de colocación con un 50% de porosidad compuesta por triángulos rectángulos de parámetros  $a/D_n=1,32$  y  $b/D_n=1,52$ . La sección transversal presentará taludes de 2:1 con retranqueos de una fila en el lado de incidencia del oleaje y de 1:2 en el lado opuesto. Los Cubípodos tendrán una densidad de 2,21 t/m<sup>3</sup>.

Se procederá a realizar el diseño de la estructura tomando en consideración el valor del número de estabilidad en relación al umbral de inicio de destrucción (IDE), ya que se ha tomado el régimen extremal a la hora de realizar el cálculo del clima marítimo, es decir se tomará el valor de  $N_s=2,3$ . Para este diseño preliminar se ha decididido que el dique se situará sobre la

batimétrica de profundidad -5 metros, donde no supondrá un obstáculo para los bañistas y la construcción será más sencilla ya que se podrán utilizar embarcaciones de mayor calado.

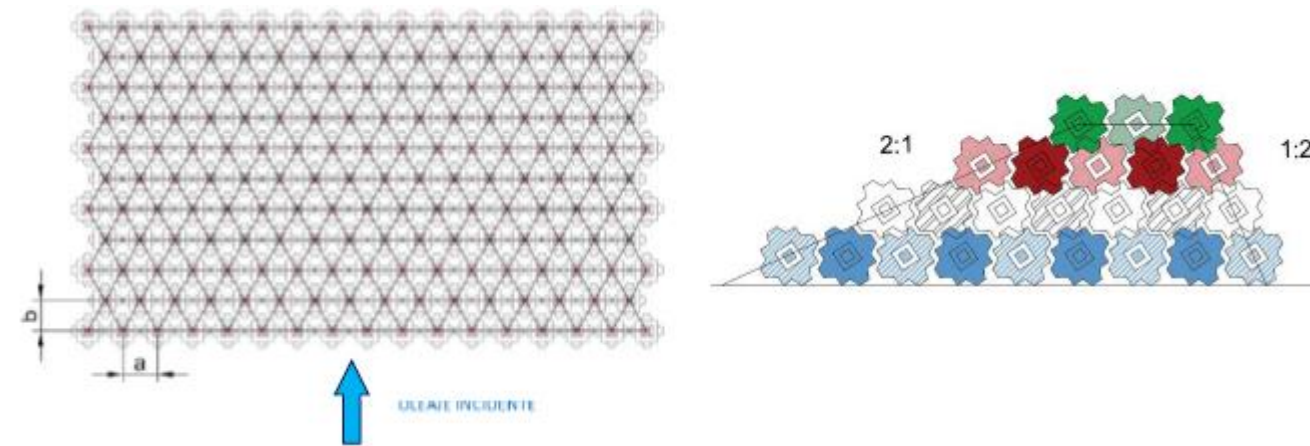


Figura 15. Parámetros de diseño de la malla de colocación y la sección transversal. (Fuente: Lozano Tovar, S., 2021)

Tomando como referencia la batimétrica de -5 metros, del Anejo N°6: "Clima marítimo y estudio del nivel del mar" se obtiene que la altura de ola de calculo incidente sobre la estructura será de 3,9 metros. Como se ha mencionado, el número de estabilidad correspondiente al IDE tiene un valor de  $N_s=2,3$  y por último, conociendo además que la densidad media del agua del mar del mar Mediterráneo es de  $1,025 \text{ g/cm}^3$  y que la densidad del hormigón será de  $2,21 \text{ g/cm}^3$ , de la formulación expuesta en la figura 14 se obtiene que:

$$2,3 = \frac{3,9}{\left(\frac{2,21}{1,025} - 1\right) * Dn} \rightarrow Dn = 1,5 \text{ m}$$

Por lo tanto, los cubípodos tendrán un peso aproximado de:

$$W_{\text{cubipod}} = \gamma * Dn^3 = 2,21 * 1,5^3 = 7,5 \text{ toneladas}$$

Como mencionan Medina, J.R. & Gómez-Martín, M.E., (2015), para facilitar el desencofrado se le da a las caras verticales una ligera inclinación, del 3.5%, tal y como se suele hacer con los encofrados de los bloques cúbicos convencionales. Esta inclinación tendrá un impacto directo en las dimensiones finales de las piezas. Cabe señalar que, en el caso específico de los cubípodos, el valor de "Dn" no se corresponde con la medida real del lado, ya que las dimensiones de la pieza están determinadas por el parámetro "L", conforme a la siguiente relación:

$$L = \frac{Dn}{1,068} = 1,4$$

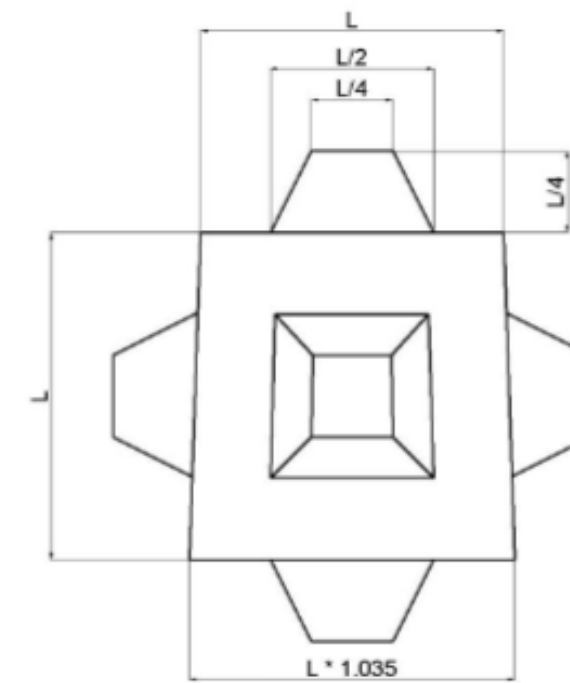


Figura 16. Dimensiones habituales de los cubípodos en función del parámetro L. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Una vez obtenido el tamaño necesario que deben tener los Cubípodos se puede definir la sección transversal de la HLCS, la cual para el caso particular de este estudio se ha decidido que tenga tres capas en vez de cuatro ya que se busca que la estructura quede por debajo del nivel del mar para que no sea visible desde la costa. Gracias a los ensayos realizados por Lozano Tovar, S. (2021), se conocen los valores de la relación de los parámetros a y b (ver figura 15) respecto al lado del cubo equivalente (Dn) que se ha obtenido. Sabiendo estas relaciones se obtiene que:

$$\frac{a}{Dn} = 1,32 \rightarrow a = 2 \text{ m}$$

$$\frac{b}{Dn} = 1,52 \rightarrow b = 2,3 \text{ m}$$

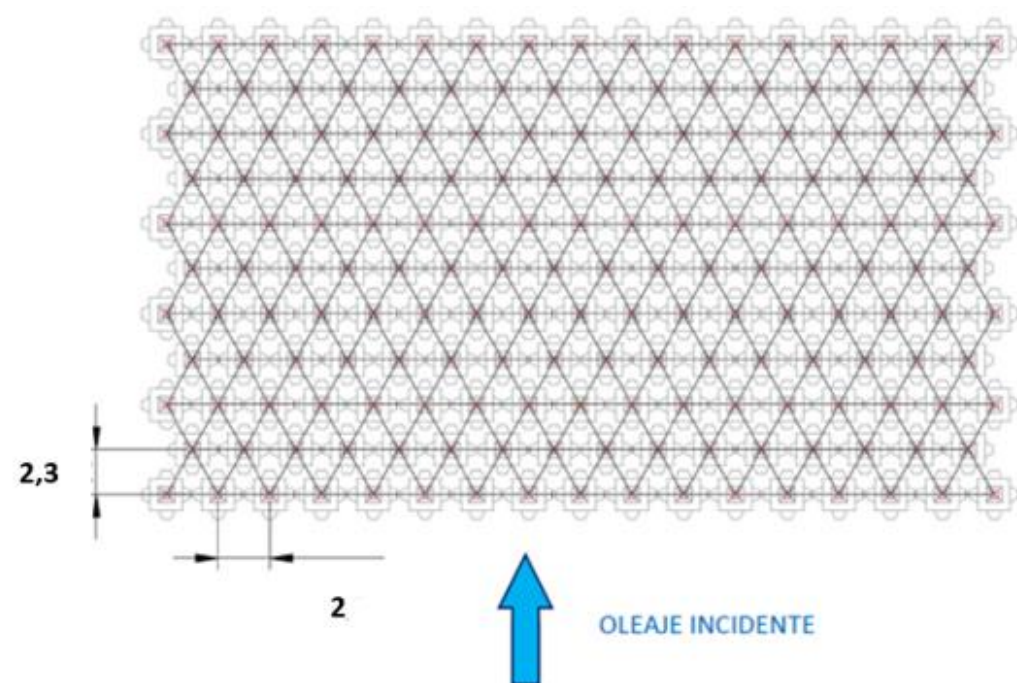


Figura 17. Malla de colocación de la estructura. (Fuente: elaboración propia, 2023)

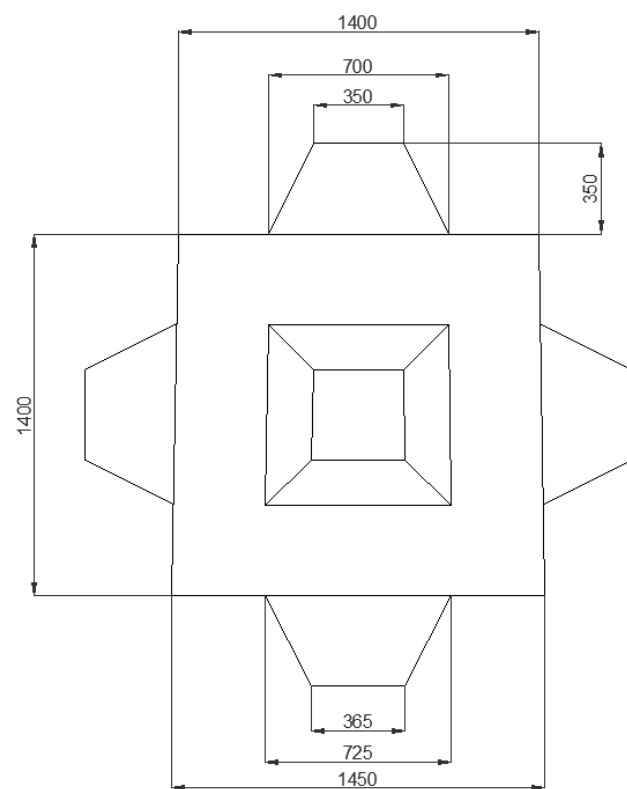


Figura 18. Tamaño final de los cubipodos. (Fuente: plano 5, 2023)

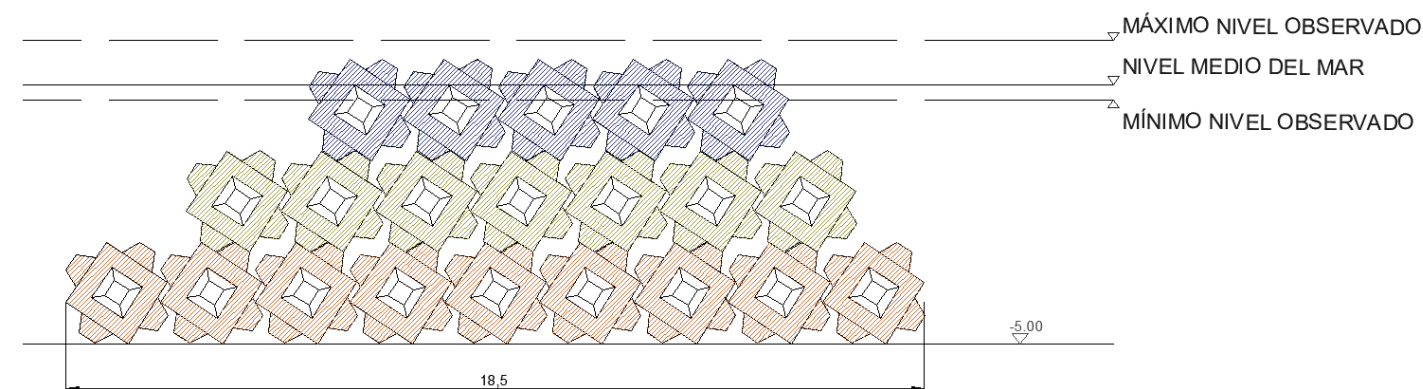


Figura 19. Sección transversal del diseño del HLCS. (Fuente: plano 5, 2023)

### 3.3. ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES

Como menciona Medina, J.R et al. (octubre 2006), la utilización de escolleras y materiales de cantera en obras costeras ha presentado dificultades crecientes a lo largo de los años debido a la escasez de canteras disponibles, las molestias ocasionadas por su uso y la falta de reversibilidad de este tipo de estructuras. Por el contrario, las estructuras prefabricadas de hormigón se presentan como alternativas viables a las estructuras convencionales en áreas costeras sensibles, ya que pueden reducir de manera significativa el impacto de la construcción. Estas soluciones no convencionales plantean nuevas posibilidades para la protección costera, pero también conllevan nuevos desafíos técnicos.

Esta alternativa se centra en los elementos modulares prefabricados utilizados en la construcción de diques exentos y diques de pié, que son técnicas de protección de dureza media-baja empleadas para estabilizar playas mediante la reducción de las aportaciones de sedimentos. Estas estructuras son conocidas como "low-crested structure" (LCS), y generalmente se construyen utilizando escollera y materiales sueltos. Sin embargo, las obras de diques exentos convencionales suelen plantear problemas ambientales debido a su dificultad de reversibilidad en la construcción. Además, estos problemas, combinados con las molestias generadas en el entorno de la zona de trabajo, como polvo, turbidez, ruido y tráfico, reducen considerablemente su aceptación social en áreas costeras sensibles. Como menciona Medina, J.R et al. (octubre 2006), la prefabricación ofrece la ventaja de reducir en gran medida el impacto ambiental de la obra en la zona litoral de trabajo, concentrándolo en una zona industrial adecuadamente preparada, como una planta de prefabricación.



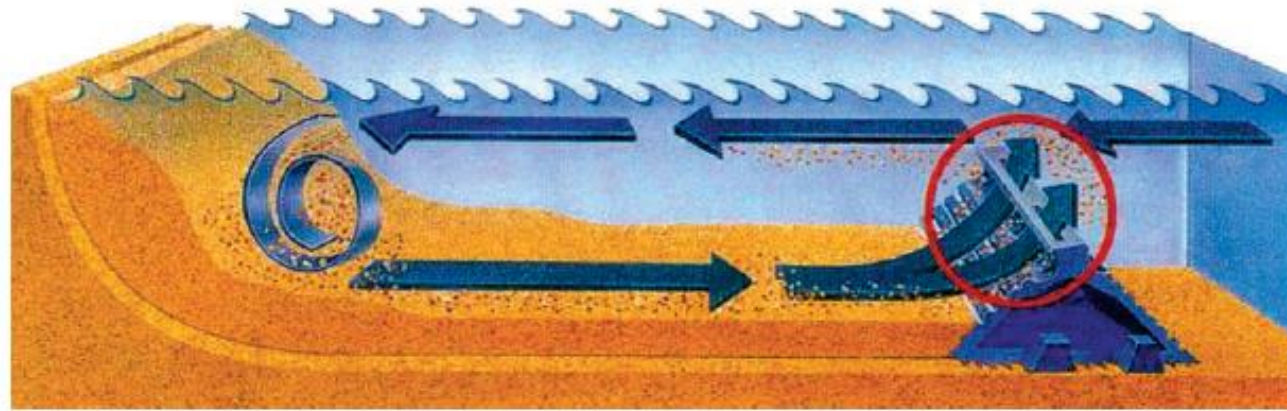


Figura 20. Dique de pie con unidades Beachsaver. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006)

Los principales objetivos de estas obras costeras basadas en estructuras modulares son, según Medina, J.R et al. (octubre 2006): (1) la reducción de la altura de las olas que impactan en la playa, (2) la disminución de la energía transmitida durante los temporales intensos, (3) la estabilización de la línea costera y (4) la minimización de los cambios en el volumen de los sedimentos.

En el estudio realizado por Rodríguez et.al (2003), se introduce el concepto de dique modular como una solución innovadora para el control de la erosión y la protección costera. El diseño del dique modular se ha enfocado en superar los desafíos logísticos asociados con el transporte y acumulación de unidades prefabricadas utilizando la red intermodal de transporte de contenedores. Los principios fundamentales del diseño del dique modular incluyen: (1) su carácter modular, que permite construir una amplia variedad de secciones utilizando pocos tipos de módulos diferentes, (2) la posibilidad de transportar y manipular los módulos utilizando medios convencionales para facilitar y reducir los costos de instalación, (3) el almacenamiento eficiente en espacios reducidos dentro o fuera de las infraestructuras portuarias, y (4) la capacidad de desinstalación sin dejar afectaciones permanentes en el entorno, brindando así una defensa costera reversible.

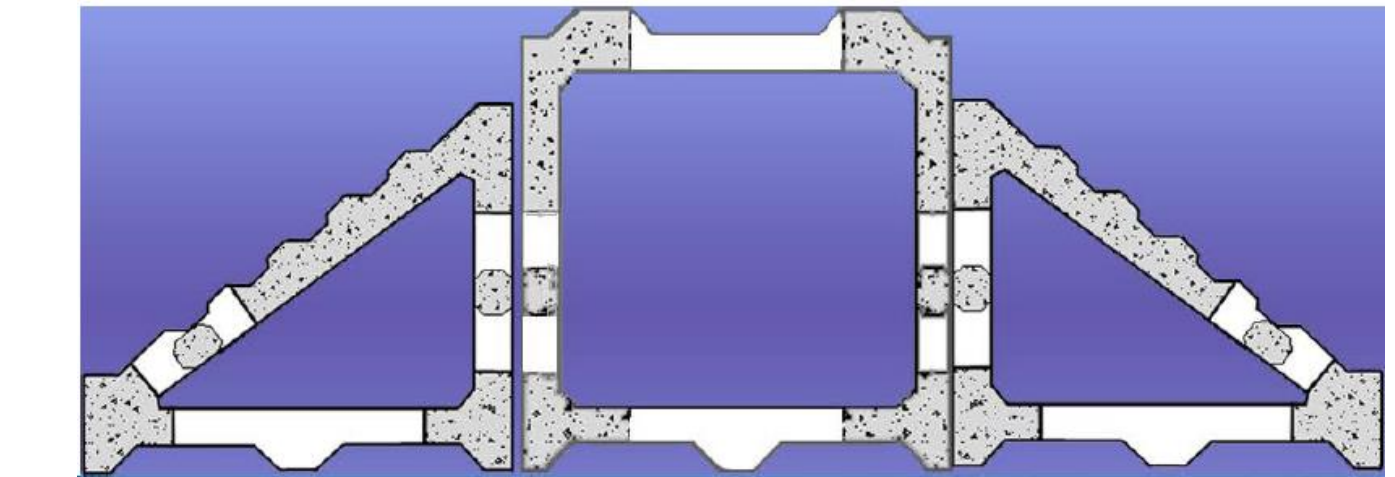
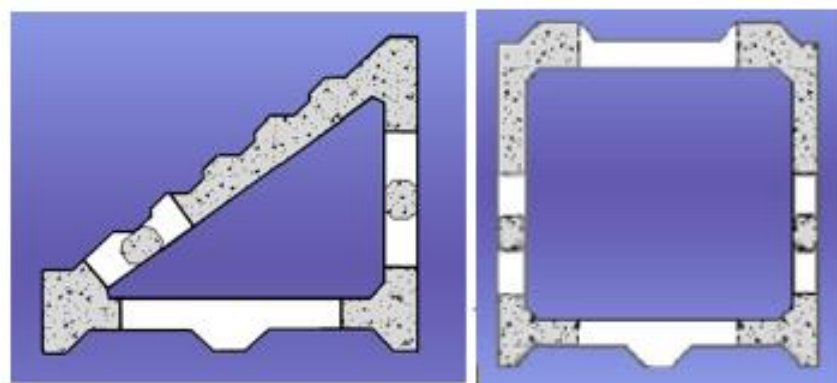


Figura 21. Sección TCT (Triangular + Cuadrada + Triangular) con módulos básicos. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006)

Se propone utilizar la misma tipología de elementos descrita en el artículo "Actuación Experimental con Diques Modulares en Santa M<sup>a</sup> del Mar (Cádiz). Redes Neuronales, Socavación y Licuefacción de Arenas" desarrollado por Medina, J.R et al. (octubre 2006). Estos elementos consisten en módulos cuadrados (C) y triangulares (T), con alturas totales de 2,5 metros y anchuras de coronación y/o base de 2,5 metros. La combinación de estos dos tipos de módulos permite construir una variedad amplia de estructuras costeras adaptadas a las condiciones climáticas y del terreno de cada ubicación. Los módulos prefabricados utilizados en la actuación experimental, visibles en la figura 22 de este mismo apartado, son el módulo cuadrado, con un peso de 8,5 toneladas y una altura de 2,5 metros, y el módulo triangular, con un peso de 6,0 toneladas y una altura de 2,5 metros. Estos módulos presentan un sistema de machihembrado para su unión longitudinal.

La fabricación y acumulación anticipada de los módulos permite su transporte y construcción en un plazo breve en el lugar específico de la obra, sin necesidad de conocer previamente su emplazamiento y funcionalidad. Esta característica facilita la construcción reversible de estructuras de protección costera en situaciones de emergencia, ya que los módulos modulares pueden ser desinstalados con relativa facilidad, reubicados o reutilizados en otros lugares.

Como menciona Medina, J.R et al. (septiembre 2006), los diques modulares son adecuados para intervenir en playas que son especialmente sensibles desde el punto de vista ambiental o social. Estas estructuras permiten garantizar la capacidad de desmontaje de manera rápida y sin dejar residuos, asegurando la restauración completa del estado inicial del entorno. Es importante considerar que al instalar los diques modulares sobre suelos arenosos o sedimentos más finos,

se puede esperar un asentamiento por socavación que representa aproximadamente el 30% de la altura total del dique. Este asentamiento afectará al francobordo, lo que resultará en una reducción del efecto de la estructura sobre el oleaje, es decir, debido a la socavación y la consiguiente pérdida de altura, el efecto de reducción del oleaje de la misma se verá disminuido.

Hay que tener en cuenta que los procesos de socavación y licuefacción se retroalimentan ya que la socavación reduce las densidades relativas de la capa superficial y la licuefacción facilita la movilidad de los sedimentos y la erosión correspondiente.

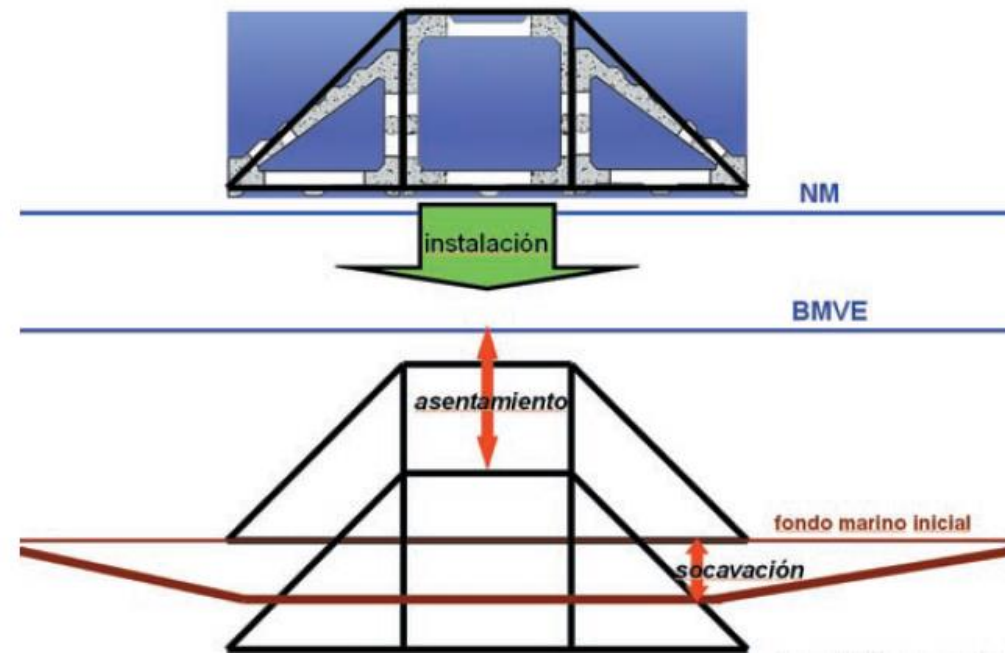


Figura 22. Esquema de asentamiento y socavación del dique modular TCT. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006)

Se realizó una prueba piloto de este tipo de estructuras en la playa de Santa M<sup>a</sup> del Mar (Cádiz) cuyo objetivo principal era comprobar las dificultades constructivas y verificar los procesos de asentamiento de la estructura por socavación y licuefacción, así como los efectos sobre la playa. Los diques modulares TCT instalados tuvieron asentamientos mayores que los teóricos debido a que la playa de Santa M<sup>a</sup> del Mar poseía tres características que favorecían estos procesos de asentamiento, las cuales eran: la arena de la playa formaba una capa de pocos metros sobre sustrato rocoso impermeable, la carrera de marea llegaba a los 2,8 metros afectando el nivel freático de la playa y los movimientos de arena en la playa eran importantes.

Como conclusión del estudio de esta alternativa, se puede observar que desde el punto de vista funcional, el dique modular se comporta de manera similar al convencional de sección equivalente. No obstante, el enfoque modular permite reducir al mínimo el impacto ambiental y

maximizar la reutilización, lo que lo convierte en una opción especialmente adecuada para intervenciones en áreas altamente sensibles. Sin embargo, es de vital importancia realizar una campaña geotécnica adecuada ya que es necesario identificar el terreno en el que se dispondrán estas estructuras, ya que como sucedió en la actuación experimental con diques modulares en Santa M<sup>a</sup> del Mar (Cádiz), existe la posibilidad de que se produzca una licuefacción del terreno que provoque un hundimiento de las piezas tal, que haga que no cumplan su función de reducción del oleaje.

A continuación se muestra una serie de imágenes en las que se puede apreciar que la construcción con este tipo de módulos permite adoptar diferentes configuraciones a la hora de su colocación, dependiendo de la función que se quiera cumplir y la profundidad en la que se dispongan. Por último, como para el resto de alternativas presentadas y analizadas, se muestra una tabla comparativa con las principales ventajas e inconvenientes que presenta la alternativa basada en módulos prefabricados en hormigón.



Figura 23. Configuración T3CT – Ancho de 12,5 metros. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006)



Figura 24. Configuración TCT2 - Altura de 12,5 metros. (Fuente: Medina, J.R. et.al, 2006)



VENTAJAS	ICONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción notable de la energía del oleaje y estabilización del perfil de playa.</li> <li>Mitigación de problemas de erosión costera</li> <li>Facilidad de desmantelamiento</li> <li>Facilidad de construcción y transporte de los módulos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beneficios sobre los ecosistemas marinos reducidos ya que no fomenta de manera precisa su crecimiento</li> <li>Posibles problemas de licuefacción de arenas y asentamientos muy pronunciados</li> </ul>

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes de la alternativa 3. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Para el caso práctico que ocupa este estudio, se han propuesto dos soluciones que utilizan este tipo de estructuras modulares definidas anteriormente. La primera de ellas se basa en una estructura TCT como la que se definió por Medina, J.R et al. (octubre 2006), mientras que la segunda está formada por un sistema T2CT, el cual cuenta con una anchura mayor. Esta última disposición de los módulos está pensada para terrenos en los que se pueda producir licuefacción, ya que cuenta con una superficie de apoyo mayor que disminuye las sobrepresiones ejercidas por parte de la estructura sobre le fondo marino.

Es importante tener en cuenta que se han realizado una serie de modificaciones en la sección de las piezas con el objetivo de obtener mayores beneficios para los ecosistemas marinos en los que se dispongan esta tipología de piezas. Si finalmente resulta esta alternativa como la óptima, se realizará un diseño con mayor detalle en el que se definan de manera precisa las medidas y disposición de las piezas.

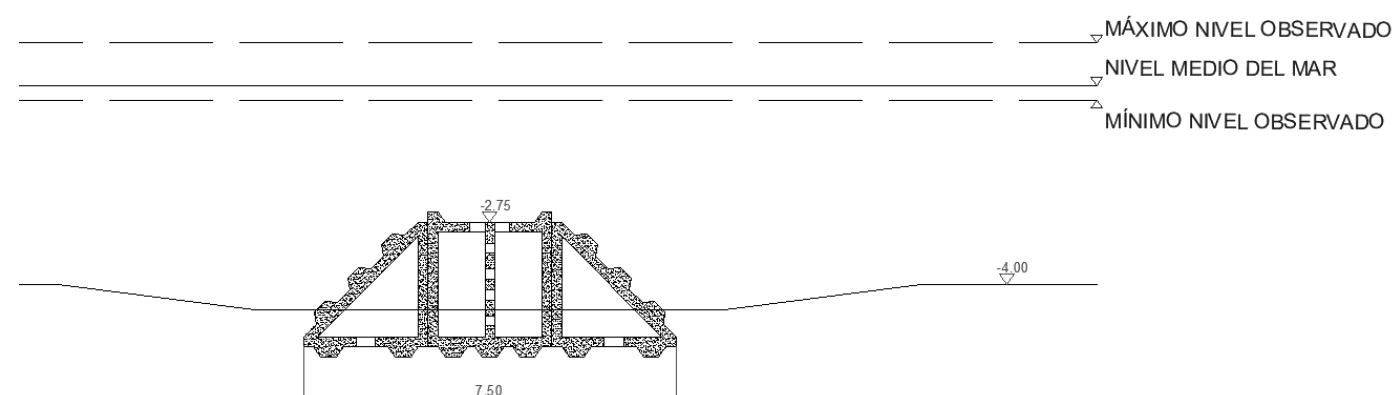


Figura 25. Prediseño de configuración TCT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6, 2023).

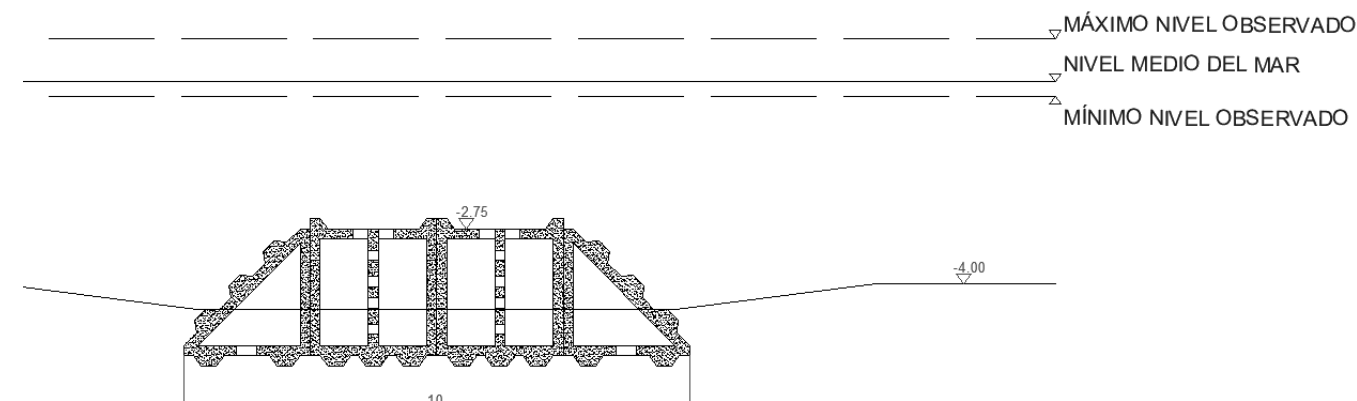


Figura 26. Prediseño de configuración T2CT con estructuras modulares. (Fuente: plano 6, 2023)

## 4. Valoración de las alternativas propuestas

En este apartado se van a comparar las distintas alternativas planteadas para la restitución artificial del servicio ecosistémico natural de protección de costas que ofrecían las praderas de Posidonia oceánica, mediante estructuras arrecifales. Además de reducir la energía del oleaje para evitar la recesión de la línea de costa, con estas estructuras se busca promover el aumento de la biodiversidad marina, generando así, beneficios sobre el ecosistema.

Para llevar a cabo esta comparación, se utilizará un sistema de matrices de comparación pareadas para evaluar las diferentes alternativas. Se empleará la misma escala fundamental que se encuentra representada en la figura 1 adjunta en este mismo anejo. Después de analizar las alternativas en función de los subcriterios, se obtendrá el vector propio de las matrices, el cual indicará cuál alternativa obtiene la puntuación más alta en función de cada uno de los subcriterios planteados.

Una vez se hayan analizado todos los criterios y subcriterios, se creará una matriz compuesta por los vectores propios de cada subcriterio evaluado. Al multiplicar esta matriz por el vector propio que contiene los pesos de los criterios (el vector cuyos valores se encuentran en la primera tabla de las que aparecen en la "tabla 2"), se determinará cuál de las tres alternativas propuestas es la óptima y más adecuada para la restitución artificial de las praderas de Posidonia oceánica degradadas mediante estructuras arrecifales.



## 4.1. COMPARACIÓN EN FUNCIÓN DEL CRITERIO 1: ECONOMÍA

### 4.1.1. Costes de ejecución / construcción

Para poder llevar a cabo esta comparación es necesario realizar una estimación de los costes económicos de las distintas alternativas planteadas. No se ha realizado una valoración económica exhaustiva de todas las alternativas ya que esto se realizará únicamente para la solución que se adopte finalmente. Sin embargo, es necesario disponer de un punto de referencia a partir de la cual se pueda realizar la comparación de las alternativas en base a este subcriterio. Se va a realizar el análisis de este criterio teniendo en cuenta el volumen de hormigón total necesario para la ejecución de los elementos que conformarán la estructura arrecifal. Sin embargo, también es de vital importancia considerar la maquinaria necesaria para la colocación de las piezas así como las pontonas a utilizar, por lo que también se va a tener en cuenta el tiempo de maquinaria que es necesario para realizar dicha operación.

Hay que considerar, a parte del volumen de hormigón, cómo se van a construir las piezas que constituyen cada una de las alternativas, por lo que se tendrán en cuenta las labores de encofrado y desencofrado de los elementos. Respecto a este criterio, se puntuará negativamente a la primera alternativa, ya que las piezas cuentan con una serie de orificios que complican las labores de encofrado. Además, también se van a tomar en consideración los acopios necesarios y por tanto el espacio que estos ocupan. Por ejemplo, la alternativa N°2 “Diques homogéneos de baja cota (HLCS)” utiliza el cubípodo como base para su construcción, y aunque este puede acopiarse tanto en superficie como en altura, como se verá a continuación, el volumen de piezas es muy elevado, por lo que se puntuará de forma negativa ya que el espacio de los acopios a utilizar será mayor en esta alternativa. Los precios que se han tomado como referencia han sido extraídos del IVE | Instituto Valenciano de la Edificación (2023).

A continuación, se procede a realizar el cálculo del volumen de hormigón necesario para cada una de las alternativas planteadas. Respecto a la alternativa N°1 “Estructuras alveolares a baja profundidad”, hay que tener en cuenta que la porosidad de colocación de estos elementos es muy elevada, ya que como se vió en el anejo correspondiente al estudio de las piezas, una mayor separación de las mismas comporta una mayor colonización por las especies. Se han realizado una serie de prediseños de las piezas a utilizar para la ejecución de la obra, por lo que se tomará el volumen de hormigón de cada una de estas piezas para realizar el cálculo total del consumo de hormigón de esta alternativa. Se supone que el rendimiento de colocación de estas estructuras es de 5 piezas / día. La obra contará con un total de aproximadamente 20 estructuras

arrecifales repartidas, contando a su vez cada una de ellas con entre 20 y 40 piezas aproximadamente. Se ha adoptado que el precio del metro cúbico de hormigón teniendo en cuenta encofrado, transporte y colocación será de aproximadamente 345 €/m<sup>3</sup>. Con todo ello se tiene que:

	Volumen hormigón (m <sup>3</sup> )	Número de piezas	Días para colocación	Precio total (€)
<i>Alternativa 1: estructuras alveolares a baja profundidad</i>	3168,00	880	176	<b>1.100.000,00 €</b>

Tabla 6. Análisis del coste de la alternativa 1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Respecto a la alternativa N°2 “Diques homogéneos de baja cota (HLCS)” habrá que tener en cuenta que se ha considerado una porosidad del 50 % (mayor porosidad indica un menor número de piezas y por tanto un menor consumo de hormigón). Respecto a esta misma alternativa, se considerará que los diques tendrán una longitud aproximada de 80 metros, contando la obra con un total de aproximadamente 15 diques. Se supone que el rendimiento de colocación de los cubípodos será de 30 cubípodos / día. Se ha adoptado, basándose en el consumo de hormigón, encofrado, transporte y colocación que cada uno de los cubípodos a construir y disponer tiene un coste aproximado de 425 euros.

	Volumen hormigón (m <sup>3</sup> )	Número de piezas	Días para colocación	Precio total (€)
<i>Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)</i>	47595,00	14102	470	<b>5.993.445,54 €</b>

Tabla 7. Análisis del coste de la alternativa 2. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Respecto a la alternativa N°3 “Estructura modular” habrá que tener en cuenta la configuración en la que se disponen los módulos. Para este primer prediseño, se ha decidido realizar el análisis económico para una configuración TCT, en el que el largo de los módulos es de 5 metros y estarán separados entre sí una distancia de aproximadamente 5 metros. Respecto a esta alternativa, se considerará que cada bloque tendrá una longitud aproximada de 80 metros, o lo que es lo mismo, cada bloque contará con 8 de estas estructuras modulares. Como en esta alternativa se ha planteado un total de 15 bloques, la obra final contará con 120 estructuras modulares. Se ha adoptado que el precio del metro cúbico de hormigón teniendo en cuenta encofrado, transporte y colocación será de aproximadamente 300 €/m<sup>3</sup>, ya que con este tipo de estructuras se simplifican mucho las labores de encofrado y desencofrado de las estructuras,

aunque la colocación de las mismas puede ser ligeramente más complicada si se compara con la alternativa N°1. Se supone que el rendimiento de colocación de esta pieza en configuración TCT será de 0.75 pieza / día. Con todas estas consideraciones se tiene que:

	Volumen hormigón (m³)	Número de piezas	Días para colocación	Precio total (€)
<i>Alternativa 3: estructura modular</i>	2580	120	164	<b>774.000,00 €</b>

Tabla 8. Análisis del coste de la alternativa 3. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente así como los cálculos realizados, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al subcriterio 1.1 “costes de ejecución/construcción” es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1,00	3,00	1,00
Alternativa 2	0,33	1,00	0,20
Alternativa 3	1,00	5,00	1,00

Tabla 9. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 1.1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Tras comprobar que la matriz es consistente al igual que se ha hecho con la matriz de ponderación de criterios, se obtiene el vector propio de esta matriz. Este vector indica cuál de las alternativas es la idónea (la de mayor puntuación) en función del subcriterio 1.1. Las puntuaciones obtenidas son las siguientes:

	PESO OBTENIDO (%)
Alternativa 1: estructuras alveolares a baja profundidad	40.5
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	11.4
Alternativa 3: estructura modular	<b>48.1</b>

Tabla 10. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 1.1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

#### 4.1.2. Costes de mantenimiento y/o conservación

Con respecto al mantenimiento de este tipo de estructuras, hay que tener en cuenta que en todas las alternativas planteadas hay que realizar un seguimiento para comprobar la eficacia y

los beneficios que generan para los ecosistemas marinos. Las alternativas N°1 y N°3 son estructuras dinámicas, las cuales pueden sufrir daños más importantes en el caso de temporales o en el caso de que se produzca licuefacción en el terreno o asentamientos elevados, por ello, se puntuará negativamente estas alternativas. Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al subcriterio 1.2 “costes de mantenimiento y/o conservación” es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1,00	0,80	1,00
Alternativa 2	1,25	1,00	1,50
Alternativa 3	1,00	0,67	1,00

Tabla 11. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 1.2. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Tras comprobar que la matriz es consistente se obtiene el vector propio de esta matriz. Este vector indica cuál de las alternativas es la idónea (la de mayor puntuación) en función del subcriterio 1.2. Las puntuaciones obtenidas son las siguientes:

	PESO OBTENIDO (%)
Alternativa 1: estructuras alveolares a baja profundidad	30.6
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	<b>40.6</b>
Alternativa 3: estructura modular	28.8

Tabla 12. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 1.2. (Fuente: elaboración propia, 2023)

## 4.2. COMPARACIÓN EN FUNCIÓN DEL CRITERIO 2: FUNCIONALIDAD

### 4.2.1. Beneficios sobre los ecosistemas marinos

Con este subcriterio se pretende evaluar el potencial de las piezas utilizadas en la construcción de arrecifes artificiales para promover y mejorar el ecosistema marino. Puede considerarse su capacidad para atraer y albergar una diversidad de especies, promover la colonización de organismos marinos, mejorar la calidad del agua, proporcionar refugio y hábitat, y fomentar la biodiversidad en general. Como se explicó en el anejo correspondiente al estudio de piezas para creación de arrecifes artificiales, uno de los principales parámetros que influye en la colonización de las piezas por parte de las especies es la complejidad o heterogeneidad de las mismas.

En ese mismo anejo se pudo extraer que la separación del arrecife artificial respecto a las áreas naturales circundantes o a otros módulos arrecifales tiene un impacto positivo significativo en las abundancias de las especies presentes. Los arrecifes más aislados tienden a ser más efectivos para aumentar la complejidad y el tamaño de la comunidad.

De las alternativas planteadas en este anejo, la alternativa N°1 es la que mayores beneficios para la biodiversidad genera, ya que se trata de piezas separadas entre sí varios metros y diseñadas con una forma compleja que cuenta con orificios para permitir el desarrollo de especies y la mayor superficie posible para ser colonizadas. Con respecto a la alternativa N°2 es cierto que está puede tener ciertos beneficios para los ecosistemas, pero estos son mucho menos evidentes, ya que sólo la superficie exterior puede ser colonizada y la forma de los cubípodos es muy homogénea, lo cual no fomenta la colonización por parte de las especies marinas.

Por último, si se analiza la alternativa N°3 es cierto que, a priori, no ofrece grandes beneficios a los ecosistemas, sin embargo, se han realizado una serie de modificaciones que aumenten su influencia. Se ha incluido una pared intermedia la cual cuenta con una serie de orificios que ofrecen cobijo a las especies marinas y por tanto fomentan su protección y crecimiento. Además, al ser el consumo de hormigón de esta alternativa el más reducido, se podría plantear el uso de EConcrete para obtener una mejor puntuación y mayores beneficios sobre los ecosistemas (Obs.pers). Se trata de una alternativa que puede ser modificada en su diseño fácilmente para mejorar su respuesta respecto a la creación y mejora de los ecosistemas.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al subcriterio 2.1 “beneficios sobre los ecosistemas marinos” es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1,00	2,50	1,80
Alternativa 2	0,50	1,00	0,70
Alternativa 3	0,67	1,43	1,00

Tabla 13. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 2.1. (Fuente: propia, 2023)

Tras comprobar que la matriz es consistente se obtiene el vector propio de esta matriz. Las puntuaciones obtenidas son las siguientes:

	PESO OBTENIDO (%)
Alternativa 1: estructuras alveolares a baja profundidad	<b>51.1</b>
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	20.2
Alternativa 3: estructura modular	28.7

Tabla 14. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 2.1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

#### 4.2.2. Capacidad de reducción de energía del oleaje

Con respecto a la capacidad de reducción de energía del oleaje, se va a realizar un análisis de los coeficientes de transmisión del oleaje de las tres alternativas planteadas. En el caso de la alternativa N°1 “estructuras alveolares a baja profundidad”, no se disponen de estudios específicos de dichos coeficientes de transmisión ya que se ha realizado un prediseño propio, por lo que no se cuenta con ensayos de laboratorio en los que se estudia la transmisión del oleaje para las piezas diseñadas. Para suplir este déficit de información, se toma como referencia el estudio realizado por Campo C. et.al (2018), en el que se analiza la transmisividad del oleaje de una serie de formas geométricas básicas. Para las alternativas N°2 y N°3 sí se cuentan con estudios específicos en la bibliografía de referencia que permiten la obtención del coeficiente de transmisión del oleaje y por tanto permiten cuantificar la capacidad de reducción de energía del oleaje de las alternativas.

- **Alternativa N°1: estructuras alveolares a baja profundidad**

Como se ha mencionado anteriormente, para analizar la capacidad de reducción de energía del oleaje de esta alternativa se van a tomar como referencia los coeficientes de transmisión del oleaje obtenidos en el estudio realizado por Campo C. et.al (2018). La metodología utilizada en dicho estudio ya se ha explicado de forma detallada en el apartado 3 del Anejo N°2: “Estudio de piezas para construcción de arrecifes artificiales”.

El prediseño que se ha realizado se puede asimilar a una forma esférica, aunque hay que tener en cuenta que la existencia de orificios pueden llegar a generar mayores turbulencias y por tanto contribuir a la reducción de la energía del oleaje. Las condiciones en las que se colocan estas estructuras son: profundidad de 4 metros y altura de ola de 3.1 metros (rotura por fondo del oleaje) como se ha calculado en el anejo correspondiente al estudio del clima marítimo.



Las condiciones en las que se realizó el estudio de Campo C. et.al (2018) fueron: profundidad de 3 metros y altura de ola de 2.7 metros, por lo tanto, las condiciones del estudio son muy similares a las condiciones en las que se ha diseñado la alternativa N°1, lo cual nos permite tomar los valores de los coeficientes de transmisión directamente, sin realizar ninguna estimación. Se muestran a continuación una serie de imagen de los vórtices gerados por las estructuras sobre el oleaje y de los coeficientes de transmisión que se obtuvieron en las condiciones ya mencionadas.

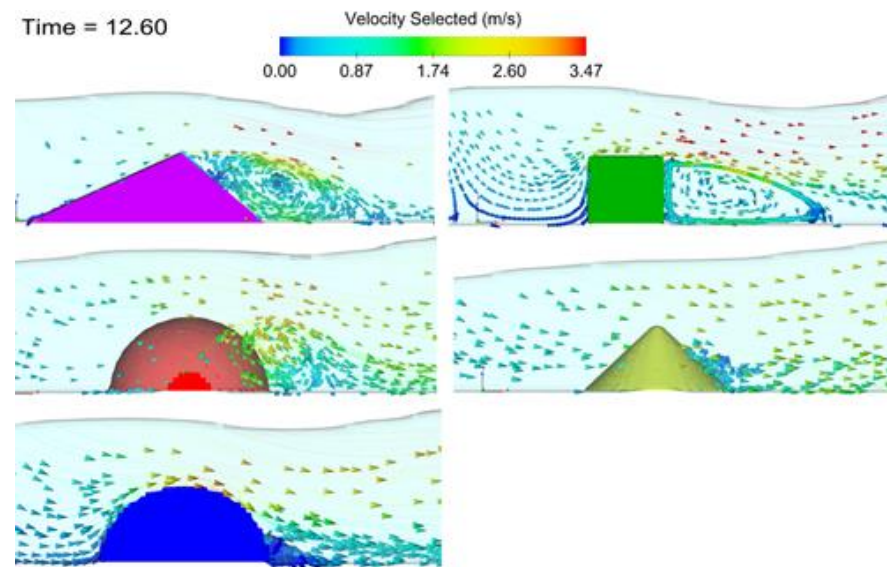


Figura 27. Vectores velocidad. (Fuente: Campo C., et.al, 2018).

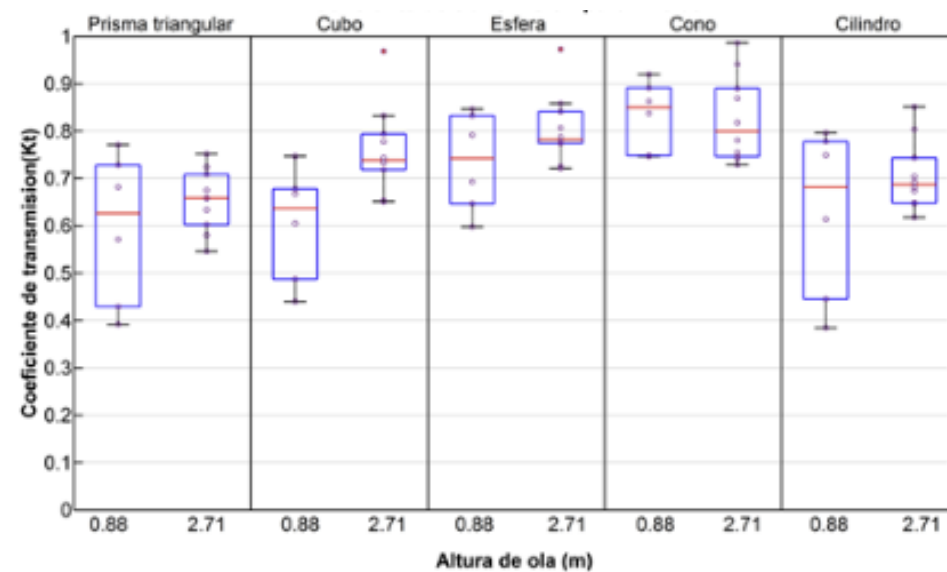


Figura 28. Coeficientes de transmisión de geometías básicas -  $h=2.8$  m y  $D=3$  m. (Fuente: Campo C. et.al., 2018)

Teniendo en cuenta todo lo citado anteriormente, asimilando el prediseño realizado a una esfera y tomando los coeficientes de transmisión de la figura 28, se obtiene que el **coeficiente de transmisión del oleaje de la alternativa N°1 es de  $K_t= 0.8$** .

Autor: Alejandro García Cárcel

- **Alternativa N°2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)**

Para analizar la capacidad de reducción de energía del oleaje de esta alternativa se van a tomar como referencia el estudio realizado por Lozano Tovar, S. (2021), en el cual se define que tanto el francobordo como la altura de ola significativa incidente son los parámetros más influyentes en el fenómeno de transmisión de oleaje en este tipo de estructuras. La relación entre estas dos variables recibe el nombre francobordo adimensional.

Como menciona Lozano Tovar, S. (2021), “el francobordo adimensional  $R_c/H_m$  es una de las variables más influyentes en la transmisión del oleaje, representando la altura de la estructura con respecto al nivel del mar en reposo frente a la altura de ola significativa incidente al pie de la estructura.” A continuación se muestra una imagen en la que se representa la relación entre el francobordo adimensional  $R_c/H_m$  y el coeficiente de transmisión  $K_t$  que se obtuvo a la hora de realizar los ensayos.

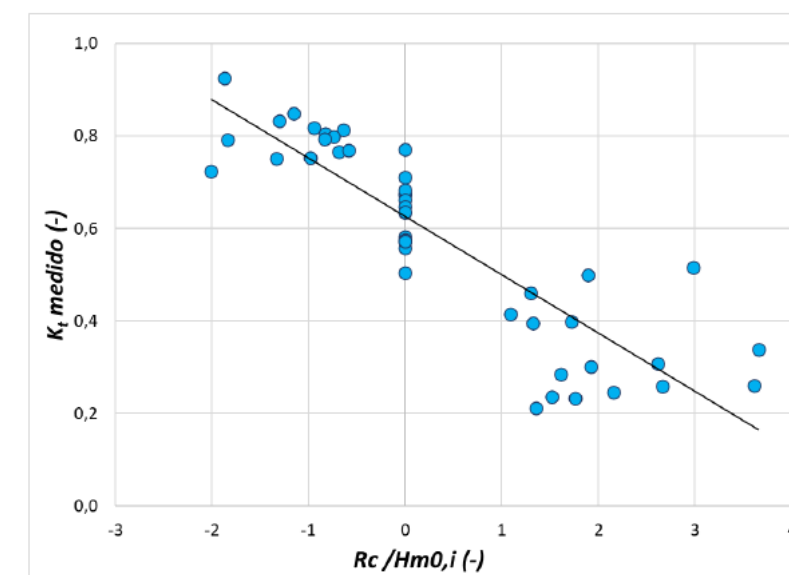


Figura 29. Relación entre  $K_t$  y  $R_c/H_m$ . (Fuente: Lozano Tovar, S., 2021)

Si se observa la figura 19 de este mismo anejo, el valor del francobordo respecto al nivel medio del mar de la propuesta de diseño para esta alternativa es de  $R_c= +0.8$  metros. Sabiendo, gracias al análisis del clima marítimo, que la altura de ola incidente sobre la estructura es de 3.9 metros, se obtiene que el valor del francobordo adimensional es de  $R_c/H_m = 0.2$ . Con este valor, se consulta el coeficiente de transmisión en la tabla de la figura 29. Finalmente se obtiene que el **coeficiente de transmisión del oleaje de la alternativa N°1 es de  $K_t= 0.5$** .

Por último, Medina, J.R. et.al (2006) menciona que: “cabe esperar que el comportamiento funcional de un dique modular sea similar a la LCS convencional de escollera en su aplicación como dique exento”. Esto indica que cuando se analice el coeficiente de transmisión del oleaje de la alternativa N°3, el coeficiente de transmisión que se obtenga ha de ser similar al obtenido con esta alternativa.

• **Alternativa N°3: estructura modular**

Para el análisis de la capacidad de reducción de la energía del oleaje de esta alternativa se han tomado como referencia los distintos estudios realizados por Medina, J.R. et.al (2006 y 2019). En estos estudios se realizaron una serie de ensayos de laboratorio que tenían como objetivo analizar el comportamiento de estas estructuras modulares frente a la acción del oleaje.

Con los distintos modelos neuronales que se desarrollaron para la realización de los ensayos, se obtuvo, según Medina, J.R et.al (2006), se pueden estimar los coeficientes de reflexión y transmisión de diques modulares de sección trapezoidal dentro de los siguientes rangos:

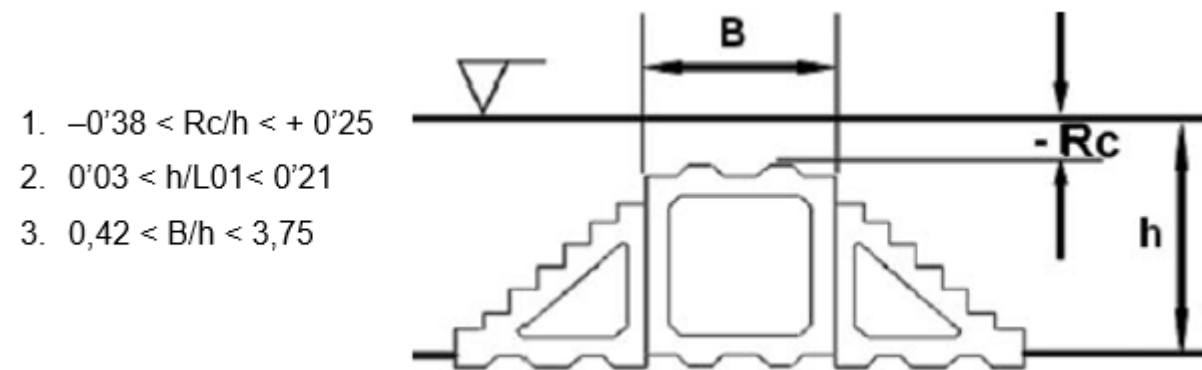


Figura 30. Parámetros de diseño de red neuronal estructura TCT. (Fuente: Medina, J.R et.al, 2006)

Con estas características, como menciona Medina, J.R. et.al (2006), se pudieron estimar los coeficientes de transmisión y reflexión que permitieron calcular el porcentaje de energía transmitida, reflejada y disipada por el dique modular. En el caso del prediseño realizado en este estudio de alternativas, los valores de francobordo, profundidad y ancho de coronación son, respectivamente:  $Rc = -1.5$  m,  $h = 4$  m,  $B = 2.5$  m. En la figura 31 que se muestra más adelante, se observa la evolución de los coeficientes de transmisión y reflexión en función de la relación  $Rc/h$ . A partir de ella, se podrá obtener el coeficiente de transmisión de la estructura que se ha diseñado en esta alternativa, el cual se usará como base para realizar la comparación entre las alternativas con respecto al este subcriterio.

Para el prediseño realizado en esta alternativa, se obtiene que la relación francobordo/profundidad tiene un valor de  $Rc/h = -0.4$ . Analizando la figura 31, tomando el valor de  $Rc/h$  obtenido anteriormente, se puede estimar que el **coeficiente de transmisión del oleaje de la alternativa N°3 es de  $K_t = 0.55$** .

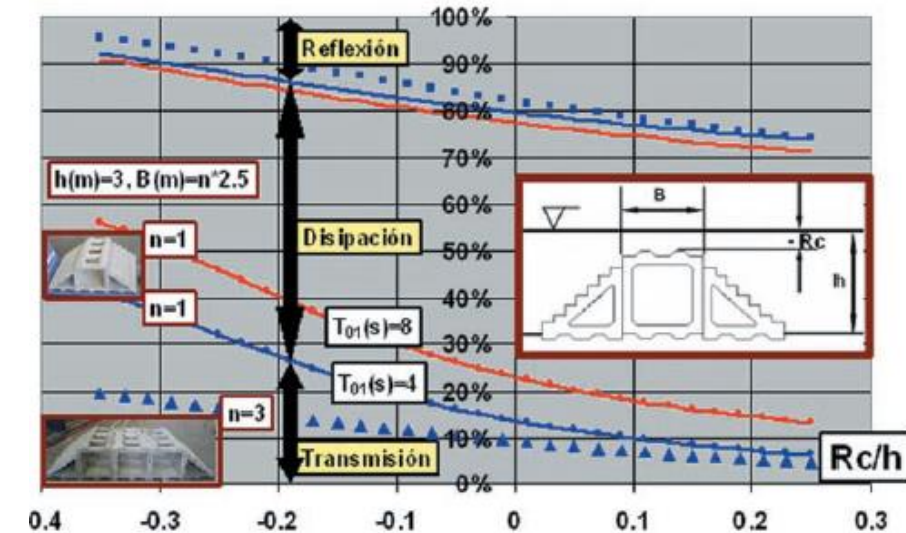


Figura 31. % energía transmitida, disipada y reflejada. (Fuente: Medina, J.R et.al, 2006)

Teniendo en cuenta todo lo mencionado en los puntos anteriores, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al subcriterio 2.2 “capacidad de reducción de energía del oleaje” es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1,00	0,60	0,70
Alternativa 2	1,67	1,00	1,10
Alternativa 3	1,43	0,91	1,00

Figura 32. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 2.2. (Fuente: propia, 2023)

Tras comprobar que la matriz es consistente se obtiene el vector propio de esta matriz. Las puntuaciones obtenidas son las siguientes:

	PESO OBTENIDO (%)
Alternativa 1: estructuras alveolares alveolares a baja profundidad	24.4
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	<b>39.9</b>
Alternativa 3: estructura modular	35.6

Tabla 15. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 3.1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

### 4.3. COMPARACIÓN EN FUNCIÓN DEL CRITERIO 3: RESILIENCIA

#### 4.3.1. Capacidad de desmantelamiento

Con este subcriterio se pretende evaluar la capacidad de desmantelamiento de las piezas a disponer para la construcción de estructuras arrecifales. Este criterio hace referencia, como se vió en el Anejo N°2 "Estudio de piezas para la construcción de arrecifes artificiales", a la facilidad y viabilidad de retirar o desmontar las piezas del arrecife en el futuro, si fuese necesario. Esta retirada se realizaría en caso de que el arrecife dispuesto generé impactos negativos sobre el medio.

Si se analizan las alternativas propuestas, queda patente que la alternativa N°2, por su elevadísimo volumen de piezas a disponer, es la que recibirá una menor puntuación, sobre todo en comparación con las otras alternativas descritas, las cuales cuentan con un número de piezas mucho menor.

Si se comparan las alternativas N°1: estructuras alveolares a baja profundidad y N°3: estructura modular, la capacidad de desmantelamiento de ambas es elevada, ya que se trata de piezas de peso reducido en ambos casos. Como se ha visto a la hora de realizar la comparación respecto al criterio económico, el número de piezas a disponer en la alternativa N°3 es menor, sin embargo los rendimientos de colocación son menores también, por lo que cabe esperar que la retirada de este tipo de piezas sea más complicada. Además, como se ha visto en la descripción de las alternativas (apartado 3 de este mismo anejo), se ha podido observar que el asentamiento de las piezas diseñadas en la alternativa 3 puede llegar a ser considerable (prácticamente el 50% de la altura de las piezas queda enterrado en el fondo marino), lo cual puede complicar las labores de desmantelamiento y retirada de las piezas.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al subcriterio 3.1 "capacidad de desmantelamiento" es la siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1,00	4,00	1,50
Alternativa 2	0,25	1,00	0,20
Alternativa 3	0,67	5,00	1,00

Tabla 16. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 3.1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Tras comprobar que la matriz es consistente se obtiene el vector propio de esta matriz. Las puntuaciones obtenidas son las siguientes:

	PESO OBTENIDO (%)
Alternativa 1: estructuras alveolares alveolares a baja profundidad	<b>49.4</b>
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	10.0
Alternativa 3: estructura modular	40.6

Tabla 17. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 3.1. (Fuente: elaboración propia, 2023)

#### 4.3.2. Seguridad para bañistas y embarcaciones (balizamiento)

Por último, con este subcriterio se pretende evaluar la seguridad para los bañistas de las piezas a disponer, en caso de que estas se encuentren dentro de los 200 metros de la zona de baño (alternativas N°1 y N°3) y la necesidad de balizamiento de estas estructuras. En principio, debido al diseño planteado en la alternativa N°2: diques homogéneos de baja cota (HLCS), no afectaría a los bañistas, ya que al situarse sobre la batimétrica de -5 metros se situaría fuera de la zona de baño, por lo que los bañistas no podrían acceder a la estructura. Por el contrario, será necesario disponer una campaña de balizamiento específica, ya que no se podrán aprovechar las boyas que marcan los límites de la zona de baño para balizar esta estructura.

Por el contrario, las alternativas N°1: "estructuras alveolares a baja profundidad" y N°3: "estructura modular", sí se sitúan dentro de la zona de baño, por lo que no precisan de una campaña de balizamiento. Sin embargo, habrá que analizar la seguridad de las estructuras frente a los posibles bañistas que se dediquen al buceo de recreo, ya que estos no deben quedar atrapados en ellas ni producirse ningún tipo de accidente, lo cual se ha tomado como una de las condicionantes a la hora de realizar el diseño de estas estructuras. Respecto a la alternativa N°1, los orificios se han diseñado con un diámetro tal, que impidan la entrada al interior de la estructura, lo que imposibilita que los bañistas puedan quedar atrapados.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al subcriterio 3.2 "seguridad para bañistas y embarcaciones" es la siguiente:



	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1,00	1,50	0,75
Alternativa 2	0,67	1,00	0,75
Alternativa 3	1,33	1,33	1,00

Tabla 18. Matriz de comparación pareada en función de subcriterio 3.2. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Tras comprobar que la matriz es consistente se obtiene el vector propio de esta matriz. Las puntuaciones obtenidas son las siguientes:

	PESO OBTENIDO (%)
Alternativa 1: estructuras alveolares a baja profundidad	34.2
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	26.1
Alternativa 3: estructura modular	<b>39.8</b>

Tabla 19. Ponderación de alternativas en función del subcriterio 3.2. (Fuente: elaboración propia, 2023)

## 5. Alternativa óptima obtenida con el método AHP

Una vez se han calculado los vectores propios correspondientes a cada subcriterio para todas las alternativas, se forma una matriz que representa estos resultados. En la tabla siguiente se recogen dichos resultados:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Subcriterio 1.1	40,5	11,4	48,1
Subcriterio 1.2	30,6	40,6	28,8
Subcriterio 2.1	51,1	20,2	28,7
Subcriterio 2.2	24,4	39,9	35,6
Subcriterio 3.1	49,4	10,0	40,6
Subcriterio 3.2	34,2	26,1	39,8

Tabla 20. Matriz de valoración de las alternativas en función de los subcriterios. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Como menciona García Cárcel, A. (2021), esta matriz recoge las ponderaciones en forma de porcentajes de las alternativas según los subcriterios considerados. Al comienzo de este anejo, en concreto en el apartado 2.1.1, se obtuvo el vector propio que establece los pesos de cada

subcriterio elegido para realizar la comparación de las alternativas. Por lo tanto, al multiplicar la matriz anterior con el vector propio de los pesos de los subcriterios (primera tabla de la Tabla 2), se obtiene la puntuación final en forma de porcentaje de cada alternativa. Aquella que obtenga la puntuación más alta será considerada como la solución óptima y se describirá con mayor detalle en el Anejo N°X: "Diseño de la solución adoptada".

El vector obtenido de la multiplicación de la matriz anterior con el vector propio de ponderación de los subcriterios (primera tabla de la tabla 2) proporciona el siguiente resultado que permite determinar cual de las alternativas planteadas es la óptima.

	PUNTUACIÓN OBTENIDA (%)
<b>Alternativa 1: estructuras alveolares a baja profundidad</b>	<b>39.9</b>
Alternativa 2: diques homogéneos de baja cota (HLCS)	21.6
Alternativa 3: estructura modular	38.6

Tabla 21. Puntuación final de las alternativas: definición de alternativa óptima. (Fuente: elaboración propia, 2023)

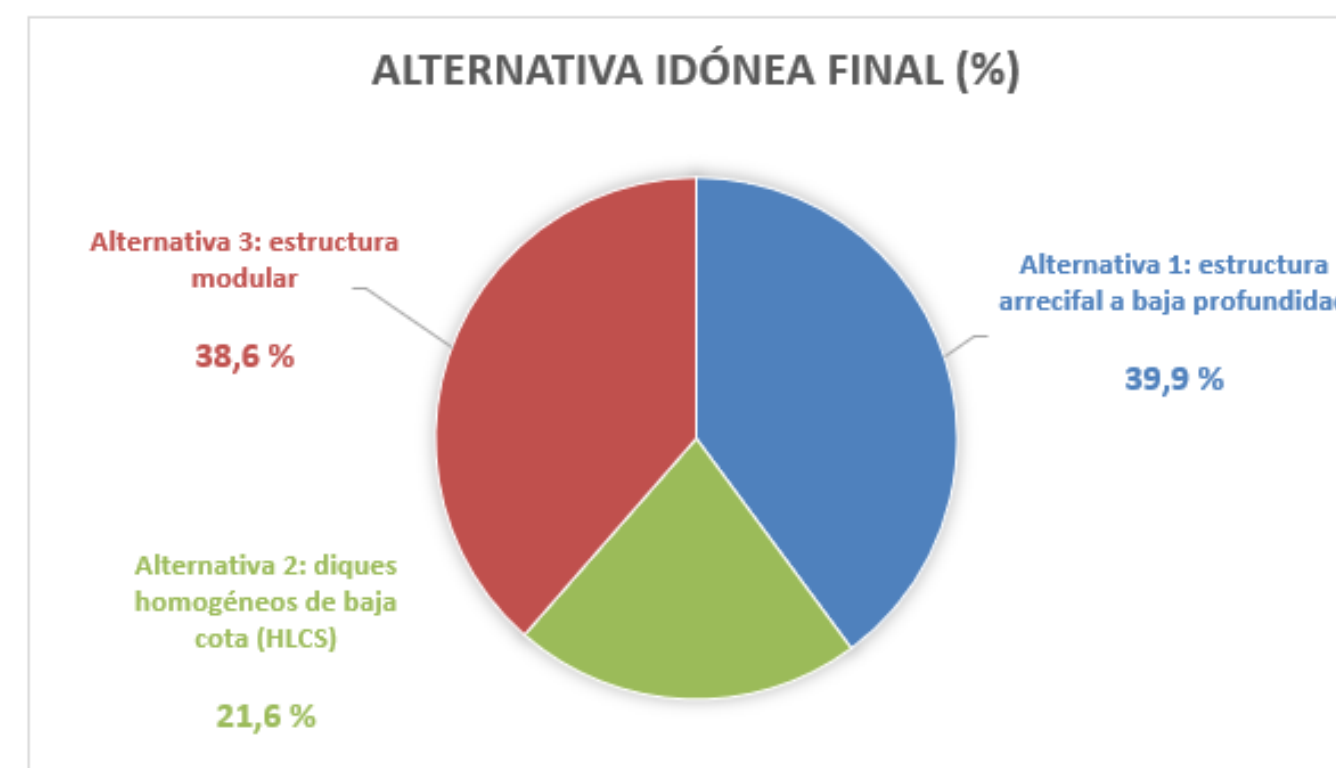


Figura 33. Puntuaciones de las alternativas - Alternativa idónea. (Fuente: elaboración propia, 2023)

### 5.1.1. Conclusión del estudio de soluciones

Después de analizar las alternativas planteadas en función a los criterios y subcriterios seleccionados y después de obtener las puntuaciones de las alternativas con respecto a dichos criterios y subcriterios, se va a pasar a describir el concepto en el que se basará el diseño de la solución finalmente adoptada, el cual se desarrollará con detalle en el siguiente anejo.

Como puede observarse en la tabla 21 o en la figura 33, las puntuaciones obtenidas por las alternativas N°1: “estructuras alveolares a baja profundidad” y N°3: “estructura modular” son muy similares, mientras que la alternativa N°2: “diques homogéneos de baja cota (HLCS)” ha obtenido una puntuación muy inferior, debido sobre todo al elevadísimo coste económico que conllevaría su construcción, la dificultad de desmantelamiento (ya que sería necesario retirar un elevadísimo número de cubípodos del fondo marino) y los reducidos beneficios sobre los ecosistemas marinos, sobre todo si se comparan con los potenciales beneficios que se obtendrían con las alternativas N°1 y/o N°3.

Por lo tanto, la alternativa N°2: “diques homogéneos de baja cota (HLCS)” queda descartada para dar solución al problema que se presenta en este estudio referente al hemitómbolo del Puig. Este tipo de solución podría ser competitiva en actuaciones pequeñas, que no requieran una gran cantidad de bloques/diques a disponer o en actuaciones en las que el beneficio sobre los ecosistemas y la capacidad de desmantelamiento no tengan un peso tan relevante como en el caso de este estudio.

Respecto a las otras dos alternativas planteadas, cada una de ellas muestra una serie de ventajas con respecto a la otra. En primer lugar, la alternativa N°1: “estructuras alveolares a baja profundidad” genera beneficios sobre los ecosistemas marinos muy superiores con respecto a la alternativa N°3: “estructuras modulares” gracias a la multitud de orificios que se incluyen en su superficie. Sin embargo, respecto al coste económico, se puede observar que el volumen de hormigón a disponer es mayor en la alternativa N°1, ya que se necesita una gran cantidad de piezas. A esto hay que sumarle la dificultad de creación de las piezas, ya que los orificios diseñados con el objetivo de aumentar los beneficios sobre los ecosistemas marinos complican mucho las labores de encofrado y desencofrado, lo cual resulta en un aumento de los costes.

En cuanto a la capacidad de desmantelamiento, aunque el número de piezas a disponer en la alternativa N°1 sea mayor, el tamaño de las mismas es menor y por tanto su peso también, por lo que el asentamiento sobre el terreno será menor y se podrán realizar las labores de hizado de las

piezas de nuevo a la superficie para su tratamiento de desmantelamiento. Con respecto a este mismo criterio, como se ha visto a la hora de definir la solución, la alternativa N°3 sufre asentamiento de aproximadamente el 30% de su altura, lo cual hace que se compliquen las labores de desmantelamiento en caso de que este fuese necesario si se produjesen efectos adversos sobre los ecosistemas marinos.

Por último, respecto a la reducción de la energía del oleaje para evitar la regresión de la línea de costa debido a la acción del oleaje, el cual es uno de los objetivos principales de este estudio, los coeficientes de transmisión del oleaje permiten realizar una comparación directa entre alternativas. Respecto a este criterio, se observa que el coeficiente de transmisión para las piezas diseñadas en la alternativa N°3 es menor que el del conjunto de piezas dispuestas en la alternativa N°1, lo cual indica que se produce una mayor reducción de energía del oleaje con el diseño específico de la alternativa N°3.

En resumen, se observa que tanto la alternativa N°1 como la alternativa N°3 podrían ser ambas válidas para este tipo de actuaciones, ya que han obtenido una puntuación muy similar y cada una de ellas cuenta con una serie de ventajas respecto a la otra. Por ello, para este estudio, se va a realizar un diseño específico que permita combinar las ventajas de cada una de las alternativas, es decir, se va a buscar un diseño de piezas que permitan generar beneficios sobre los ecosistemas marinos y que, a su vez, sean fáciles de desmantelar, tomando como base el diseño de la alternativa N°1 y, por otro lado, se va a buscar que la reducción del oleaje sea la máxima posible y que los costes de construcción y el volumen de hormigón sean los mínimos posibles, para ello se tomaran como referencia los módulos planteados en la alternativa N°3.

Combinando ambas alternativas se busca un diseño específico y único que pueda dar solución al problema generado por la desaparición de las praderas de Posidonia oceánica y el efecto que esta desaparición ha tenido sobre la reducción de energía del oleaje y la recesión de la línea de costa en el Hemitómbolo del Puig.

## **ANEJO N°8: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>117</b>
<b>2. Material a utilizar: hormigón</b>	<b>117</b>
2.1. <i>HORMIGÓN EN AMBIENTES MARINOS</i>	117
2.1.1. Deterioro de las prestaciones del hormigón	118
2.1.2. Efectos generados por el hormigón sobre el medio	118
2.2. <i>TIPO DE HORMIGÓN: MEDIDAS Y RECOMENDACIONES</i>	119
2.3. <i>INTERACCIÓN BIOLÓGICA CON EL HORMIGÓN</i>	119
2.4. <i>I+D+i PARA EL DESARROLLO DE LA BIODIVERSIDAD</i>	120
<b>3. Diseño final de los módulos arrecifales</b>	<b>121</b>
3.1. <i>PROFUNDIDAD Y POSICIÓN FINAL DE LAS ESTRUCTURAS</i>	121
3.2. <i>DISEÑO FINAL DE LAS PIEZAS</i>	122
3.3. <i>PIEZAS PARA GENERAR MAYORES BENEFICIOS SOBRE EL MEDIO</i>	124
3.4. <i>DISEÑO DE PIEZAS PARA RECLAMO TURÍSTICO - BUCEO</i>	126
3.5. <i>DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS ESTRUCTURAS ARRECIFALES</i>	127
3.6. <i>MATERIAL: HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO</i>	128
<b>4. Cálculo de estabilidad</b>	<b>129</b>
4.1. <i>ESTABILIDAD FRENTE LOS EFECTOS DEL OLEAJE</i>	129
4.2. <i>ESTABILIDAD FRENTE DESLIZAMIENTO Y VUELCO</i>	129
4.3. <i>CONCLUSIONES DEL CÁLCULO DE ESTABILIDAD</i>	131
<b>5. Valoración económica: volumen de hormigón</b>	<b>132</b>
<b>6. Balizamiento de las estructuras</b>	<b>132</b>
<b>7. Plan de vigilancia</b>	<b>133</b>
7.1. <i>VERIFICACIONES A REALIZAR</i>	134
7.2. <i>FUTURAS ACTUACIONES A REALIZAR</i>	135
7.3. <i>DESMANTELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS</i>	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Acidificación del agua en los océanos. (Fuente: Euronews, 2020)</i>	118
<i>Figura 2. Imagen del uso de EConcrete en arrecifes artificiales. (Fuente: EConcrete, 2021).</i>	120
<i>Figura 3. Comparativa entre el uso de hormigones convencionales y ECOconcrete. (Fuente: EConcrete, 2021).</i>	120
<i>Figura 4. Distancia de colocación de las estructuras respecto la línea de costa. (Fuente: elaboración propia, 2023).</i>	121
<i>Figura 5. Diseño y dimensiones de las piezas. (Fuente: plano 7, 2023)</i>	122
<i>Figura 6. Vista 3D de la solución adoptada. (Fuente: plano 7.2, 2023).</i>	123
<i>Figura 7. Sección transversal de la estructura asentada en el fondo. (Fuente: plano 7.1, 2023)</i>	123
<i>Figura 8. % energía transmitida, disipada y reflejada de alternativa semejante. (Fuente: Medina, J.R et.al, 2006).</i>	124
<i>Figura 9. Piezas interiores diseñadas para reclamo turístico. (Fuente: elaboración propia, 2023)</i>	126
<i>Figura 10. Distribución de los módulos en bloques. (Fuente: plano 7.6, 2023).</i>	127
<i>Figura 11. Distribución de los bloques. (Fuente: plano 7.8, 2023)</i>	127
<i>Figura 12. División en tramos de la zona de estudio. (Fuente: plano 7.7, 2023).</i>	128
<i>Figura 13. Fibras de acero con gancho. (Fuente: Más que ingeniería, 2015).</i>	128
<i>Figura 14. Propuesta de dosificación del hormigón reforzado con fibras. (Fuente: Espinoza Montenegro, A., 2010).</i>	128
<i>Figura 15. Definición de profundidad relativa. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998).</i>	129
<i>Figura 16. Formulación de estabilidad de la estructura frente al oleaje. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998).</i>	129
<i>Figura 17. Formulación calculo fuerza corriente submarina. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)</i>	129
<i>Figura 18. Formulación calculo velocidad de la corriente. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)</i>	130
<i>Figura 19. Formulación calculo fuerza de inercia. (Fuente: Herrero Rodríguez, B., 2019)</i>	130
<i>Figura 20. Formulación calculo aceleración del agua. (Fuente: Herrero Rodríguez, B., 2019)</i>	130
<i>Figura 21. Diagrama de fuerzas que actúan sobre los módulos arrecifales. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)</i>	131
<i>Figura 22. Sistema de balizamiento planteado. (Fuente: La Vanguardia, 2019).</i>	133
<i>Figura 23. Localización del sistema de balizamiento. (Fuente: plano 7.16, 2023)</i>	133
<i>Figura 24. Estado actual de los espigones. (Fuente: GVA, 2023).</i>	135

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Conjunto de fuerzas de arrastre. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	130
Tabla 2. Conjunto de fuerzas de resistencia al deslizamiento. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	131
Tabla 3. Comprobación deslizamiento de las estructuras. (Fuente. elaboración propia, 2023)..	131
Tabla 4. Número total de piezas / módulos dispuestos en la solución. (Fuente: elaboración propia, 2023) .....	132
Tabla 5. Precio total del hormigón reforzado con fibras. (Fuente: elaboración propia, 2023).....	132

## 1. Introducción

El objetivo fundamental de este anejo es llevar a cabo el diseño final de la solución óptima que se ha obtenido en el anejo N°7: "Estudio de soluciones". Esta solución consiste, como se vio en el anejo mencionado anteriormente, en la combinación del uso de estructuras modulares y estructuras alveolares para la creación de arrecifes artificiales que restituyan el efecto de reducción de la energía del oleaje, ejercido anteriormente por las praderas de Posidonia oceánica, y que, además, favorezcan el aumento de biodiversidad marina proporcionando así una protección costera efectiva y sostenible.

En este anejo además de definir el diseño final de las estructuras arrecifales, se va a desarrollar: el análisis del balizamiento de estas estructuras, el plan de vigilancia a seguir una vez estas estructuras queden colocadas y un plan de futuras actuaciones a realizar una vez sean colocadas.

## 2. Material a utilizar: hormigón

Como se vio en el anejo N°2: "Estudio de piezas para la construcción de arrecifes artificiales", con respecto al material, los módulos de hormigón son los mejores debido a su gran estabilidad, larga duración o periodo de vida, así como por la gran disponibilidad y variabilidad de refugios que pueden ofrecer en su diseño. En este apartado se va a realizar un estudio previo de este material, explorando distintas alternativas en su composición y dosificación para seleccionar aquella que proporcione las mejores prestaciones y que permita fomentar el crecimiento y mejora de los ecosistemas marinos.

### 2.1. HORMIGÓN EN AMBIENTES MARINOS

En primer lugar, se van a describir las características químicas del agua de mar para considerar su interacción con los materiales utilizados en la creación de la estructura arrecifal seleccionada.

Según Cifuentes Lemus, J.L, et.al (1998), la composición química del agua de mar suele ser uniforme en la mayoría de los casos. Entre los elementos principales presentes en el agua de mar se encuentran el cloruro sódico (NaCl), el cloruro magnésico (MgCl<sub>2</sub>), los sulfatos de magnesio y calcio (MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>) y los cloruros y sulfatos de potasio (KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). La cantidad de sales disueltas por litro de agua de mar suele ser alrededor de 35 g, representando aproximadamente el 3,5% en peso de sales solubles, si bien esta proporción puede variar según la ubicación geográfica y el mar u océano estudiado. Por ejemplo, en el Mediterráneo varía entre 36 y 39 gramos por litro dependiendo de la estación del año.

Las concentraciones iónicas más significativas corresponden al sodio (Na<sup>+</sup>) y al cloruro (Cl<sup>-</sup>), presentes en cantidades de 11 y 20 g por litro, respectivamente. Además, el magnesio (Mg<sup>2+</sup>) y los sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) tienen concentraciones de aproximadamente 1,4 y 2,1 g por litro.

Como se menciona en la página web Decología.info (2018), estos valores se deben de tener muy en cuenta, debido a que los cambios en el pH del agua de mar pueden provocar acidez o alcalinidad. En esa misma página web, Decología.info (2018), se menciona que el pH está principalmente influenciado por las cantidades disueltas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), que desempeñan un papel importante en su control. El pH normal del agua de mar suele oscilar entre 8,2 y 8,4, pudiendo ser incluso más bajo. Las variaciones en el pH



pueden generar aguas más ácidas, lo cual afecta negativamente al hormigón, ya que el pH del hormigón se encuentra en torno a 12,5-13, lo que indica una alcalinidad elevada. Como se menciona en El Blog de Víctor Yepes (2018), esta diferencia de pH puede reducir la resistencia del hormigón debido al proceso de carbonatación, que provoca una disminución del pH del hormigón. Por consiguiente, se concluye que el agua de mar reduce la alcalinidad y resistencia del hormigón. Es necesario crear una alcalinidad baja para mitigar este efecto, pero ello conlleva el riesgo de la pasivación de las armaduras si se emplea hormigón armado.

Por lo tanto, para reducir el pH del hormigón, se deben añadir aditivos a la mezcla para acidificarlo, utilizando por ejemplo cementos compuestos con fosfato de magnesio para corregir el pH en el caso de hormigones alcalinos y lograr un pH aproximado de 8. Se recalca que esta posibilidad de reducir el pH se aplica principalmente al hormigón en masa para contrarrestar los problemas que puedan surgir, ya que, si se aplica este proceso al hormigón armado, se producirá la oxidación de las armaduras, lo cual es contraproducente. Más adelante se abordarán, en una sección específica, las consideraciones necesarias para abordar esta limitación.

### 2.1.1. Deterioro de las prestaciones del hormigón

La construcción de módulos de hormigón requiere resistencia a las condiciones físicas y químicas del entorno marino, dado que estarán ubicados en el fondo del mar. Es fundamental que cumplan con ciertas características para evitar reacciones con los componentes presentes en el agua. Tanto el cemento como los agregados utilizados en el hormigón deben ser inertes, evitando así desencadenar reacciones no deseadas. Además, la impermeabilidad de los módulos debe alcanzar un grado de eficacia suficiente para prevenir la corrosión (Obs.pers.).

Estas características, junto con los niveles de resistencia necesarios, son aspectos cruciales que se deben tener en cuenta al diseñar y dosificar correctamente el hormigón para la construcción de las estructuras arrecifales. Como menciona Agulló Fité, L. (2007) en su artículo “Consideraciones de diseño del hormigón en estructuras offshore. Capítulo II – El ambiente marino y sus procesos de degradación sobre el hormigón”, la impermeabilidad del hormigón adquiere una importancia especial, ya que constituye la principal barrera para hacer frente al deterioro ocasionado por el ambiente marino en las estructuras de hormigón. Este deterioro puede ser consecuencia de la acción química de los componentes del agua de mar sobre los productos de hidratación del cemento, así como de la reacción álcali-ácido cuando se utilizan agregados incorrectos o reactivos.

Asimismo, como se señala en El blog de Víctor Yepes (2018), es necesario tener en cuenta factores como la posible cristalización de sales durante la construcción, el apilamiento y transporte de las estructuras, así como la erosión física generada por las olas y partículas en suspensión. Estos factores pueden aumentar la permeabilidad del hormigón, dando lugar a ataques más significativos y agravando la durabilidad de las estructuras.

En este apartado se analizarán los desencadenantes que pueden llegar a afectar la impermeabilidad del hormigón de las estructuras diseñadas, con el objetivo de considerarlos en el diseño final. Uno de los problemas principales es la dosificación incorrecta tanto en el diseño como en la elaboración del hormigón. Asimismo, una duración inadecuada en los tiempos de curado y en la compactación puede ser otra causa relevante de reducción en la permeabilidad del hormigón. Como señala Agulló Fité, L. (2007), es esencial tener en cuenta las micro fisuras que se producen en el hormigón debido a la retracción térmica o al secado, ya que generan vías de acceso para agentes químicos. Por tanto, se debe llevar a cabo un curado adecuado para contrarrestar los efectos adversos que puedan surgir. Además, se debe realizar un diseño correcto en cuanto a las formas de los módulos (incluyendo el diseño y construcción adecuados de las juntas) y al recubrimiento de las armaduras.

### 2.1.2. Efectos generados por el hormigón sobre el medio

Como señala Euronews (2020) en su artículo “La acidificación de los océanos: un enorme reto para los ecosistemas”, el océano desempeña un papel importante en la absorción continua de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generado en el planeta, gracias a su capacidad de disolver este gas. La acidificación de los océanos ocurre cuando el agua marina reacciona con el CO<sub>2</sub>, lo que crea más productos químicos que favorecen la acidificación y reducen la presencia de importantes minerales, como el carbonato de calcio, el cual los organismos marinos necesitan para sobrevivir

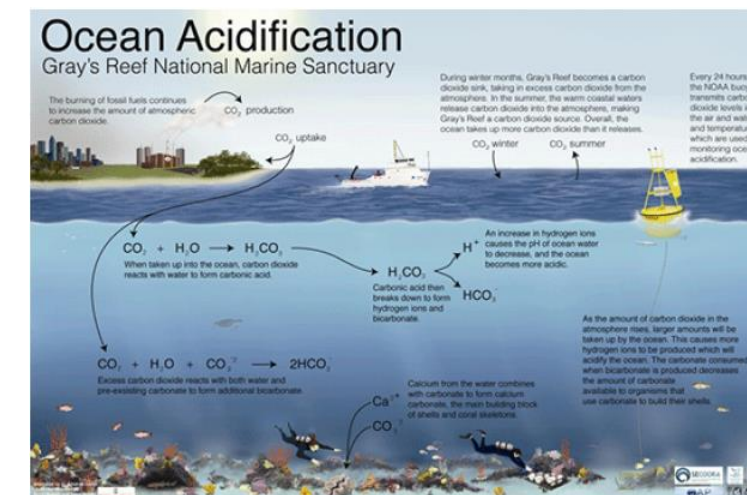


Figura 1. Acidificación del agua en los océanos. (Fuente: Euronews, 2020)

Según El blog de Víctor Yepes (2018), la presencia de estos componentes químicos cerca de las estructuras arrecifales, las cuales están diseñadas usando hormigón, conlleva un aumento en la concentración de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>), lo que provoca a su vez una disminución en el pH del agua y acidifica el entorno. Esta acidificación resulta perjudicial tanto para el hormigón de las estructuras arrecifales como para los organismos marinos que conforman el ecosistema asociado a ellos. Es importante tener en cuenta este efecto, ya que disponer estructuras arrecifales muy cercanas a las zonas de praderas de Posidonia oceánica podría dañarlas debido a esta acidificación del agua. Este efecto no es condicionante para la disposición de estas estructuras cercanas a las praderas, sin embargo, hay que tenerlo en cuenta ya que puede influir sobre el período de crecimiento y en la reproducción de las praderas.

## **2.2. TIPO DE HORMIGÓN: MEDIDAS Y RECOMENDACIONES**

En este apartado se van a analizar los distintos tipos de hormigón existentes adecuados para realizar estructuras marinas. Se va a realizar un análisis de los mismos destacando las ventajas y/o inconvenientes que puedan presentar cada uno de ellos.

Tal como menciona la EHE-08 (2008) la cantidad máxima de cemento por metro cubico de hormigón recomendado es de 400kg. Si se supera este límite se deberían realizar una serie de justificaciones experimentales y sería necesaria una autorización expresa de la dirección de obra. Para asegurar la protección de las armaduras frente a la corrosión, el mínimo exigible es de 350kg/m<sup>3</sup>, el cual ha sido establecido por la EHE.

Las mezclas con alto contenido de cemento producen hormigones con menor permeabilidad, lo cual beneficia la durabilidad de las estructuras diseñadas. Sin embargo, esto produce altas temperaturas en su reacción, las cuales se deben reducir, por ejemplo, seleccionando cementos de bajo calor de hidratación, enfriando algunos elementos de la mezcla, como los áridos o sustituyendo parte del cemento por puzolanas.

Tal como se ha mencionado anteriormente, para que un hormigón mejore su resistencia en el ambiente marino debe tener una baja permeabilidad. Esto se puede conseguir con una dosificación de los materiales continua, buscando la mayor compacidad posible o con una baja relación agua/cemento. Como las estructuras arrecifales diseñadas se dispondrán en el fondo marino, donde la exposición de los cloruros es alta, se producirán mayores profundidades de penetración como se menciona en El blog de Víctor Yepes (2018). Por ello, el tipo de cemento

tiene una mayor influencia sobre la profundidad de penetración de cloruros que en sí, la relación agua/cemento.

Es importante considerar el posible deterioro de la superficie del hormigón ocasionado por las corrientes que genera el oleaje. Es fundamental garantizar una resistencia del hormigón mínima adecuada y emplear materiales más duros que los sedimentos abrasivos transportados por dichas corrientes. En consecuencia, se ha decidido utilizar hormigones con una **resistencia mínima de 35 MPa**.

## **2.3. INTERACCIÓN BIOLÓGICA CON EL HORMIGÓN**

En este apartado se va a proceder al análisis del impacto de los organismos en las superficies de las estructuras arrecifales construidas en hormigón. Como indica Prieto Quintana, D. (2020) en su artículo "*Fabricación de arrecifes artificiales con morteros sostenibles mediante impresión 3D*", para favorecer la colonización por parte de los organismos, es necesario que el hormigón presente características específicas de porosidad y un pH bajo. Con el fin de promover el asentamiento de organismos, se debe considerar aumentar la porosidad media de la superficie de las piezas, ya que la mejora de la rugosidad de la superficie es directamente proporcional a la mejora en la colonización de las especies.

Es importante señalar que las bacterias, cianobacterias, algas y moluscos marinos formarán un biofilm en la superficie, proporcionando una base de soporte y alimento para otros organismos. Como menciona Ros Martí, P. (2022) las algas y moluscos tienen la capacidad de reducir el pH superficial, lo que afecta a la bioreceptividad del hormigón y contribuye al metabolismo de las especies biológicas. En el entorno marino donde se encuentran las estructuras arrecifales, es recomendable utilizar hormigones con baja alcalinidad y niveles de pH neutros mediante aditivos y aglomerantes adecuados. El uso de este tipo de hormigones fomentará la colonización natural de la superficie por microorganismos protectores y mejorará las condiciones para el desarrollo de un ecosistema maduro.

El uso de hormigón armado puede agravar el deterioro, ya que el contacto con el medio acuático debilita la superficie del hormigón y facilita la entrada de agentes corrosivos. Por tanto, para el diseño de las estructuras de este estudio, **se va a evitar por completo el uso de armaduras no estrictamente necesarias para la construcción de este tipo de estructuras**, ya que su uso produciría una notable reducción de la vida útil de este tipo de estructuras.



Además, con ello se consigue una considerable reducción del coste y de los tiempos de construcción de las piezas, ya que se evitan labores de ferrallado adicionales.

Como se menciona en El Blog de Víctor Yepes (2013), las algas presentes en la superficie del hormigón pueden mejorar el sellado y reducir la porosidad, pero sus raíces pueden penetrar en los pequeños poros y generar una expansión perjudicial, causando desintegración del hormigón a largo plazo. Además, la descomposición de la vegetación genera ácidos orgánicos y sulfatos que aceleran la degradación de la superficie del hormigón. También es importante considerar que el crecimiento de algas marinas aumenta la rugosidad superficial, lo que puede influir en la estabilidad estructural debido a una mayor carga hidrodinámica debido a la acción del oleaje.

#### 2.4. I+D+i PARA EL DESARROLLO DE LA BIODIVERSIDAD

Recientemente están apareciendo nuevas fórmulas diseñadas y pensadas para abordar la composición química del hormigón, y las características de su micro superficie con el objetivo de ofrecer soluciones innovadoras respecto a la composición del hormigón para infraestructuras marítimas. Estas soluciones no solo mejoran sustantivamente el rendimiento estructural, sino que, además, son capaces de almacenar carbono y ofrecer beneficios para la biodiversidad.

Una de estas soluciones es la presentada por la empresa EConcrete. El fundador de esta empresa, el Dr. Ido Sella (2021), en su entrevista “EConcrete: hormigón para desarrollar la biodiversidad” con la ONG-AIVP, menciona que se ha desarrollado una tecnología del hormigón que permite la construcción de infraestructuras que cumplen con las normas sobre construcción costera y que se prestan para la proliferación de diversos ecosistemas marinos, ayudando en la descarbonización y apoyando los objetivos ecológicos. Esta empresa ofrece una tecnología del hormigón ecológica y respetuosa con el medioambiente para la construcción de infraestructuras portuarias verdes en apoyo de las necesidades de las autoridades portuarias en relación con la sostenibilidad



Figura 2. Imagen del uso de EConcrete en arrecifes artificiales. (Fuente: EConcrete, 2021).

Según Lavey, Moriah (2022) en su artículo titulado "Marine Biodiversity & EConcrete: Balancing Infrastructure and Ecology", el hormigón representa aproximadamente el 70% de las infraestructuras marinas, pero su influencia en el asentamiento y desarrollo de la vida marina es adversa. El hormigón proporciona un sustrato artificial que no sustituye las condiciones naturales de los hábitats autóctonos.

En consecuencia, las estructuras tienden a ser dominadas por especies invasoras oportunistas que pueden tolerar condiciones difíciles, lo que resulta en la homogeneización de la comunidad en una determinada zona. Las infraestructuras costeras y marinas construidas con hormigón convencional perturban el equilibrio natural y dan lugar a entornos menos diversos y más vulnerables desde el punto de vista ecológico. Esto es un indicativo de que se debe dar prioridad a maximizar la complejidad para sustentar una rica biodiversidad y evitar que las zonas costeras acaben quedándose sin vida (Obs.pers).

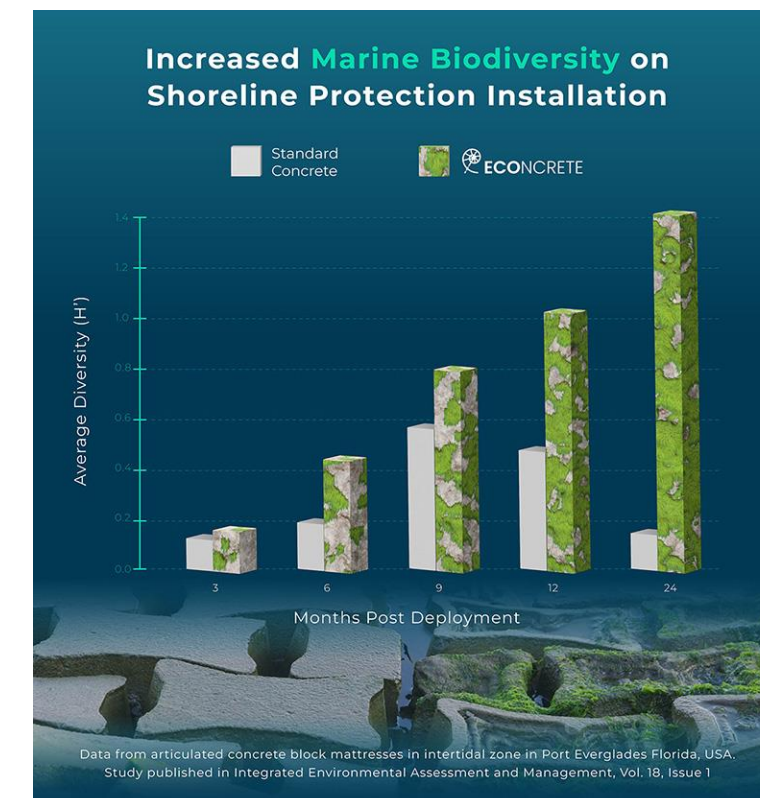


Figura 3. Comparativa entre el uso de hormigones convencionales y EConcrete. (Fuente: EConcrete, 2021).

Como menciona Lavey, Moriah (2022), a nivel microscópico, los aditivos de EConcrete contribuyen a equilibrar químicamente el hormigón, mejorando su impermeabilidad y fortaleciendo su resistencia a los iones cloruro. De esta manera, como menciona el Dr. Ido Sella (2021), EConcrete crea un sustrato menos adverso para los organismos marinos y facilita la conexión con diversos hábitats lo que permite el asentamiento de una amplia variedad de



especies. Este logro se alcanza mediante la implementación de texturas y diseños complejos. Estas innovaciones posibilitan que la vida marina no solo se establezca, sino que también perdure y prospere, lo que con el tiempo refuerza la propia estructura. Como resultado, la infraestructura resultante cumple con las necesidades ecológicas al mismo tiempo que mantiene la integridad estructural (Obs.pers).

### 3. Diseño final de los módulos arrecifales

A continuación, se van a definir las características principales del diseño final realizado en este estudio basado en estructuras modulares colocadas de forma que se construya un arrecife artificial que restituya el efecto de reducción de energía del oleaje que proporcionaban las ya desaparecidas praderas de Posidonia oceánica en la zona del Hemitómbolo del Puig. Como se vio en el anejo anterior Anejo N°7: “Estudio de soluciones”, la solución óptima consistirá en la combinación del uso de estructuras modulares y estructuras alveolares.

Como se verá con mayor detalle en los siguientes apartados, la solución final se basa en la construcción de una serie de módulos arrecifales cuadrados, los cuales son fáciles de construir y de transportar ya que para su diseño se ha tenido en cuenta que estos se construirán en plantas de prefabricado y serán transportados por medios terrestres hasta la zona de actuación. Estos módulos cuadrados estarán huecos en su interior, para que, una vez fondeados y asentados, se coloquen estructuras alveolares en el interior de algunos de los módulos. Estas estructuras alveolares cuentan con una gran cantidad de huecos que, como se ha visto en anejos anteriores (los anejos correspondientes al estudio de piezas y al estudio de soluciones), proporcionan grandes beneficios para los ecosistemas marinos.

En el diseño de estas estructuras también se ha tenido en cuenta que puedan ser fondeadas con facilidad, ya que como se verá a continuación, la profundidad final de colocación es reducida, lo cual complica en gran medida el procedimiento constructivo. Estos problemas se tratarán con mayor en el anejo correspondiente al estudio del proceso constructivo.

En este apartado también se definirá con detalle la distribución en planta de las estructuras, las cuales se agruparán en bloques de 150, 200 y 250 metros de longitud. Por último, se visualizará la distribución en planta de los distintos bloques, analizando su posición final respecto a la línea de costa y la separación a disponer entre los mismos.

### 3.1. PROFUNDIDAD Y POSICIÓN FINAL DE LAS ESTRUCTURAS

En este caso, el diseño final de las piezas que formarán las estructuras arrecifales se ha diseñado para colocarse a baja profundidad, en concreto dentro de la zona de baño de 200 metros desde la línea de costa (como las alternativas 1 y 3 que se han expuesto en el anejo anterior). Con esto, como se verá en apartados posteriores, se consigue una notable reducción de la energía del oleaje que llega a la costa y, por ende, se reduce la regresión de la línea de costa. En la siguiente figura (figura 4) se muestra la distribución en planta de uno de los bloques que se han diseñado, en esta figura se observa como dicho bloque se ha colocado a 200 metros de la línea de costa, lo cual, consultando el plano correspondiente a la batimetría de la zona (plano 2.1), se corresponde con una **profundidad de 4 metros** medidos desde el nivel medio del mar.

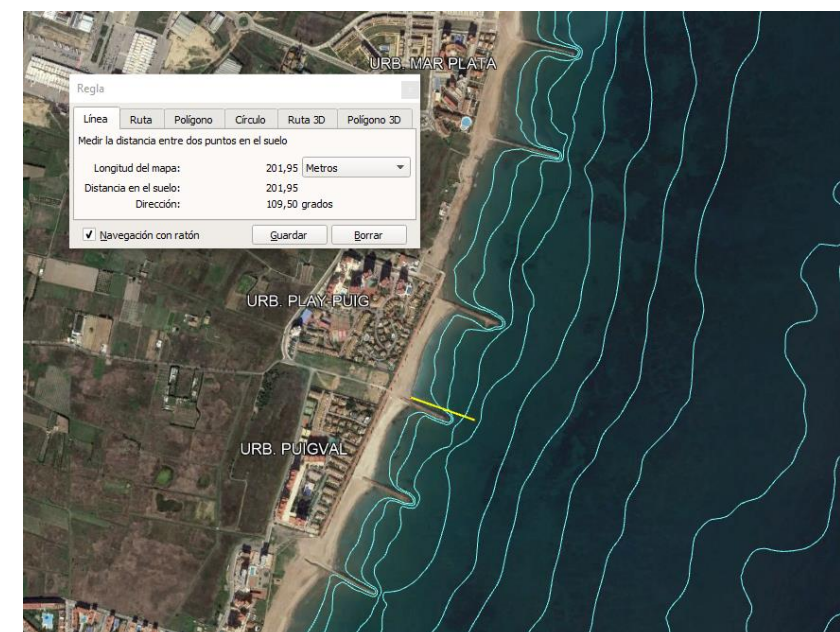


Figura 4. Distancia de colocación de las estructuras respecto la línea de costa. (Fuente: elaboración propia, 2023)

### 3.1.1. Altura de ola de diseño de las piezas

Como se definió en el Anejo N°6 “Clima marítimo y estudio del nivel del mar”, se ha tenido en cuenta el índice de rotura del oleaje por fondo a la hora de caracterizar el oleaje. El valor de este índice es de 0.78, por lo que las olas con  $H > 0.78 \cdot d$  romperán, es decir, la ola más grande que puede haber a una profundidad  $d$  es  $0.78 \cdot d$ . Como se vio en dicho anejo, este factor suele ser el que limita las alturas de ola en profundidades reducidas (<20 m), ya que la profundidad hace que la ola rompa antes de alcanzar la altura obtenida con la propagación del oleaje. Como se ha mencionado, la profundidad final de colocación de las piezas es de 4 metros, por lo que, la altura de ola estará limitada por la rotura por fondo del oleaje y, por tanto, la altura de ola de diseño de las estructuras arrecifales será de:

$$H_s = 0.78 \cdot d = 0.78 \cdot 4 = \mathbf{3.2 \text{ metros}}$$

### 3.2. DISEÑO FINAL DE LAS PIEZAS

A continuación, se van a definir las características geométricas, la posición final, el efecto de las piezas sobre el oleaje, el material de construcción, entre otros, de las piezas diseñadas finalmente. Para ello se van a extraer numerosas imágenes de los planos de este estudio, haciendo referencia a los mismos en cada una de las figuras que aparezcan para que pueda consultarse el plano correspondiente si se quiere observar con mayor detalle.

#### 3.2.1. Definición de la sección

Como se mencionó en el anejo correspondiente al estudio de soluciones, los costes de construcción y la capacidad de desmantelamiento de las piezas, eran dos de los criterios de mayor importancia a la hora de realizar el diseño de las piezas. Teniendo estas dos premisas en cuenta, la alternativa correspondiente a las estructuras modulares era la que mayores beneficios presentaba, ya que las labores de encofrado y desencofrado se simplifican y son piezas fáciles de transportar por vía terrestre, lo cual las hace muy atractivas para empresas de prefabricados de hormigón.

En este estudio, se ha decidido diseñar unas piezas que formen una estructura resistente frente a la acción del oleaje y que sean fáciles de construir, transportar y colocar. Para ello, se ha diseñado una pieza muy similar a las piezas cuadradas que se presentaron en la alternativa N°3 “estructuras modulares”. Sin embargo, se han realizado pequeñas modificaciones en su sección y dimensiones y se han eliminado las piezas triangulares, con el objetivo de que se tenga un solo

encofrado para la construcción de las piezas. Como se verá en el anejo correspondiente al proceso constructivo, este tipo de piezas son muy atractivas para las empresas de prefabricados de marcos de carreteras para pasos inferiores u obras de drenaje transversal gracias a la reducida complejidad en su diseño.

Uno de los objetivos que se ha buscado a la hora de realizar el diseño de las piezas es que estas fueran fáciles de transportar por vía terrestre. Teniendo esto en cuenta, se han tomado las medidas de los contenedores comunes de 20 pies para realizar el diseño de las piezas, ya que se corresponden con las medidas estándar de las plataformas de los camiones de transporte. Las medidas estandarizadas de los contenedores de 20 pies son de 2.5 metros de ancho y alto y 6 metros de largo. Por esta razón, como puede verse en la figura 5, el ancho de las piezas se corresponde con el ancho de la plataforma de transporte de los camiones, 2.5 metros. El largo de las piezas es de 3 metros, lo cual permite que se puedan transportar dos piezas por camión. Por último, el alto de las piezas se ha diseñado teniendo en cuenta el efecto que estas deben ejercer sobre el oleaje, por ello se han diseñado con una altura de 3 metros, lo cual no se corresponde con las medidas estándar de los contenedores de 20 pies. Este aumento en la altura hace que sea necesario realizar un estudio de los gálibos a la hora de analizar el transporte de las piezas por vía terrestre dentro del análisis del proceso constructivo.

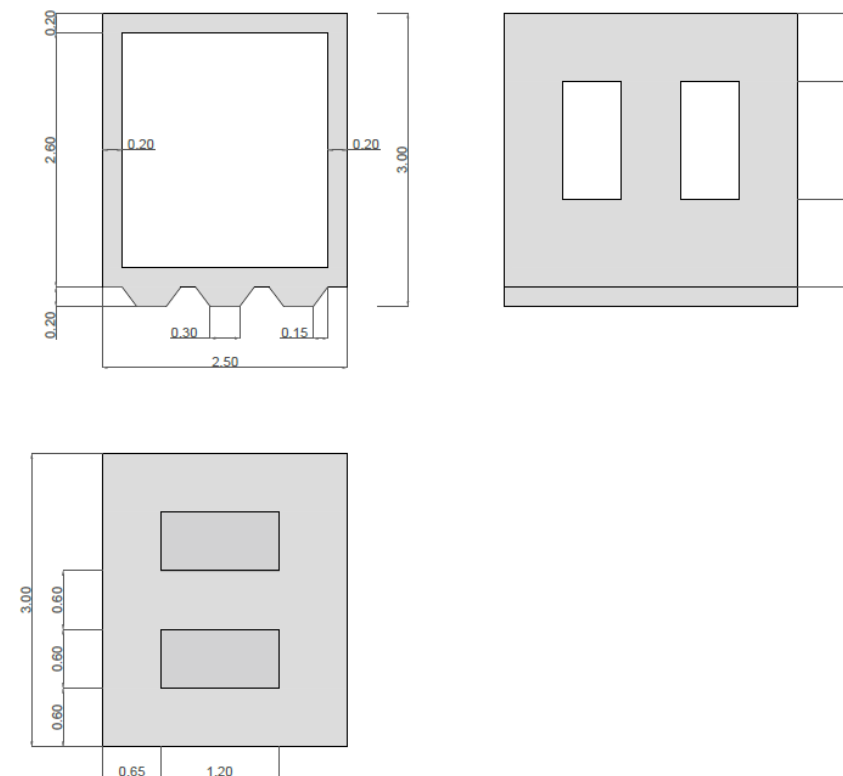


Figura 5. Diseño y dimensiones de las piezas. (Fuente: plano 7, 2023)

El espesor de las paredes es de 20 centímetros para que, en caso de colocarse armaduras de acero estas tengan un recubrimiento suficiente para que no se produzca la corrosión de las mismas ni ataques por agentes marinos. El volumen total de hormigón consumido por las piezas es de 5.8 m<sup>3</sup> de hormigón aproximadamente, el cual considerando un peso específico del mismo de 2300 kg/m<sup>3</sup>, significa un peso total de cada una de las piezas de aproximadamente 13.5 toneladas. A continuación, se muestran una serie de imágenes de vistas 3D del diseño final de la pieza que formará las estructuras arrecifales.

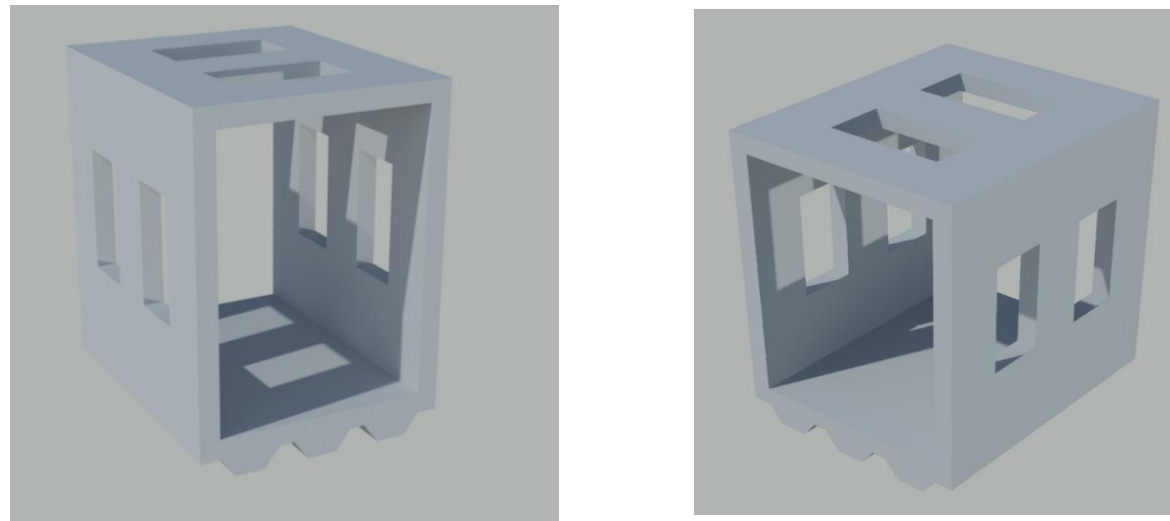


Figura 6. Vista 3D de la solución adoptada. (Fuente: plano 7.2, 2023)

Se puede observar que la base o solera de las piezas tiene un espesor mayor ya que cuenta con una serie de protuberancias. Estas protuberancias se han diseñado con dos objetivos, el primero de ellos es dotar de mayor volumen en la parte inferior de la estructura, reduciendo de esta forma su centro de gravedad y el segundo es aumentar la superficie de contacto con el terreno. Al reducir el centro de gravedad de la estructura se reduce también la posibilidad de vuelco de la estructura y además, se dota de mayor peso a la parte inferior lo cual facilitará las labores de fondeo de la estructura haciendo que esta sea más estable a la hora de ser sumergida. Por otra parte, aumentando la superficie de contacto con el terreno se consigue una mejor distribución de las cargas sobre el mismo, con lo que el asentamiento de la pieza sobre el fondo marino será menor y esto reportará una mayor reducción del oleaje ya que la pérdida de altura debida al asentamiento correspondiente será menor.

Como se ha mencionado en el párrafo anterior, es importante considerar que al instalar las piezas diseñadas sobre suelos arenosos o sedimentos más finos, se puede esperar un asentamiento por socavación que representa aproximadamente el 30% de la altura total de la pieza. Este asentamiento afectará al francobordo, lo que resultará en una reducción del efecto de

la estructura sobre el oleaje, es decir, debido a la socavación y la consiguiente pérdida de altura, el efecto de reducción del oleaje de la misma se verá disminuido. A continuación, se muestra una figura de la sección transversal de la estructura una vez esta ha asentado, en la que se estima que la pérdida de altura debido al asentamiento es de aproximadamente 70 centímetros. En esta misma figura se observa que el francobordo de la estructura con respecto al nivel medio del mar es de -1.7 metros. Este dato será de vital importancia a la hora de analizar el efecto de reducción del oleaje que tienen estas estructuras, analizando el coeficiente de transmisión de las mismas.

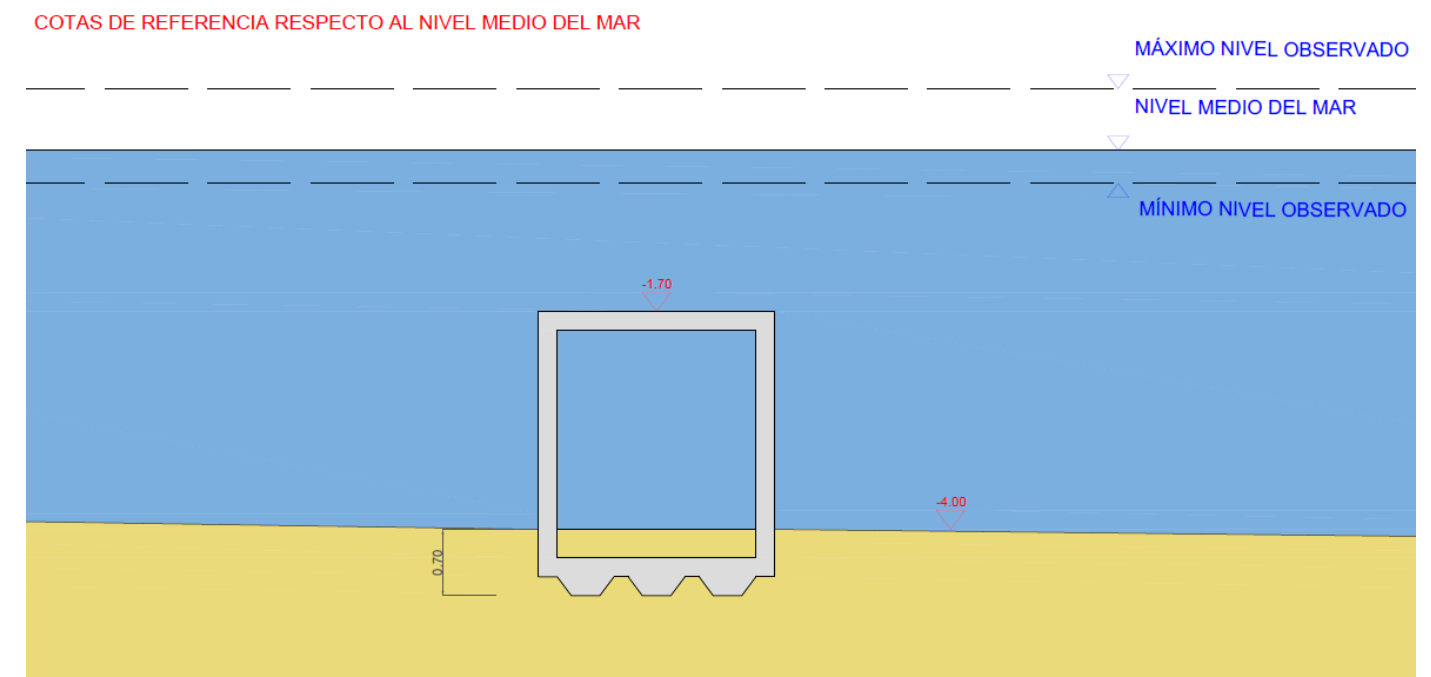


Figura 7. Sección transversal de la estructura asentada en el fondo. (Fuente: plano 7.1, 2023)

Finalmente, se puede observar en las figuras 5 y 6 que la pieza cuenta con una serie de orificios en sus paredes. Estos orificios se han diseñado con un doble propósito, el primero de ellos es el de facilitar la colocación de los globos de flotación de las piezas (esto se verá con mayor detalle en el anejo correspondiente al estudio de soluciones) y el segundo de ellos es el de generar mayores espacios y mayor superficie de contacto para generar beneficios sobre los ecosistemas marinos. Como se vio en el estudio de soluciones, otro de los objetivos principales que se persigue en este trabajo es el de diseñar piezas que generen beneficios en la generación de ecosistemas y que mejoren la biodiversidad marina. Respecto a este objetivo, se vio que la alternativa N°1 "Estructuras alveolares a baja profundidad" era la que mayores beneficios sobre los ecosistemas generaba, por ello los orificios de las paredes se han diseñado con este propósito, para generar canales seguros para la fauna marina.



Sin embargo, como se verá en el apartado 3.3 de este mismo anejo, aprovechando el esqueleto resistente que ofrecen estas estructuras, se han realizado varias propuestas de diseño de módulos alveolares que se pueden colocar en el interior de las piezas que formaran los arrecifes artificiales, generando de esta forma mayores beneficios para la biodiversidad marina.

Se observa por tanto que el diseño final propuesto recoge los beneficios de las alternativas propuestas en el estudio de soluciones. Por una parte, las piezas diseñadas que formarán los arrecifes artificiales proporcionan una reducción de la energía del oleaje considerable, son piezas fáciles de construir, transportar y colocar y, en caso de que fuese necesario, también son piezas fáciles de dismantelar. Por otra parte, con el diseño de los módulos alveolares complementarios, colocados en el interior de las piezas que forman los arrecifes, se consiguen generar mayores beneficios sobre los ecosistemas marinos.

### 3.2.2. Efectos de las estructuras diseñadas sobre el oleaje

Con respecto a la capacidad de reducción de energía del oleaje, se va a realizar el análisis del coeficiente de transmisión del oleaje del diseño final presentado. Para el análisis de la capacidad de reducción de la energía del oleaje se han tomado como referencia los distintos estudios realizados por Medina, J.R. et.al (2006 y 2019). En estos estudios se realizaron una serie de ensayos de laboratorio que tenían como objetivo analizar el comportamiento de las estructuras modulares planteadas en la alternativa N°3 frente a la acción del oleaje. Se han tomado como referencia estos mismos estudios para el análisis de la transmisión del oleaje de las estructuras finalmente diseñadas debido a su semejanza.

En el caso del diseño realizado que se corresponde con las figuras 5, 6 y 7, los valores del francobordo y profundidad de colocación son, respectivamente:  $R_c = -1.7$  metros y  $h = 4$  metros. Se obtiene que la relación francobordo/profundidad (francobordo adimensional) tiene un valor de  $R_c/h = -0.4$ . Analizando la figura 8 que se muestra a continuación y tomando el valor de  $R_c/h$  obtenido anteriormente, se puede estimar que el coeficiente de transmisión del oleaje que se obtiene con el diseño final es de  $K_t = 0.6$ .

El coeficiente de transmisión mide la cantidad de energía que se transmite a través de un obstáculo y se define como el cociente entre la altura de ola incidente y la transmitida. Por tanto, esto indica que, en caso de que llegará a la estructura diseñada la altura de ola de calculo de 3.2 metros, tras el paso por la estructura, se produciría la rotura del oleaje y la altura de ola transmitida sería de aproximadamente 1.8 metros.

Autor: Alejandro García Cárcel

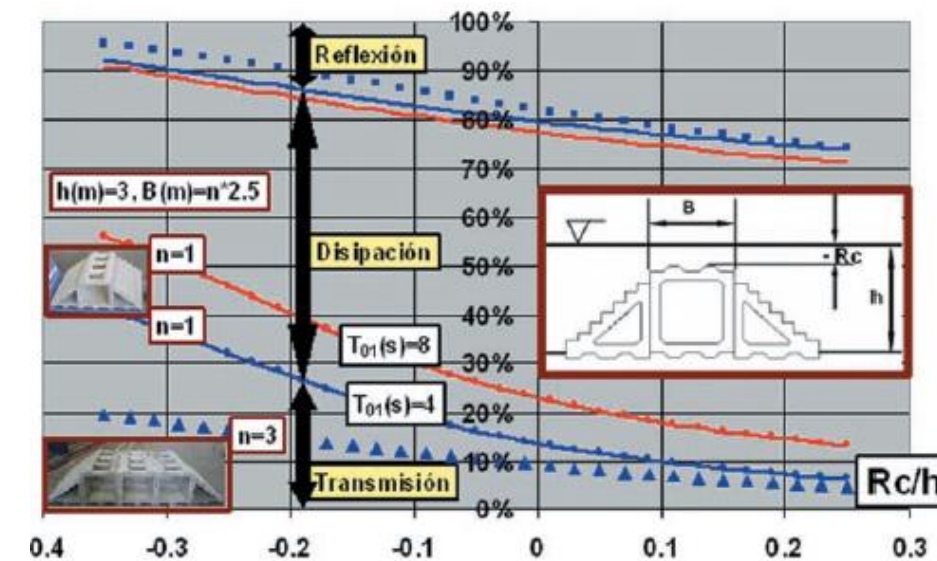


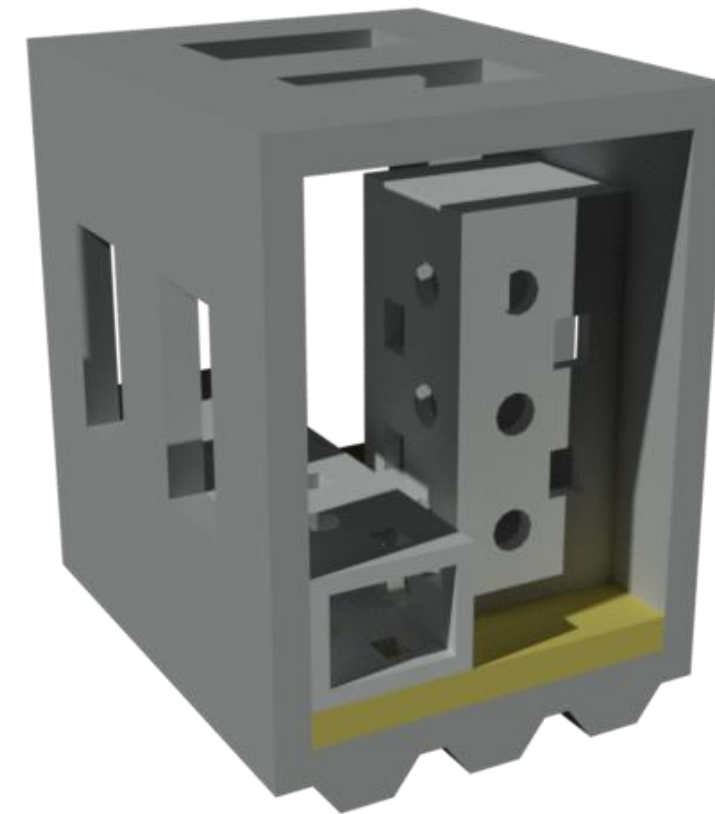
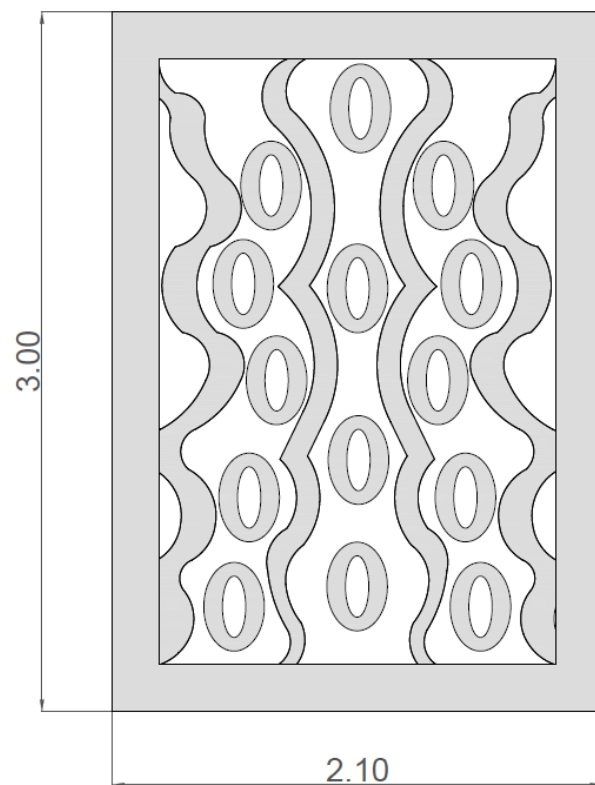
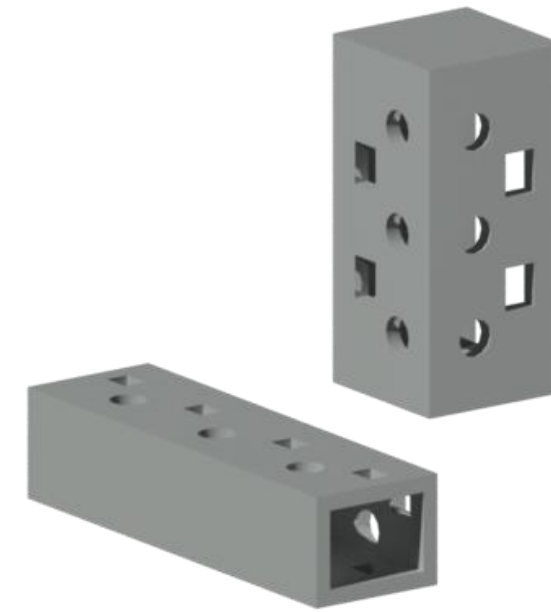
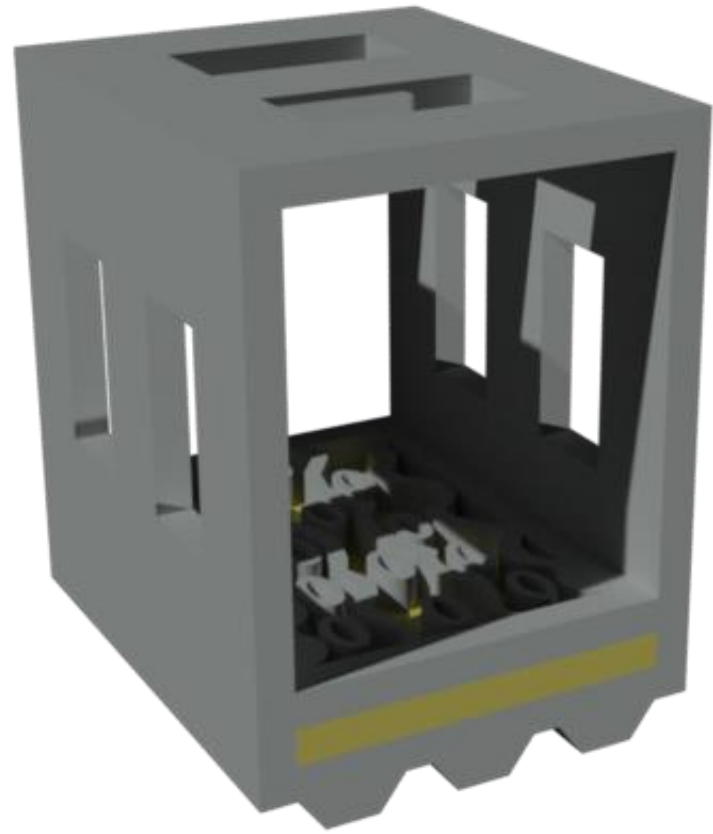
Figura 8. % energía transmitida, disipada y reflejada de alternativa semejante. (Fuente: Medina, J.R et.al, 2006)

### 3.3. PIEZAS PARA GENERAR MAYORES BENEFICIOS SOBRE EL MEDIO

Como se ha mencionado en el apartado 3.2.1 de este mismo anejo, aprovechando el esqueleto resistente que ofrecen los módulos diseñados, se han realizado varias propuestas de diseño de estructuras alveolares que se pueden colocar en el interior de estas, generando así mayores beneficios para la biodiversidad marina.

Estas piezas se han diseñado con el objetivo de ofrecer la mayor superficie de contacto con el medio y fomentar así la proliferación y colonización de las especies. En este caso no se busca que sean fáciles de construir, sino que se busca maximizar los beneficios sobre el medio, por ello se han diseñado módulos alveolares, los cuales pueden construirse fácilmente mediante el uso de tecnologías punteras en impresión 3D ya sea con materiales plásticos o con cementos u hormigones.

Estas piezas se colocarán en el interior de las estructuras que formarán los arrecifes artificiales una vez estos hayan asentado sobre el fondo marino como se detallará a la hora de analizar el proceso constructivo. Esto se realiza de esta forma para evitar que las piezas queden socavadas por el terreno y pierdan su eficacia. A continuación, se muestra una serie de imágenes con las propuestas de diseño de este tipo de piezas. Se recomienda visualizar los planos 7.3, 7.4 y 7.5 para poder apreciar con mayor detalle las dimensiones y particularidades de las propuestas de piezas para la generación de mayores beneficios para la biodiversidad que se han diseñado en este estudio.



### 3.4. DISEÑO DE PIEZAS PARA RECLAMO TURÍSTICO - BUCEO

Como se ha mencionado en el apartado 3.2.1 de este mismo anejo, aprovechando el esqueleto resistente que ofrecen las piezas diseñadas, se han realizado varias propuestas de diseño de piezas que generen un cierto atractivo turístico para los arrecifes artificiales diseñados en este estudio.

Como se ha podido observar, los arrecifes artificiales que se han diseñado se encuentran localizados dentro de la zona de baño y, por lo tanto, estas estructuras pueden ser visitadas por los bañistas. En el marco de este estudio se ha procedido a la implementación de una serie de estructuras específicas en el interior de los elementos diseñados con la finalidad de promover un atractivo turístico para bañistas y buceadores. El objetivo principal ha sido mejorar la recepción y acogida de la obra por parte de la comunidad, haciéndola más agradable y amigable. Estas piezas, cuidadosamente instaladas, buscan generar un entorno visualmente atractivo y sin olvidarse de propiciar la formación de hábitats marinos, lo que contribuye a la diversificación y enriquecimiento de la experiencia turística y recreativa en la zona. De esta manera, se espera que la integración de estos elementos favorezca una mayor aceptación y valoración del proyecto, al tiempo que se fomenta el cuidado y conservación del entorno marino, en armonía con el objetivo general del desarrollo sostenible.

Se ha tomado la decisión de emplear edificios emblemáticos de la ciudad de Valencia como referentes para el diseño de estas piezas que se colocan en el interior de los módulos diseñados. La elección de estructuras como las Torres de Serranos y Quart, o el Oceanográfico, se debe a su significativo valor histórico y cultural, así como a su relevancia en el paisaje urbano de la ciudad de Valencia, las cuales las hace fácilmente reconocibles.

La inspiración tomada de estos icónicos edificios ha permitido incorporar elementos estéticos y temáticos en el diseño de las piezas, aportando un componente distintivo que busca captar la atención y el interés de los bañistas. La incorporación de detalles arquitectónicos y ornamentales reconocibles en estas estructuras emblemáticas añade un atractivo adicional al entorno marino, enriqueciendo la experiencia de los bañistas y buceadores.

Asimismo, al vincular estas piezas con edificios históricos y culturales, se promueve una mayor identificación con la ciudad y su patrimonio. Esto contribuye a una percepción más positiva y favorable de la obra, reforzando su aceptación por parte de la comunidad local y visitantes.

Además, la selección de elementos inspirados en el Oceanográfico, un emblemático acuario y centro de investigación marina, refuerza la relación de la obra con el entorno marino, incentivando el interés en la conservación y protección de los ecosistemas marinos. A continuación, se observan una serie de imágenes extraídas de los planos que muestran el acabado final de este tipo de piezas, las cuales serán construidas con materiales plásticos mediante el uso de impresoras 3D.

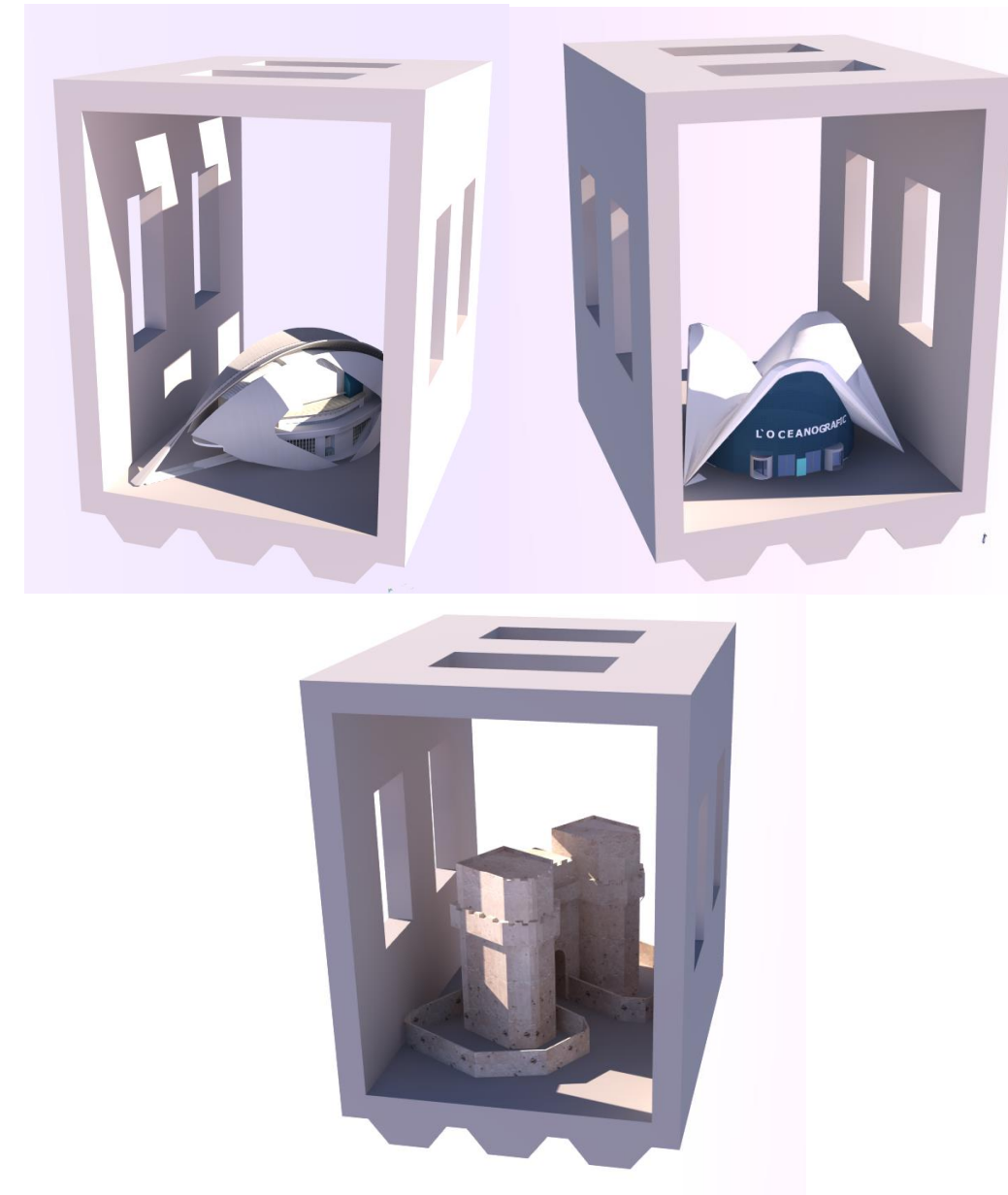


Figura 9. Piezas interiores diseñadas para reclamo turístico. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Estas piezas, al igual que las diseñadas para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad, se colocarán en el interior de los módulos que formarán los arrecifes artificiales una vez estos hayan asentado sobre el fondo marino. Esto se realiza de esta forma para evitar que las piezas queden socavadas por el terreno y pierdan su atractivo.



### 3.5. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS ESTRUCTURAS ARRECIFALES

Resulta imprescindible determinar la posición final de las estructuras arrecifales. En este apartado se va a definir la malla de colocación de las piezas y la distribución de las mismas dentro de los bloques diseñados. A continuación, se muestra una imagen en la que puede observarse la configuración de los distintos bloques que se han diseñado como solución final.

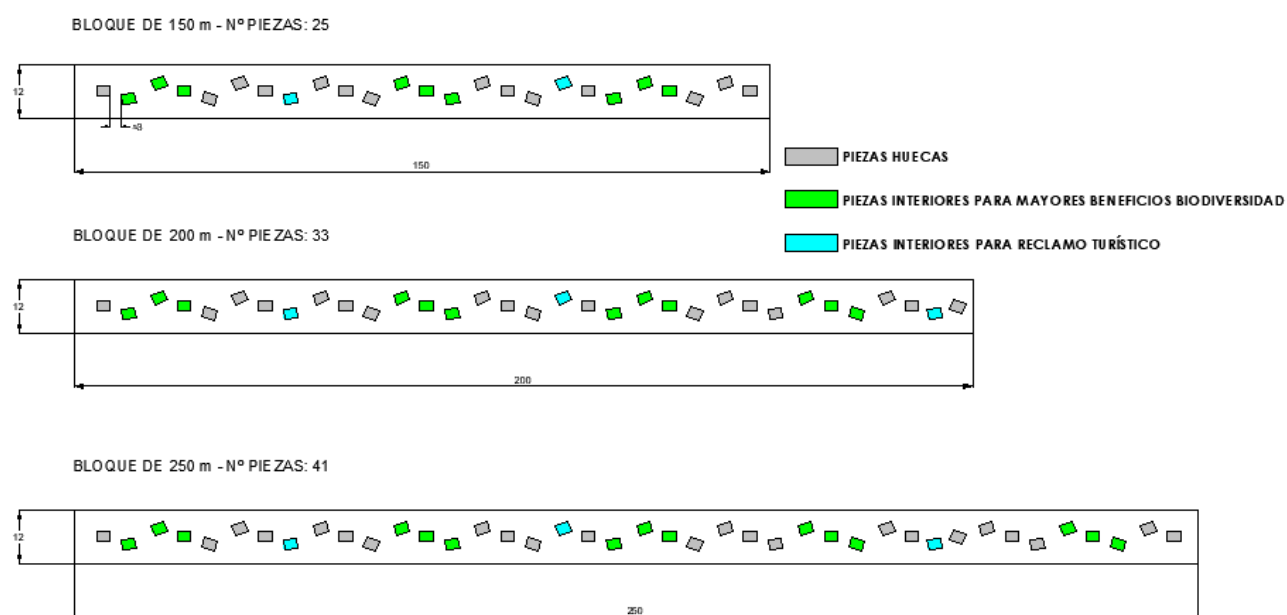


Figura 10. Distribución de los módulos en bloques. (Fuente: plano 7.6, 2023)

En la figura 10 se observan los tres tipos de bloques diseñados, de 150, 200 y 250 metros de longitud, los cuales se han proyectado en función de las necesidades de cada uno de los tramos en los que se ha dividido la zona de actuación como se verá en apartados posteriores.

La principal característica de estos bloques es la malla de colocación de los módulos para su formación. La ventaja fundamental que ofrecen estos módulos es que la colocación de los mismos es aleatoria, es decir, no se trata de una estructura longitudinal continua y unida, sino que se trata de piezas colocadas aleatoriamente, con una separación aproximada de 3 metros entre ellas. Esta característica hace que el procedimiento constructivo se simplifique en gran medida, ya que no es necesario disponer de buzos para su colocación, con lo que se aumentan los rendimientos de colocación. Además, no será necesario geolocalizar cada uno de los módulos mediante GPS ya que se colocan aleatoriamente, al tresbolillo.

Como se observa en la figura 10, se ha realizado una distribución de las distintas piezas colocadas en el interior de los módulos las cuales han diseñadas para para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad marina o como reclamo turístico para los buzos. En el caso de las piezas diseñadas para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad, se ha decidido concentrar la colocación de estas piezas generando pequeñas “islas” separadas entre sí ya que como se mencionó en el anejo correspondiente al estudio de piezas para la creación de arrecifes artificiales (Anejo N°2) “los arrecifes más aislados tienden a ser más efectivos para aumentar la complejidad y el tamaño de la comunidad” (Luque et al., 2001).

Se muestra a continuación una imagen extraída de los planos correspondientes al diseño de la distribución en planta en la que se observa que los bloques tendrán una separación aproximada de 80 metros entre sí, aunque en algunos casos puede llegar a ser superior dependiendo de la configuración de los espigones existentes.

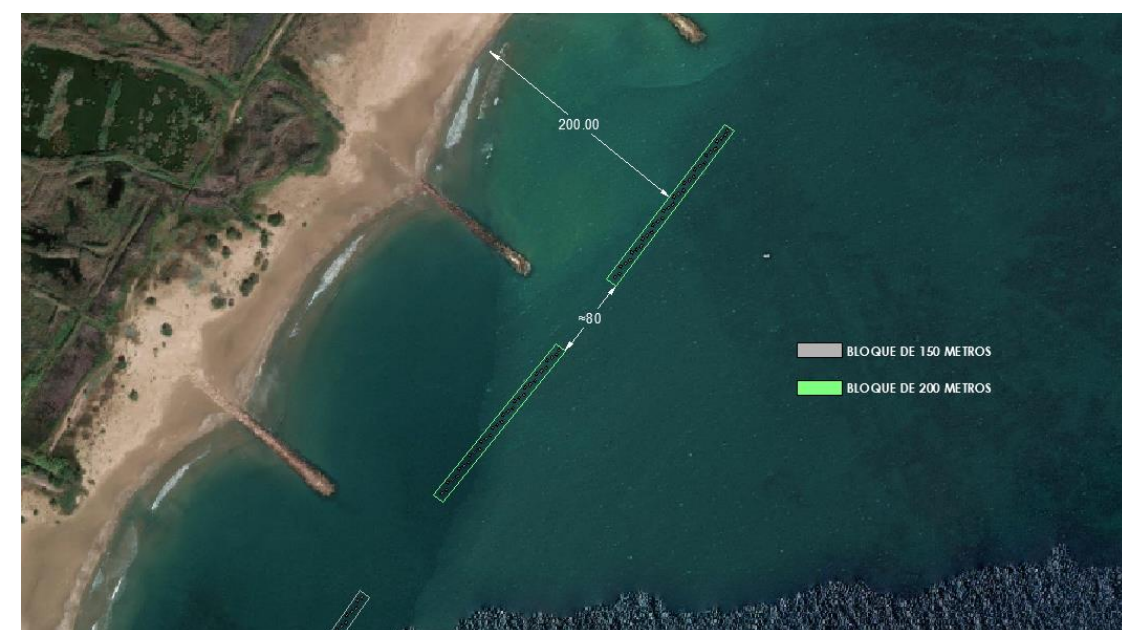


Figura 11. Distribución de los bloques. (Fuente: plano 7.8, 2023)

#### 3.5.1. División en tramos de la zona de estudio

Se muestra a continuación una imagen en la que se puede observar la división en tramos de la zona de estudio que se ha realizado. Esta división se ha llevado a cabo debido a la existencia de los espigones transversales que delimitan las zonas de actuación y que no permiten una distribución homogénea de los bloques, haciendo necesario que se hayan tenido que diseñar tres tipos de bloques de diferentes dimensiones como se ha visto en el apartado anterior (figura 10). La división final de la zona de estudio en distintos tramos se ha realizado de la siguiente forma:



Figura 12. División en tramos de la zona de estudio. (Fuente: plano 7.7, 2023)

Se recomienda visualizar los planos del 7.8 al 7.14 para poder visualizar, con mayor detalle, la distribución en planta de los bloques que se ha realizado para cada uno de los tramos definidos en este apartado.

### 3.6. MATERIAL: HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Como se ha señalado en el apartado 2.3 de este mismo anejo, se considera que la incorporación de hormigón armado puede agravar el proceso de deterioro de las armaduras debido a la interacción con el ambiente acuático, lo que propiciaría la corrosión de las mismas. Por lo tanto, en el diseño de las estructuras planteadas, se ha optado por el uso de las armaduras imprescindibles para su construcción. Esta medida se adopta con el fin de asegurar una mayor vida útil de los módulos.

En sustitución de las armaduras, se ha decidido utilizar hormigón reforzado con fibras de acero ya que este material no tiene los problemas de durabilidad que sí tiene el hormigón armado. Las fibras de acero alteran la estructura del hormigón, haciéndolo más resistente a las tensiones, flexiones y menos sensible a fisuras. Como se menciona en la web Becosan (2020) las fibras de acero se reciclan de otros usos industriales, por ejemplo, una fuente popular de fibra de acero son los neumáticos de chatarra de automóviles y camiones.

La principal ventaja que presenta el uso de hormigones con fibras es la durabilidad. Esto se debe, principalmente, a que los filamentos de acero consiguen controlar la fisuración y evitan que las grietas se propaguen, y debido a que no se disponen barras de armado, no se produce la corrosión de las mismas que es el principal problema del hormigón armado en ambientes marinos. Además, la utilización de fibras reduce notablemente el peso de los módulos lo cual supone una gran ventaja a la hora de transportar y colocar las estructuras.

La principal desventaja que presenta el uso de este tipo de material es, como se menciona en la página web Más que Ingeniería (2015), que las fibras reducen la docilidad de la mezcla debido a su forma y rigidez, por lo que la proporción de elementos finos y gruesos debe ser la adecuada. Estos hormigones son difíciles de trabajar cuando la dosificación de fibras sobrepasa el 2% en el volumen de hormigón. Existe una gran cantidad de tipologías de fibras de acero que pueden ser utilizadas, en este diseño, se ha decidido por utilizar fibras de acero en forma de gancho conformadas en paquete, ya que son el tipo de fibras más fácil de disponer a la hora del amasado del hormigón.



Figura 13. Fibras de acero con gancho. (Fuente: Más que ingeniería, 2015)

A continuación, en la figura 14 se muestra una propuesta de dosificación del hormigón reforzado con fibras. En este caso, se trata de un hormigón de alta resistencia (> 100 Mpa) ya que se quiere evitar por completo el uso de armaduras convencionales. Este tipo de material cumple con los criterios de durabilidad, baja permeabilidad y flexibilidad que se le exigen y además es compatible con el medio. La dosificación de las fibras de acero se reduce a 50 kg/m<sup>3</sup>, ya que con conseguir una resistencia > 35 MPa es suficiente

Propuesta de Mezcla		
Materiales	% ( en peso de cemento)	Kg/m <sup>3</sup>
Cemento	1	810
Humo Sílice	0.20	162
Fibras de acero	0.25	203
Agua	0.20	162
Superplastificantes	0.025	20.3
Arena de sílice 2		
$d_{max} = 0.2 \text{ mm}$	0.35	284
$d_{50} = 0.11 \text{ mm}$		
Arena de sílice 1		
$d_{max} = 0.8 \text{ mm}$	0.80	648
$d_{50} = 0.5 \text{ mm}$		

Figura 14. Propuesta de dosificación del hormigón reforzado con fibras. (Fuente: Espinoza Montenegro, A., 2010)

## 4. Cálculo de estabilidad

A continuación, se va a realizar un análisis de la estabilidad de los diversos módulos ante las posibles cargas a las que estarán expuestos durante su vida útil. Este proceso tiene como finalidad garantizar que su rendimiento y posición sean óptimos, evitando en la medida de lo posible el vuelco, desplazamiento o daño en los módulos que constituyen las estructuras arrecifales.

### 4.1. ESTABILIDAD FRENTE LOS EFECTOS DEL OLEAJE

Para realizar el cálculo de estabilidad respecto al oleaje, se parte de los datos de profundidad mínima a la que se encuentran los módulos (d), la altura de ola de diseño (Hs) y el periodo pirco (Tp) calculados en el anejo N°6: "Clima marítimo y estudio del nivel del mar" y detallado para la profundidad final de colocación en el apartado 3.1.1 de este mismo anejo. También es necesario conocer la relación que establece la profundidad a la que se encuentra el arrecife (d) y la longitud de onda (L) del oleaje. Según esta última relación se define la profundidad relativa en la que se encuentra la estructura mediante el siguiente esquema:

Profundidad indefinida	Zona de transición	Profundidad reducida
$d / L < 1 / 2$	$1 / 25 < d / L < 1 / 2$	$d / L < 1 / 25$
$d / g \times T^2 > 0,08$	$0,08 > d / g \times T^2 > 0,0025$	$d / g \times T^2 < 0,0025$
$v \cong 0$	$L = g \cdot T^2 / 2\pi \cdot \operatorname{tg} h (2\pi d / L)$	$v \cong \text{cte}$

$$\frac{d}{L} = \frac{4}{245} = 0.016$$

Figura 15. Definición de profundidad relativa. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)

Se obtiene por tanto que las estructuras arrecifales diseñadas se encuentran a profundidad reducida ya que  $d/L = 0.016 < 0.04$ . Esto indica que la velocidad horizontal del agua será constante para toda la profundidad. Teniendo estas consideraciones en cuenta, con las características del oleaje se calcula la estabilidad de la estructura, utilizando la propuesta de Djoukovski y Bojitch (1959), que se representa mediante la siguiente expresión:

$$G (f \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) = S \cdot w \cdot \frac{\pi \cdot h^2}{L \cdot e^{-2\pi \frac{z}{L}}}$$

Figura 16. Formulación de estabilidad de la estructura frente al oleaje. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)

Donde:

- **G**: peso del arrecife artificial por unidad de superficie = **1600 kg/m<sup>2</sup>**
- **f**: coeficiente de rozamiento entre el arrecife y el fondo. Gayo Romero, J.L establece un valor recomendado de  $\approx 0.79$
- **$\alpha$** : pendiente del fondo en grados. En el caso objeto de estudio se va a considerar que la pendiente es despreciable y por tanto  $\alpha \approx 0$ .
- **S**: coeficiente de seguridad. Es el valor que quiere calcularse.
- **w**: peso específico el agua del mar = **1035 kg/m<sup>3</sup>**
- **h**: semi-altura de la ola de cálculo =  $H_s / 2 = 3'2 / 2 \approx 1.6 \text{ m}$
- **L**: semi-longitud de la ola de cálculo. Del anejo correspondiente con el clima marítimo, se obtiene que tras la propagación del oleaje, el valor de la semi-longitud de onda de la ola de cálculo es de  $L/2 = 90 / 2 = 45 \text{ m}$
- **z**: profundidad = **4 m**

Con los datos mostrados anteriormente y despejando de la formulación que se muestra en la figura 5 se obtiene el valor del factor de seguridad (S) el cual tiene un valor de:

$$\text{Factor de seguridad frente a oleaje (S)} = 2.5$$

### 4.2. ESTABILIDAD FRENTE DESLIZAMIENTO Y VUELCO

#### 4.2.1. Fuerzas de arrastre – Desfavorables

Con el fin de evaluar el desempeño de los módulos en términos de vuelco y deslizamiento, es esencial determinar la fuerza de arrastre ejercida por la corriente submarina (**F<sub>D</sub>**) a la que están expuestos. La magnitud de esta fuerza de arrastre puede ser calculada utilizando la siguiente fórmula propuesta por Gayo Romero, J.L (1998):

$$F_D = C_0 \cdot A \cdot W_0 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Figura 17. Formulación calculo fuerza corriente submarina. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)

Donde:

- **C<sub>0</sub>**: coeficiente de forma del arrecife
  - o C<sub>0</sub>= 1 circular
  - o **C<sub>0</sub>= 2 cuadrado**
  - o C<sub>0</sub>= 3 trabado



- **A:** sección perpendicular a la corriente. De los planos referentes a la solución adoptada y suponiendo una posición completamente perpendicular a la corriente incidente sobre la pieza, se obtiene que **A= 4.5 m<sup>2</sup>**
- **W<sub>0</sub>:** densidad del agua del mar = **1035 kg/m<sup>3</sup>**
- **V:** velocidad de la corriente (m/s)

Antes de determinar la fuerza de arrastre es necesario realizar el cálculo de la velocidad máxima horizontal de la corriente, lo cual se puede realizar con la siguiente formulación que proporciona Gayo Romero, J.L (1998):

$$V = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\cosh(k \cdot (z + d))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \cos \varphi$$

Figura 18. Formulación calculo velocidad de la corriente. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)

Donde:

- **H:** altura de ola de cálculo = **3.9 m**
- **T:** período del oleaje = **12.5 s**
- **k:** número de la ola = **2π/L = 0.07**
- **d:** profundidad = **4 m**
- **cosφ= 1** (máxima velocidad de la corriente)
- **z:** profundidad para la que se calcula la velocidad. En este caso se estima como más desfavorable el punto más alto de la estructura = **-1.7 m**

Sustituyendo en la fórmula de la figura 18, se obtiene que la velocidad de la corriente es de **v= 3.5 m/s**. Conociendo este dato y los mencionados anteriormente y utilizando la formulación que aparece en la figura 6, se obtiene que la fuerza de arrastre ejercida por la corriente submarina tiene un valor (en kilo newtons) de:

$$\text{Fuerza de arrastre de la corriente (F}_D) = 57.05 \text{ KN}$$

El siguiente paso consiste en calcular la fuerza de inercia (**F<sub>i</sub>**), la cual se calcula tomando como referencia la formulación definida en el trabajo realizado por Herrero Rodríguez, B. (2019):

$$F_i = C_M \cdot \rho \cdot Vol \cdot a$$

Figura 19. Formulación calculo fuerza de inercia. (Fuente: Herrero Rodríguez, B., 2019)

Donde:

- **C<sub>M</sub>:** coeficiente de inercia = **0.3** (ya que parte de la estructura se encuentra enterrada por el asentamiento de la misma, Gayo Romero, J.L 1998)
- **ρ:** densidad del agua del mar = **1035 kg/m<sup>3</sup>**
- **Vol:** volumen del objeto sumergido = **5.8 m<sup>3</sup>**
- **a:** aceleración de la partícula de agua (m/s<sup>2</sup>). La cual se calcula con la formulación que aparece en la figura 9, obteniéndose un valor de **a = 2.5 m/s<sup>2</sup>**

$$a = \frac{\pi \cdot H \cdot G}{L} \cdot \frac{\cosh(k \cdot (z + d))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \cos \varphi$$

Figura 20. Formulación calculo aceleración del agua. (Fuente: Herrero Rodríguez, B., 2019)

Conociendo este dato y los mencionados anteriormente y utilizando la formulación que aparece en la figura 19, se obtiene que la fuerza de inercia tiene un valor de:

$$\text{Fuerza de inercia (F}_i) = 38.81 \text{ KN}$$

Finalmente se obtiene que el conjunto de fuerzas desfavorables, es decir, el conjunto de fuerzas de arrastre suma:

Fuerzas de arrastre (KN)		
Arrastre de corriente (F <sub>D</sub> )	Fuerzas de inercia (F <sub>i</sub> )	Fuerzas de arrastre (F)
57.05	38.81	95.86

Tabla 1. Conjunto de fuerzas de arrastre. (Fuente: elaboración propia, 2023)

#### 4.2.2. Fuerzas de resistencia al deslizamiento - Favorables

Es de vital importancia considerar que, contar directamente con el peso propio de los módulos arrecifales diseñados es un error, ya que hay que tener en cuenta la fuerza de flotación de las piezas las cuales disminuyen el peso propio.

La fuerza de flotación ( $F_f$ ) viene definida por la ecuación que aparece a continuación. Considerando que  $\rho_w$  es la densidad del agua ( $\rho_w= 1035 \text{ kg/m}^3$ ) y que el volumen de las piezas es de  $7 \text{ m}^3$ , se tiene que:

$$F_f = \rho_w * VOL = 1035 * 7 = 7245 \text{ kN}$$

Por último, se calcula el peso propio de la estructura ( $F_{pp}$ ) tomando un valor del peso propio del hormigón con fibras de  $2400 \text{ kg/m}^3$  y conociendo el volumen de hormigón de la estructura diseñada, el cual es de  $7 \text{ m}^3$ . Se obtiene que el peso propio de la estructura es de:

$$F_{pp} = VOL_{horm} * \rho_H = 7 * 2400 = 16800 \text{ kN}$$

Como se observa en la figura 7 de este mismo anejo, el asentamiento de la estructura produce que un volumen de tierras se deposite en el interior de la estructura, el cual ejerce un efecto favorable de estabilidad. Considerando el peso propio del de este terreno de  $1600 \text{ kg/m}^3$  y sabiendo que el espesor de dicha capa de terreno es de aproximadamente  $0.3$  metros, se obtiene que el efecto del peso propio del terreno (arenas) en el interior de la estructura ( $F_{pt}$ ) es de:

$$F_{pt} = VOL_{arena} * \rho_{arena} = (0.3 * 2.1 * 3) * 1900 = 35.91 \text{ kN}$$

Finalmente se obtiene que el conjunto de fuerzas favorables, es decir, el conjunto de fuerzas de resistencia al deslizamiento suma:

**Fuerzas de resistencia al deslizamiento (KN)**

Fuerza flotación (Ff)	Fuerzas de peso propio (F <sub>pp</sub> +F <sub>pt</sub> ) estructura + terreno	Fuerzas de resistencia (Fr)
-51.75	169.31	117.56

Tabla 2. Conjunto de fuerzas de resistencia al deslizamiento. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Ahora que ya están obtenidas las fuerzas arrastre y de resistencia al deslizamiento se procede a realizar las comprobaciones frente a deslizamiento. **La condición de no deslizamiento es:  $Fr > F$** , con lo cual se comprueba el comportamiento de los diferentes módulos frente al deslizamiento:

**Comprobación de deslizamiento**

Fuerzas de arrastre (F)	Fuerzas de resistencia (Fr)	Comprobación (Fr > F)
95.86	117.56	NO DESLIZAMIENTO

Tabla 3. Comprobación deslizamiento de las estructuras. (Fuente. elaboración propia, 2023)

**4.2.3. Comprobación de vuelco**

A continuación, se procede a realizar la comprobación de estabilidad de los módulos respecto al vuelco. Como menciona Gayo Romero, J.L (1998), para que no se produzca el vuelco de las estructuras debe cumplirse la condición  $F \cdot d < N \cdot e$ . Los parámetros  $d$  y  $e$  se encuentran representados en la siguiente figura.

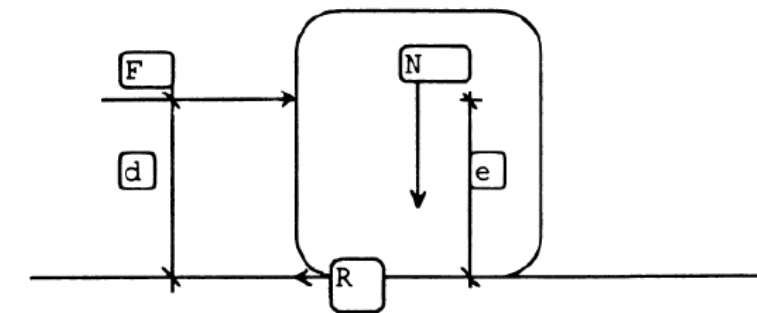


Figura 21. Diagrama de fuerzas que actúan sobre los módulos arrecifales. (Fuente: Gayo Romero, J.L, 1998)

Si se asume el mismo valor para  $d$  y para  $e$ , se tiene que la condición para que no se produzca el vuelco queda en  $F < N$ , que es la misma condición que se a analizado para estudiar el deslizamiento de las estructuras. En ambos casos, tanto en deslizamiento como en vuelco, las fuerzas de resistencia (favorables) son mayores que las fuerzas de arrastre o vuelco (desfavorables), por lo que, con estos cálculos, se comprueba que no se producirá ni el deslizamiento ni el vuelco de las estructuras arrecifales diseñadas en este estudio.

**4.3. CONCLUSIONES DEL CÁLCULO DE ESTABILIDAD**

Como se ha podido observar, en ambos casos, tanto en la comprobación a deslizamiento como a vuelco, los valores de las fuerzas de arrastre y de resistencia son muy similares, lo que indica que, aunque se cumplan las condiciones de no deslizamiento y/o vuelco, es probable que algunos de los módulos si sufran estas inestabilidades.

Sin embargo, esto ya se ha tenido en cuenta a la hora de realizar el diseño de los módulos, considerando que el vuelco de los mismos no tiene prácticamente influencia en su

funcionamiento. Estos módulos se encargan de reducir la energía del oleaje restituyendo las praderas de Posidonia oceánica degradadas, por lo que, aunque tras el paso de algún temporal algunos de los módulos puedan verse afectados, seguirán cumpliendo su función principal, que es reducir la energía del oleaje incidente sobre la costa. Es decir, el vuelco de estas estructuras no influye a la hora de cumplir el objetivo principal para el cual han sido diseñadas, solo cambiará su configuración y posición, lo cual, como se ha mencionado anteriormente, no tiene un impacto significativo en su funcionamiento.

## 5. Valoración económica: volumen de hormigón

En este punto se va a realizar una valoración económica analizando el volumen total de hormigón consumido por los módulos. En este apartado no se van a analizar los costes de construcción, transporte hasta la zona de estudio y colocación, ya que este trabajo se trata de un estudio, no de un proyecto en el que se tenga que detallar el desglose de cada una de las partidas que formarían la obra. El objetivo, por tanto, es realizar una primera estimación de los costes que tendría la obra a realizar. En el caso del transporte y colocación, se realizará también una estimación de los costes en el Anejo N°9: "Procedimiento constructivo y programa de trabajos".

Después de definir los límites respecto al nivel de detalle con el que se realiza esta valoración económica, el primer paso es definir el número total de piezas que se han dispuesto en el diseño de la solución final. Como se puede observar en el plano 7.6 "Dimensiones y distribución de los bloques", se han definido los bloques, formados por los módulos arrecifales diseñados, que conformarían los arrecifes artificiales. En ese mismo plano se puede observar el número de módulos que constituyen cada bloque. En el plano 7.7 "Distribución en planta general" se puede observar el número de bloques dispuestos, por tanto, multiplicando y sumando el número de bloques por el número de piezas por bloque, se tiene que el número total de piezas es de:

Nº bloques de 150 m	7
Piezas / bloque de 150 m	25
Nº bloques de 200 m	5
Piezas / bloque de 200 m	33
Nº bloques de 250 m	11
Piezas / bloque de 250 m	41
<b>Nº TOTAL DE PIEZAS</b>	<b>791</b>

Tabla 4. Número total de piezas / módulos dispuestos en la solución. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Conocido el número total de piezas/módulos, basta con multiplicar dicho número con el volumen de hormigón de cada uno de ellos, obteniéndose de esta forma el volumen total de hormigón necesario. Se tiene que el **volumen de cada una de las piezas es de 5.8 m<sup>3</sup>** según las dimensiones de los módulos que pueden observarse en el plano 7. Con ello se tiene que el volumen total de hormigón que consumiría la obra sería de aproximadamente 4588 m<sup>3</sup>.

A continuación, se calcula el precio por m<sup>3</sup> de hormigón reforzado con fibras de acero, tomando como referencia la Base de datos de la construcción del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE, 2023). El precio de las fibras de acero ronda los 2 €/kg, por lo que con la dosificación planteada que se puede observar en la figura 14, sabiendo que se ha modificado la cantidad de fibras a 80 kg/m<sup>3</sup> ya que con la obtención de un hormigón cuya resistencia sea superior a 35 MPa ya es suficiente como se ha visto en las recomendaciones de la EHE. Teniendo esto en cuenta, se tendría que el precio de las fibras de acero por m<sup>3</sup> sería de 50\*2 = 100 €/m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que el coste del hormigón en masa según datos del IVE (2023) es de aproximadamente 90 €/m<sup>3</sup>, se tiene que el coste total de hormigón por m<sup>3</sup>, es de aproximadamente 190 €/m<sup>3</sup>. Sabiendo el volumen de hormigón final, se tiene que el precio en hormigón de la solución finalmente adoptada es de aproximadamente:

	Número de piezas	Volumen hormigón (m <sup>3</sup> )	Precio total (€)
<b>SOLUCIÓN ADOPTADA: MÓDULOS ARRECIFALES</b>	791	<b>4588</b>	<b>871.682,5 €</b>

Tabla 5. Precio total del hormigón reforzado con fibras. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Es importante aclarar que este precio no incluye la mano de obra, el coste de los encofrados, el transporte o la colocación, solo hace referencial al coste total del material. En caso de que se realizará un proyecto de construcción usando esta tipología de piezas, sería necesario realizar un estudio detallado de todos los costes.

## 6. Balizamiento de las estructuras

El presente apartado tiene como objetivo describir el balizamiento de los arrecifes artificiales diseñados y presentar la propuesta de utilización de boyas ecológicas como parte del sistema de señalización de las áreas de baño, aprovechando los arrecifes artificiales proyectados. Los arrecifes artificiales se implementan estratégicamente dentro de la zona de baño, a una distancia aproximada de 200 metros de la línea de costa y a una profundidad de 4 metros. Una de las razones de colocarlos a esta distancia es aprovechar las estructuras diseñadas para los arrecifes



artificiales como pesos muertos para la instalación de las boyas que señalizan y delimitan las zonas de baño, lo que contribuiría además a una mayor eficiencia y sostenibilidad en su implementación.

Para garantizar la seguridad de los bañistas y buceadores y evitar colisiones con estas estructuras, se requiere el establecimiento de un adecuado balizamiento. El balizamiento consiste en la colocación de boyas y dispositivos de señalización para delimitar la ubicación exacta de los arrecifes y advertir a los usuarios de la presencia de obstáculos en el área. Para optimizar el balizamiento y fomentar la sostenibilidad, se propone el empleo de boyas ecológicas que hagan uso de las estructuras de los arrecifes artificiales como pesos muertos para su anclaje. Estas boyas estarían diseñadas para minimizar su impacto ambiental y maximizar su eficacia en la señalización. Al aprovechar las estructuras de los arrecifes, se evita la necesidad de instalar elementos adicionales en el fondo marino, reduciendo así la perturbación de los hábitats naturales.

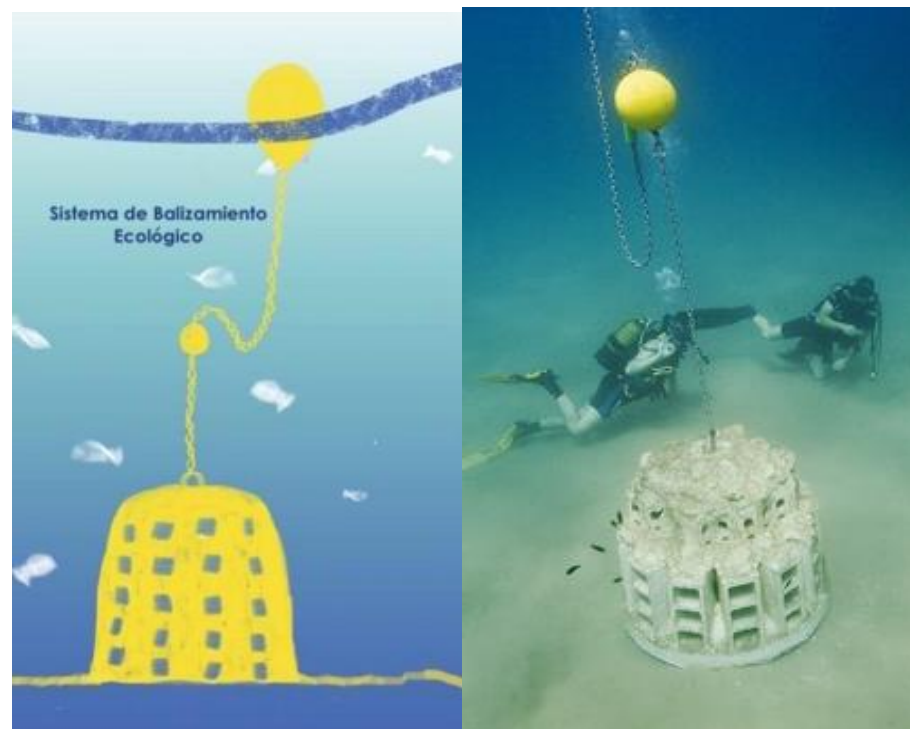


Figura 22. Sistema de balizamiento planteado. (Fuente: La Vanguardia, 2019)

En la selección de las boyas a utilizar, se seguirán rigurosamente las Normas de Seguridad en la Navegación y las directrices establecidas por la normativa de la Dirección General de Costas. En concreto, el equipamiento del que se dispondrá serán balizas luminosas instaladas en boyas BCP 1015. En concreto, estas boyas se situarán en cada uno de los extremos de los

bloques que conforman los arrecifes artificiales. Se muestra a continuación una imagen extraída del plano 7.16 en el que se muestra la distribución exacta de este balizamiento.



Figura 23. Localización del sistema de balizamiento. (Fuente: plano 7.16, 2023)

En conclusión, el balizamiento de arrecifes artificiales y el uso de boyas ecológicas constituyen una solución efectiva y sostenible para la señalización y protección de áreas de baño y entornos marinos sensibles. La integración de boyas en las estructuras de los arrecifes aprovecha de manera responsable los recursos disponibles y promueve la armonía entre la conservación del medio ambiente y la actividad recreativa. Además, el cumplimiento de las normativas y directrices asegura una implementación segura y conforme a los estándares establecidos para la navegación y la protección costera. Con estas medidas, se promueve un enfoque responsable y respetuoso con el entorno marino, garantizando un equilibrio entre el disfrute de las actividades acuáticas y la preservación de la biodiversidad.

## 7. Plan de vigilancia

Según define Reyes Moreno, M.C (2018), el propósito principal del plan de vigilancia radica en la coordinación de acciones para evaluar la eficacia ambiental, social y económica del proyecto, en concordancia con la planificación previa.

La supervisión deberá iniciarse desde la instalación del arrecife y mantenerse durante los primeros años de su actividad. Los hallazgos obtenidos en esta supervisión servirán como base

para tomar decisiones acerca de posibles ajustes en la estructura o, en situaciones extremas, para proceder a su retirada.

### 7.1. VERIFICACIONES A REALIZAR

Se verifica la eficacia de funcionamiento del arrecife según tres aspectos fundamentales, los cuales son:

- Vigilancia de la estabilidad
- Vigilancia ambiental
- Vigilancia de los efectos de la reducción de la energía del oleaje

En relación con el primer aspecto mencionado, se requerirá realizar monitoreos periódicos para evaluar la ubicación y altura del arrecife en relación con lecho marino. Estos monitoreos se llevarán a cabo mediante el uso de equipos de rastreo por sonar, así como dispositivos para verificar las coordenadas de las estructuras y equipos fotográficos para documentar los hallazgos. La integridad de las estructuras podrá ser evaluada mediante inspecciones visuales submarinas. Se sugiere llevar a cabo estas tareas mensualmente durante el primer año y anualmente durante los cinco años siguientes. Con ellas también se verificará el asentamiento real que habrán sufrido los módulos lo cual permitirá estimar la eficacia con respecto a la transmisión de la energía del oleaje.

Respecto al segundo de los aspectos mencionados, es importante recordar que uno de los principales objetivos que se busca con este estudio es el aumento de sitios de refugio, reproducción, crecimiento y desarrollo de organismos marinos para generar mayores beneficios sobre la biodiversidad marina de la zona. Los indicadores a evaluar al considerar esta función son:

- Número de especies que se encuentran
- Abundancia y/o cobertura de individuos por especie
- Tamaño de los individuos
- Volumen y especies de peces extraídos
- Número de visitas al arrecife anualmente

La cuantificación de la presencia de las especies seleccionadas se llevará a cabo mediante un censo en el terreno, registrando el número y tamaño de sus individuos. Para vigilar la diversidad y estructura espacial de las poblaciones en el arrecife, se incluirán no solo las especies seleccionadas, sino también los organismos asociados a ellas. Estas variables se

medirán mediante muestreos directos de la biota bentónica, seguidos de identificación y cuantificación (Reyes Moreno, M.C 2018). Otras opciones son la vigilancia fotográfica, que es no destructiva, o la instalación de paneles desmontables.

Por último, cuantificar de manera precisa el número de visitantes al arrecife debido a la disposición de las piezas como reclamo turístico puede ser complejo, ya que estas visitas provienen de individuos no relacionados con la organización que gestiona el arrecife pueden tener efectos negativos a la hora de la generación y crecimiento de los ecosistemas.

Respecto al último de los aspectos mencionados, hay que tener en cuenta que el otro de los objetivos principales que se busca con este diseño es reducir la energía del oleaje para a su vez mitigar la regresión/erosión de la línea de costa en la zona de estudio. En la actualidad, existen varios métodos para estudiar la evolución de las costas erosionadas, los cuales permiten evaluar y comprender los procesos geomorfológicos y ambientales que afectan a estas zonas. A continuación, se describen algunos de los principales métodos, los cuales pueden ser utilizados para estudiar el efecto que tienen las estructuras diseñadas para la protección de las costas

- 1) Topografía y Fotogrametría: obtención de mediciones precisas de la topografía de la costa y su evolución a lo largo del tiempo. Estas técnicas incluyen el uso de estaciones totales, drones y fotogrametría aérea para crear modelos digitales del terreno y realizar análisis comparativos.
- 2) Estudios de Sedimentología: estudios sedimentológicos para analizar la distribución y composición de los sedimentos en la costa. Esto proporciona información valiosa sobre la erosión y sedimentación en diferentes zonas y permite comprender mejor los procesos que afectan a la dinámica costera.
- 3) Modelado Numérico: los modelos numéricos se utilizan para simular y predecir los procesos costeros, como la erosión, sedimentación y cambios en la línea de costa. Estos modelos combinan datos topográficos, hidrográficos y oceanográficos para estimar la evolución futura de la costa bajo diferentes escenarios.

La combinación de estos métodos permite obtener una visión más completa y detallada de los procesos de erosión y cambios en las costas, lo que contribuye a una mejor gestión y planificación de la protección y conservación y permite estimar el correcto funcionamiento de las estructuras a la hora de reducir la energía del oleaje.



## 7.2. FUTURAS ACTUACIONES A REALIZAR

Este apartado busca definir posibles actuaciones futuras los cuales son complementarias a la disposición de los arrecifes artificiales diseñados en este estudio.

### 7.2.1. *Retirada progresiva de los espigones existentes*

La primera propuesta de actuación, una vez colocadas las estructuras arrecifales diseñadas, se basa en la retirada progresiva de los espigones existentes en la zona del Hemitómbolo del Puig. Estos espigones fueron construidos por los agentes urbanizadores en los años 50 con la finalidad de ampliar las playas y promover la venta de viviendas en el área. Sin embargo, su construcción carece de justificación técnica y ha generado efectos negativos respecto al transporte sólido de sedimentos.



Figura 24. Estado actual de los espigones. (Fuente: GVA, 2023)

En esta futura actuación, se llevaría a cabo la retirada gradual de los espigones una vez finalizada la construcción de las estructuras arrecifales. Se realizará un análisis detallado de la evolución de la línea de costa para conocer en profundidad el efecto que estos espigones han tenido en el entorno. Este análisis permitirá obtener información relevante sobre los cambios y alteraciones que puedan haber ocurrido a lo largo del tiempo como consecuencia de la presencia de los espigones.

El enfoque de la investigación se centra en evaluar la viabilidad y efectividad de retirar progresivamente los espigones para restaurar y recuperar el ambiente costero del Hemitómbolo

del Puig, analizando la interacción entre las estructuras arrecifales diseñadas y el comportamiento de la línea de costa tras la retirada de estos espigones.

Los resultados obtenidos en este estudio serán fundamentales para comprender mejor los efectos de la retirada de los espigones y para guiar la toma de decisiones en futuros proyectos de restauración costera. Además, se espera que los hallazgos contribuyan al diseño de estrategias sostenibles para la gestión y conservación de los recursos naturales en zonas costeras sensibles como el Hemitómbolo del Puig.

### 7.2.2. *Realimentaciones artificiales y trasvases de sedimentos*

Como menciona Hernández Ojeda, E. (2022), la reducción del transporte de sedimentos altera el equilibrio de los mismos en la desembocadura de los ríos, sobre todo en regiones de formación de deltas. La erosión costera causada por las corrientes y el oleaje no es compensada por los sedimentos aportados por los ríos, ya que estos son escasos, lo que provoca el retroceso de la línea de costa. Como menciona Hernández Ojeda, E. (2022), estos cambios en el suministro de sedimentos afectan a las comunidades marinas ya que los flujos de nutrientes, especialmente el carbono, están estrechamente vinculados al flujo de sedimentos provenientes de los ríos, y como estos son escasos, existe una escasez de nutrientes que impide el crecimiento de vegetación y de una comunidad marina estable.

El balance de suministro y movimiento de sedimentos costeros juega un papel determinante en la evolución de la línea de costa, ya sea a través del aumento o la erosión de las zonas litorales. Los ríos desempeñan un papel crucial como fuente de sedimentos para muchas áreas costeras, pero las acciones antrópicas, como modificaciones en las cuencas hidrográficas o la construcción de presas, han alterado estos aportes. La construcción de presas para el suministro de agua ha llevado a una disminución involuntaria de los flujos sedimentarios hacia la costa. En consecuencia, en lugares donde los sedimentos fluviales son interceptados por las presas, se puede experimentar una erosión costera significativa, como es el caso de las playas valencianas, las cuales se encuentran al sur del Delta del Ebro.

Las playas del levante tienen un gran valor medioambiental, social y económico, sin embargo, se están perdiendo en las últimas décadas (Alguacil Jiménez, A. 2020). Por ello se considera primordial la restitución del flujo sedimentario fluvial que llegue a la costa para evitar problemas de erosión. Alguacil Jiménez, A. (2020) determina que los embalses de las cuencas hidrográficas del Ebro y del Júcar han retenido ya más 1.000 hm<sup>3</sup> y 200 hm<sup>3</sup>, respectivamente. La solución a



este problema es llevar a cabo trasvases de arena en los embalses de forma que se restituya al menos el flujo de los sedimentos gruesos (arenas y gravas) indispensables para la alimentación natural de las playas. Sin embargo, esta actuación es medioambientalmente compleja.

El fenómeno de la erosión litoral presenta diversas causas a lo largo del tiempo. A largo plazo, la retención de sedimentos en embalses y el aumento del nivel del mar se consideran los principales factores responsables. No obstante, las erosiones locales que afectan a las playas se deben en gran medida a la construcción de numerosas obras de defensa a lo largo de la costa. Estas estructuras obstaculizan el transporte de sedimentos a lo largo del litoral, provocando acumulación en ciertas áreas y pérdida en otras. Por esta razón una de las soluciones propuestas en este apartado es la que se ha descrito anteriormente, la cual se basa en la retirada progresiva de estas obras de defensa, en concreto de los espigones transversales dispuestos en la zona de estudio.

Con relación a lo expuesto anteriormente, Alguacil Jiménez (2020) menciona la existencia de un banco de arena en aguas profundas cerca de Cullera, cuyo material es adecuado para la regeneración de playas. Esta regeneración artificial de las playas costeras, junto con la dinámica natural del litoral tras el desmantelamiento o bypass de obras marítimas, se convierten en la base de una estrategia para restituir el flujo sedimentario en las costas valencianas a corto y medio plazo. Sin embargo, para abordar la erosión litoral a largo plazo, será necesario implementar medidas adicionales, como el trasvase planificado de arenas y gravas en los embalses (con el fin de restituir el flujo de sedimentos fluvial) o la búsqueda de depósitos de arena en aguas profundas similares al de Cullera (Obs.pers.)

### 7.2.3. Conclusiones

En este apartado se plantea una solución doble, en primer lugar, realizar alimentaciones artificiales en playas erosionadas con depósitos de material similar al de Cullera que menciona Alguacil Jiménez (2020), y posteriormente, restablecer el flujo de sedimentos fluviales a través del trasvase planificado de arenas y gravas en los embalses. Mientras se realizan estas actuaciones, se llevará a cabo la retirada progresiva de las obras de defensa existentes en la actualidad, con lo que se conseguirá restablecer el flujo de sedimentos en la costa valenciana. Con ello, se podrá estudiar con mayor certeza el efecto de las estructuras diseñadas en este estudio, lo cual permitirá determinar correctamente su influencia a la hora de reducir la energía del oleaje y evitar que se produzca la recesión de la línea de costa correspondiente al Hemitómbolo del Puig.

Autor: Alejandro García Cárcel

## 7.3. DESMANTELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

El estudio de vigilancia puede indicar que si el diseño planteado en este estudio no funcionara como estaba previsto o si se producen efectos negativos no señalados en la evaluación del impacto ambiental, deberá estudiarse dos escenarios posibles. En el primero de ellos, se modificará el arrecife para corregir la situación, modificando por ejemplo su posición final. La otra opción, si no es posible modificarlo o si el arrecife no cumple su objetivo, se puede tomar la decisión de interés público de desmantelar o retirar la estructura del arrecife.

En caso de ser necesario, la retirada y desmantelamiento de las estructuras pueden presentar dificultades similares a las experimentadas durante su colocación. No obstante, las características del fondo marino, la profundidad de las estructuras y su diseño pueden simplificar este proceso al estar ubicadas a poca profundidad, lo que facilita su identificación. El desmantelamiento de los arrecifes artificiales no se puede llevar a cabo de la misma manera que su instalación, pues esta se suele realizar lanzándolos desde superficie, y para su retirada hay que utilizar buceadores que las enganchen unitariamente. Por ello, se ha de realizar el estudio de los principales parámetros y medidas implicadas en la extracción. Se requerirá una planificación cuidadosa que incluya el desmontaje, elevación y transporte de los módulos al puerto más cercano, en este caso, el Puerto de Sagunto. Para ello, será crucial determinar con precisión la ubicación actual de los módulos, su estado de conservación y el método óptimo de extracción. Asimismo, se deberá garantizar que estas acciones no interfieran con la navegación local y no afecten aún más la calidad ambiental del ecosistema. Según Reyes Moreno, M.C (2018), es recomendable realizar los siguientes estudios:

- Una evaluación de los recursos y sistemas disponibles para el desmantelamiento, que deben incluir el tipo de barcos capaces de transportar los módulos, la disponibilidad de grúas capaces de levantar los bloques y los recursos técnicos y humanos necesarios para este proceso (boyas, balizas, barcos auxiliares, etc.)
- Un estudio sobre la optimización del transporte (sistema, procedimiento, método y herramientas) de los módulos del arrecife de la zona de recogida al muelle y su posterior descarga, limpieza, almacenamiento y gestión
- Propuestas para restaurar y regenerar los ecosistemas que hayan resultado dañados durante la vida del arrecife. Si se ha definido un procedimiento de desmantelamiento antes de la colocación, es posible que éste deba ajustarse teniendo en cuenta dos factores: si las condiciones han cambiado en el lugar o si el arrecife se ha movido o si se considera que el estudio inicial es inexacto

Tomando como referencia a Reyes Moreno, M.C (2018), los pasos a seguir para el desmantelamiento de los arrecifes artificiales diseñados en este estudio son:

- Elevación de cada uno de los bloques a la embarcación con una grúa, mediante el uso de flotadores, al igual que se han utilizado estos para su fondeo (ver anejo correspondiente al procedimiento constructivo). Se requieren embarcaciones y equipos especializados para que no se desmoronen al ser izadas desde el fondo del mar.
- Afianzamiento de los bloques a la cubierta de la embarcación
- Transporte a puerto
- Descarga y traslado al lugar de almacenamiento
- Reciclaje o reutilización, dependiendo de las características de los módulos
- En caso de que sea necesario retirar dichas estructuras

## **ANEJO Nº9: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

<b>1. Introducción</b> .....	<b>140</b>
<b>2. Construcción de los módulos</b> .....	<b>140</b>
<b>3. Transporte al Puerto de Sagunto</b> .....	<b>141</b>
3.1. ANÁLISIS DEL PESO DE LOS MÓDULOS PARA EL TRANSPORTE .....	142
3.2. ESTUDIO DE GÁLIBOS DEL RECORRIDO .....	143
<b>4. Fondeo e instalación de los módulos</b> .....	<b>143</b>
4.1. PREPARACIÓN DEL LECHO MARINO .....	143
4.2. PROCEDIMIENTO DE TRANSPORTE Y FONDEO .....	144
<b>ANEXO: ESTUDIO DE GÁLIBOS DEL TRAYECTO POR VÍA TERRESTRE DE LOS MÓDULOS</b> .....	<b>146</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización de empresa de prefabricados y zona de estudio. (Fuente: elaboración propia, 2023)</i> .....	140
<i>Figura 2. Ejemplo de ficha técnica de marco construido por PRHOMARCO. (Fuente: PRHOMARCO, 2023)</i> .....	141
<i>Figura 3. Vista aérea de la superficie de almacenaje que dispone la empresa. (Fuente: PRHOMARCO, 2023)</i> .....	141
<i>Figura 4. Dimensiones del camión incluida la carga. (Fuente: elaboración propia, 2023)</i> .....	141
<i>Figura 5. Recorrido más rápido hasta el Puerto de Sagunto. (Fuente: Google Maps, 2023)</i> .....	142
<i>Figura 6. Carga máxima para camión de 2 ejes + semirremolque de 3 ejes. (Fuente: Ministerio de Transportes, 2023)</i> .....	142
<i>Figura 7. Vista 3D del camión transportando los módulos. (Fuente: elaboración propia, 2023).</i>	142
<i>Figura 8. Paso inferior que obliga a modificar la ruta inicial (Fuente: Google Street View, 2023)</i> .....	143
<i>Figura 9. Recorrido final hasta el Puerto de Sagunto. (Fuente: Google Maps, 2023)</i> .....	143
<i>Figura 10. Preparación del lecho para evitar vuelcos. (Fuente: plano 8, 2023)</i> .....	143
<i>Figura 11. Fondeo y colocación de los módulos. (Fuente: plano 8, 2023)</i> .....	144
<i>Figura 12. Asentamiento de los módulos en su posición final. (Fuente: plano 8, 2023)</i> .....	144
<i>Figura 13. Dimensiones de la embarcación de transporte. (Fuente: plano 8.2, 2023)</i> .....	144
<i>Figura 14. Embarcaciones auxiliares. (Fuente: plano 8.2, 2023)</i> .....	145
<i>Figura 15. Distancia entre el Puerto de Sagunto y la zona de actuación. (Fuente: Google Earth, 2023)</i> .....	145
<i>Figura 16. Recorrido inicial para llegar a la A-3. (Fuente: Google Maps, 2023)</i> .....	148
<i>Figura 17. Desvío para evitar paso inferior y acceder a la A-3. (Fuente: Google Maps, 2023)</i> ...	148

## 1. Introducción

El presente anejo tiene como objetivo detallar el procedimiento constructivo para la fabricación y transporte de los módulos diseñados en este estudio, los cuales están destinados a la construcción de arrecifes artificiales. Se describirá en detalle el proceso de construcción de estos elementos, destacando su fabricación en una planta de prefabricados específica que se dedica a la construcción de marcos de carretera para pasos inferiores y obras de drenaje y su posterior transporte por vía terrestre hasta el Puerto de Sagunto.

En este anejo se abordarán las posibles complicaciones que puedan surgir durante el traslado por carretera, teniendo en cuenta los gálibos de puentes y pasos superiores, lo que exige una planificación precisa y minuciosa para garantizar el transporte seguro y sin contratiempos. Además, se analizará en profundidad el transporte marítimo de los módulos y el fondeo de estas piezas en la zona de estudio, considerando las particularidades del entorno marino. El objetivo es presentar una visión integral del procedimiento constructivo, asegurando la eficiencia y la calidad en la fabricación y transporte de los módulos.

## 2. Construcción de los módulos

En este apartado se va a definir la empresa encargada de construir los módulos prefabricados diseñados en este estudio. La elección de la empresa encargada de construir los módulos diseñados ha seguido un proceso en el que se han considerado diversos aspectos clave para garantizar la calidad y eficiencia de la ejecución del proyecto. Los criterios que se han seguido para seleccionar la empresa de prefabricados encargada de la construcción de los módulos se ha basado principalmente en tres criterios, los cuales son:

- Localización: proximidad a la zona de estudio
- Experiencia en la construcción de marcos cuadrados usados en obras de carreteras. Estos marcos son muy similares a los módulos diseñados en este estudio
- Experiencia con el hormigón reforzado con fibras
- Espacio para el acopio de las piezas

Tras un exhaustivo análisis, se ha seleccionado a la empresa PRHOMARCO | TUBOS IGUALADA (2023) como la opción idónea para llevar a cabo la construcción de los módulos arrecifales. Una de las características fundamentales que han llevado a la elección de PRHOMARCO | TUBOS IGUALADA (2023) es su estratégica localización en Miranda, una localidad de Cuenca que se encuentra a una distancia aproximada de 200 kilómetros de la zona de actuación. Esta proximidad geográfica es un factor crucial para agilizar y optimizar el transporte de los módulos desde las instalaciones de la empresa hasta el lugar de implementación de los arrecifes artificiales. Además, la cercanía permite una mejor coordinación logística y reducción de costos asociados al desplazamiento de los materiales.

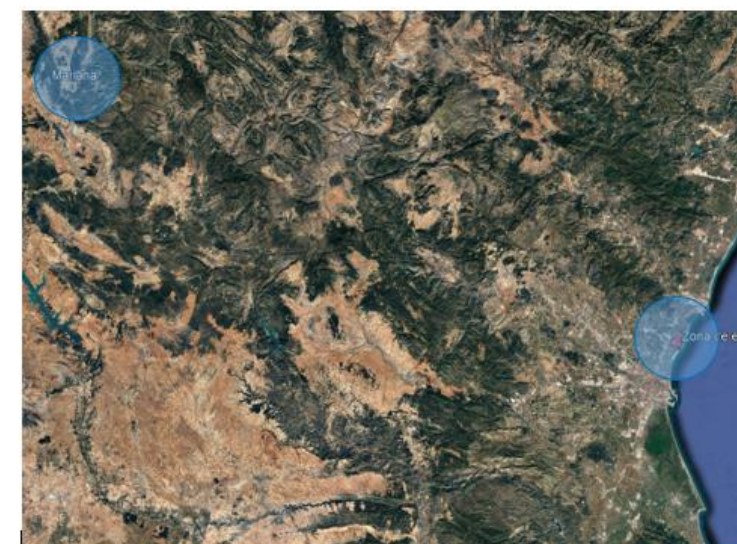


Figura 1. Localización de empresa de prefabricados y zona de estudio. (Fuente: elaboración propia, 2023)

Uno de los puntos clave que ha llevado a la selección de esta empresa es su experiencia en la construcción de marcos cuadrados de carreteras, que son utilizados en la construcción de pasos inferiores y obras de drenaje transversal. Estos marcos cuadrados presentan similitudes estructurales con los módulos diseñados en este estudio, lo que otorga a la empresa una valiosa ventaja en la comprensión y aplicación de los requisitos técnicos necesarios para la fabricación de los arrecifes artificiales. Se ha comprobado que esta empresa es capaz de construir marcos de carretera de medidas muy similares a las de los módulos diseñados (2.5 metros de ancho y 3 metros de altura y longitud). Se muestra a continuación una ficha técnica de los marcos cerrados similares a los módulos que se encarga de fabricar esta empresa

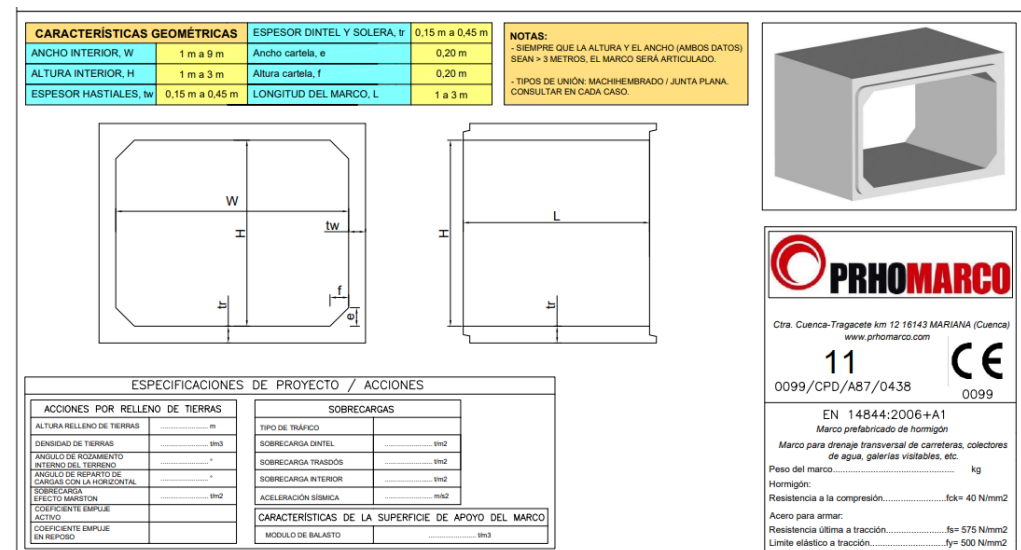


Figura 2. Ejemplo de ficha técnica de marco construido por PRHOMARCO. (Fuente: PRHOMARCO, 2023)

Adicionalmente, esta empresa posee una amplia experiencia en el uso de hormigón reforzado con fibras. Este tipo de hormigón ofrece una serie de ventajas significativas, como una mayor resistencia a la tracción, reducción de fisuraciones y una mayor durabilidad en ambientes marinos. Dado que los módulos estarán sujetos a las condiciones adversas del medio acuático y a la exposición constante al oleaje, contar con esta experiencia en la utilización de hormigón reforzado con fibras resulta fundamental para asegurar la longevidad y robustez de las estructuras.

Además de las características ya mencionadas, otra de las ventajas significativas es su capacidad para acopiar las piezas en sus instalaciones. Esta posibilidad de almacenaje temporal es de suma importancia, ya que permitirá contar con un espacio seguro y adecuado para resguardar los módulos mientras se coordinan los detalles logísticos para su transporte y fondeo en la zona de actuación. La empresa dispone de más de 6.000 m<sup>2</sup> de superficie construida en una parcela de aproximadamente 70.000 m<sup>2</sup> (PRHOMARCO, 2023).

Autor: Alejandro García Cárcel



Figura 3. Vista aérea de la superficie de almacenaje que dispone la empresa. (Fuente: PRHOMARCO, 2023)

En conclusión, la empresa PRHOMARCO | TUBOS IGUALADA (2023) se ha escogido como la opción idónea para llevar a cabo la fabricación de los módulos destinados a la implementación de los arrecifes artificiales. Su localización estratégica, experiencia en la construcción de marcos cuadrados, uso de hormigón reforzado con fibras, junto con su amplio espacio de almacenamiento la hacen la empresa idónea para encargarse de la construcción de los módulos.

### 3. Transporte al Puerto de Sagunto

Como menciona Robles Toledo, J (2022), la mayoría de los camiones de reparto pueden llegar a un máximo de 4,12 metros con un contenedor de altura estándar (2.5 metros para los contenedores de 20 y 40 pies) en su remolque. Esto se basa en un remolque estándar de 1.5 metros de altura en el camión. Teniendo esto en cuenta y sabiendo que la pieza diseñada tiene una altura total de 3 metros, se tendría que la altura total del remolque y los módulos sería de aproximadamente 4'5 metros en total.

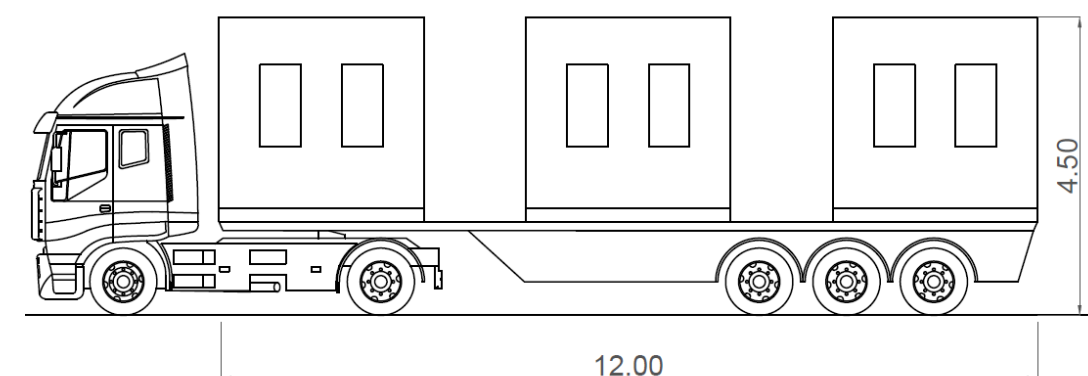


Figura 4. Dimensiones del camión incluida la carga. (Fuente: elaboración propia, 2023)



A continuación, se define la ruta más rápida por vía terrestre desde la empresa de prefabricados que se ha seleccionado y descrito en el apartado interior, hasta el Puerto de Sagunto, ya que como se vio en el Anejo N°3 “Encuadre geográfico, accesos y datos previos”, el Puerto de Sagunto ha sido seleccionado como central de operaciones debido a que cuenta con la infraestructura adecuada y un amplio espacio para el acopio de piezas, además de su proximidad a la zona de estudio, el Hemitómbolo del Puig, lo que reduce los tiempos y costos de transporte de las piezas por vía marítima. Asimismo, el puerto cuenta con instalaciones y equipos para la carga y descarga de piezas sobre las pontonas, lo que garantiza una eficiente logística marítima. En caso de que el espacio para acopios en el puerto sea limitado, se destaca la calidad de los accesos al puerto, lo que facilita el traslado de materiales y minimiza posibles retrasos o inconvenientes en la operación.

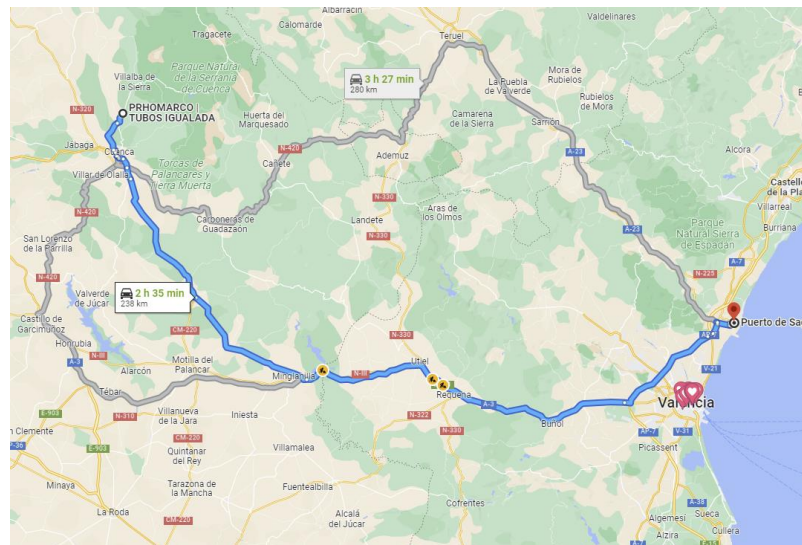


Figura 5. Recorrido más rápido hasta el Puerto de Sagunto. (Fuente: Google Maps, 2023)

La ruta más rápida ofrecida por Google Maps tiene una duración de dos horas y media y un recorrido total de aproximadamente 200 kilómetros. Es importante considerar que, como se verá en el apartado 3.2 de este mismo anejo, se va a realizar un estudio de los gálibos de pasos superiores del trayecto. En caso de que no se pueda circular por esta ruta debido a que los gálibos sean inferiores a la altura definida de camión más remolque (4.5 metros), se realizará, en ese mismo apartado, una modificación de la ruta.

### 3.1. ANÁLISIS DEL PESO DE LOS MÓDULOS PARA EL TRANSPORTE

Uno de los factores que podría complicar el transporte final de los módulos es el peso de los mismos, ya que se quiere transportar el máximo número de piezas posibles por camión para aprovechar cada desplazamiento.

Autor: Alejandro García Cárcel

Como se puede observar en la figura 4 de este mismo anejo, se ha decidido utilizar el semirremolque típico para el transporte de contenedores convencionales de 40 pies, el cual tiene una longitud de 12 metros y una anchura de 2.5 metros (esta es la razón principal por la cual los módulos construidos tienen un ancho de 2.5 metros también). A continuación, en la figura 6, se muestran las cargas máximas para un camión de 5 ejes como el que se va a utilizar para el transporte de los módulos.

#### Transporte combinado

##### Vehículos articulados de 5 o más ejes-Transporte Combinado

Masas máximas permitidas	Toneladas
Vehículo de motor con 3 ejes y con semirremolque de 2 o 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado	44
Vehículo de motor con 2 ejes y con semirremolque de 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado	42



Figura 6. Carga máxima para camión de 2 ejes + semirremolque de 3 ejes. (Fuente: Ministerio de Transportes, 2023)

Del Anejo N°8 “Diseño de la solución adoptada” se obtiene que el peso de cada uno de los módulos es de aproximadamente 12 toneladas. Por esta razón, y como se puede observar en la figura 4 de este mismo anejo, se ha decidido transportar 3 piezas por remolque, lo cual suma un peso total de 36 toneladas, el cual es inferior al peso máximo de 44 toneladas permitido por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2023).

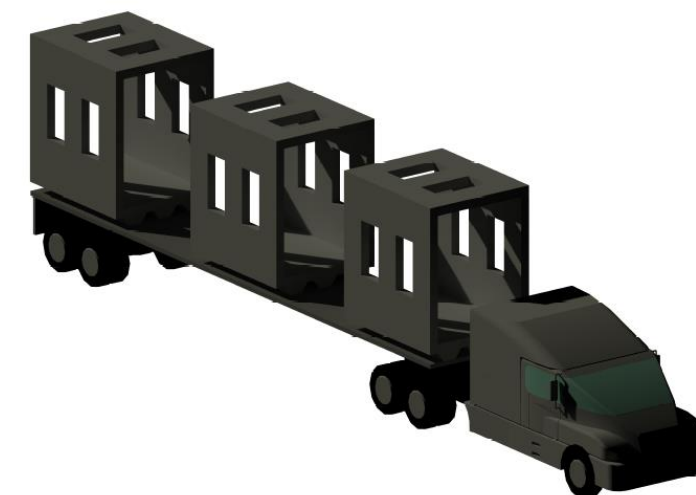


Figura 7. Vista 3D del camión transportando los módulos. (Fuente: elaboración propia, 2023).

### 3.2. ESTUDIO DE GÁLIBOS DEL RECORRIDO

En este apartado se va a abordar las posibles complicaciones que puedan surgir durante el traslado por carretera respecto a los gálibos de puentes y pasos superiores o inferiores durante el trayecto. Respecto a este apartado, se recomienda consultar con detalle el **ANEXO: “ESTUDIO DE GÁLIBOS DEL TRAYECTO POR VÍA TERRESTRE DE LOS MÓDULOS”** en el que se ha realizado el trayecto que seguirían los módulos, utilizando la herramienta Google Street View, para analizar los gálibos de todos los posibles obstáculos y garantizar la seguridad del trayecto. Respecto al trayecto final, debido a la existencia de un paso inferior en la carretera CM-211 con la autovía A-3 en su paso por Minglanilla (ver figura 8), en el cual el gálibo es de 3.5 metros, ha sido necesario realizar una modificación de la ruta final que se seguirá para transportar los módulos desde la empresa de prefabricados al Puerto de Sagunto.



Figura 8. Paso inferior que obliga a modificar la ruta inicial (Fuente: Google Street View, 2023)

A continuación, se muestra la ruta final a seguir, la cual tiene una duración aproximada de tres horas. Como se ha mencionado anteriormente, en el **ANEXO: “ESTUDIO DE GÁLIBOS DEL TRAYECTO POR VÍA TERRESTRE DE LOS MÓDULOS”** se han analizado los gálibos de los posibles obstáculos de esta nueva ruta.

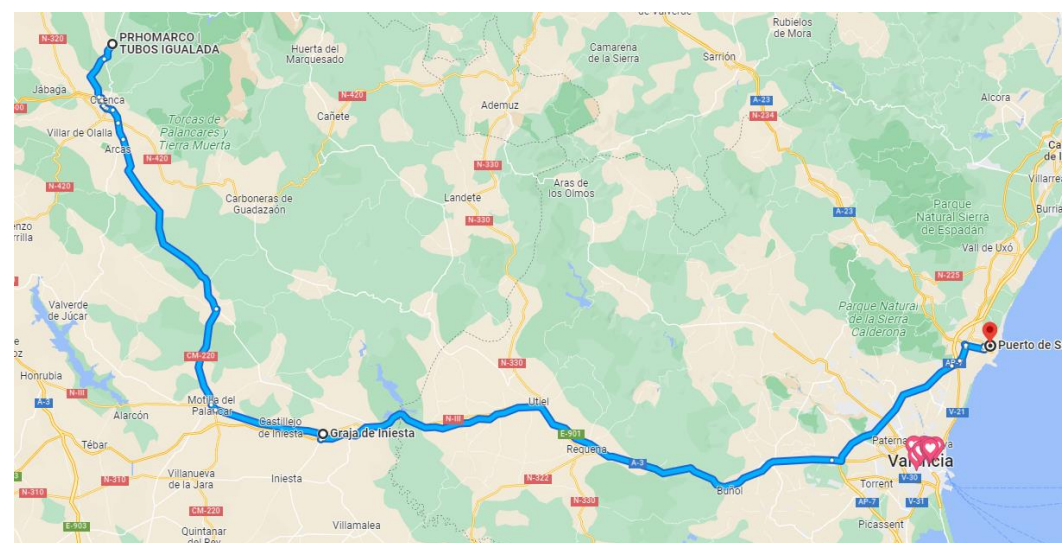


Figura 9. Recorrido final hasta el Puerto de Sagunto. (Fuente: Google Maps, 2023)

### 4. Fondeo e instalación de los módulos

La escasa profundidad a la que han de fondearse los módulos junto con su proximidad a la costa hace que sea necesario un planteamiento detallado sobre la forma de acometer los trabajos de fondeo atendiendo a la tipología de la embarcación a utilizar, tipo de maniobras a realizar, plazo de ejecución de los trabajos de fondeo, entre otros.

#### 4.1. PREPARACIÓN DEL LECHO MARINO

Uno de los principales problemas que pueden aparecer a la hora de instalar este tipo de estructuras es la socavación del lecho marino producida por el efecto del oleaje en el lado mar. Esta socavación del terreno podría provocar el vuelco de las estructuras, que como se ha visto, no cambiaría el modo de funcionamiento de estas, sin embargo, sí que afecta a la colocación de las piezas que se han diseñado para la mejora de la biodiversidad, por lo que se quiere evitar en la medida de lo posible que se produzca el vuelco de los módulos.

En el presente apartado, se describe el procedimiento de estabilización del lecho submarino para la colocación de los módulos arrecifales, el cual ha sido diseñado para asegurar una plataforma sólida y segura sobre la cual fondear las estructuras. Para lograr este objetivo, se emplea el uso de lanzas de agua a presión, una técnica efectiva para generar una bancada estable y evitar posibles deslizamientos o movimientos no deseados. El primer paso del procedimiento consiste en el empleo de las lanzas de agua a presión, las cuales penetran el lecho submarino generando un efecto de licuefacción del terreno. Esta acción permite la creación de una base compacta y cohesionada, brindando la estabilidad necesaria para soportar el peso y la carga de los módulos arrecifales. La licuefacción del terreno es fundamental para asegurar una adecuada cimentación y garantizar que las estructuras permanezcan firmemente asentadas durante su vida útil.

1) PREPARACIÓN DEL LECHO MARINO PARA EVITAR VUELCO POR SOCAVACIÓN

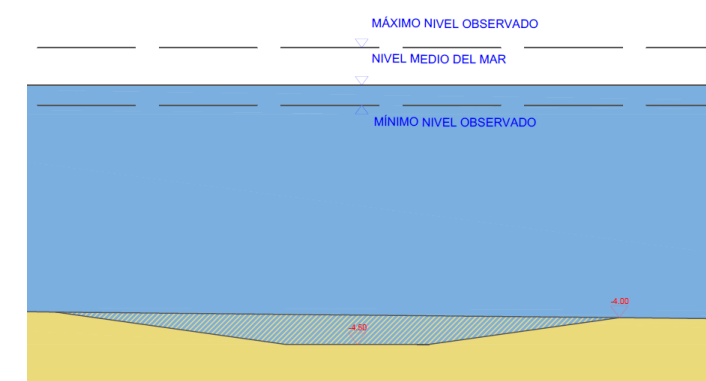


Figura 10. Preparación del lecho para evitar vuelcos. (Fuente: plano 8, 2023)



Una vez que la bancada estable ha sido creada mediante el uso de las lanzas de agua a presión, se procede a la colocación de las estructuras diseñadas para los arrecifes artificiales. Estas estructuras son cuidadosamente situadas sobre la superficie generada. Con el paso del tiempo estas estructuras quedarán parcialmente soterradas gracias al transporte de sedimentos que produce el oleaje. Este proceso contribuye a una mayor integración de las estructuras con el entorno marino y evita posibles impactos negativos en la morfología costera.

2) FONDEO DE LOS MÓDULOS MEDIANTE USO DE FLOTADORES

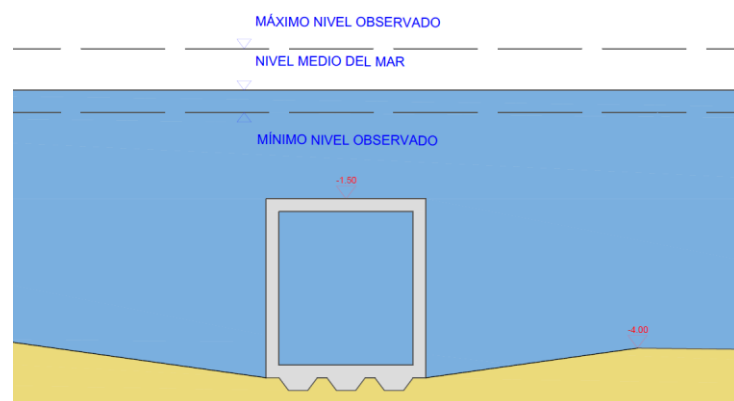


Figura 11. Fondeo y colocación de los módulos. (Fuente: plano 8, 2023)

Es importante destacar que, gracias al empleo de las lanzas de agua a presión y la generación de una plataforma estable, el asentamiento final de las estructuras se estima en aproximadamente 0'7 metros. Este valor ha sido definido y detallado en el Anejo N°8 "Diseño de la solución adoptada", donde se consideraron diversos factores para garantizar una correcta adaptación al entorno marino y una óptima estabilidad de las estructuras. La implementación de este procedimiento de mejora del terreno asegura que los módulos arrecifales se encuentren adecuadamente asentados y proporciona una plataforma resistente y duradera para su ubicación. Además, al utilizar técnicas respetuosas con el entorno, como la licuefacción controlada y la integración de las estructuras con el transporte sólido litoral, se minimiza el impacto ambiental.

En conclusión, el procedimiento de estabilización del lecho submarino mediante el uso de lanzas de agua a presión y la creación de una plataforma estable constituye un enfoque eficaz para garantizar la correcta colocación y asentamiento de los módulos arrecifales. La implementación de este método proporciona una solución segura y respetuosa con el medio ambiente, permitiendo la creación de un hábitat propicio para el desarrollo de la vida marina y contribuyendo a la conservación y mejora de los ecosistemas costeros.

3) ASENTAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOBRE EL TERRENO

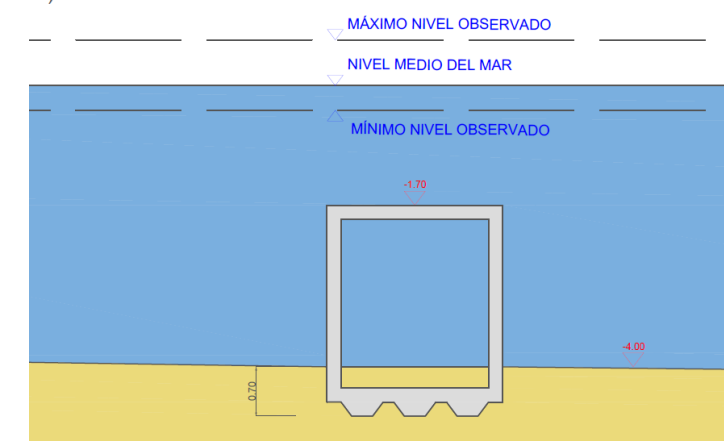


Figura 12. Asentamiento de los módulos en su posición final. (Fuente: plano 8, 2023)

## 4.2. PROCEDIMIENTO DE TRANSPORTE Y FONDEO

En este apartado se van a definir los medios de transporte por vía marítima que van a ser utilizados para la instalación y fondeo de los módulos arrecifales diseñados en este estudio. Las dimensiones aconsejables de los buques para este tipo de obras, según MITECO (2008) serían:

- Eslora: 70 – 125 m
- Manga: 10 – 18 m
- Calado: 4 – 7 m

Siguiendo estas recomendaciones se ha seleccionado una embarcación de 100 metros de eslora aproximada y 10 metros de manga que permite transportar 32 módulos en su cubierta. Esto lo hace una embarcación óptima ya que los bloques de 150 y 200 metros están compuestos por 25 y 32 módulos respectivamente, lo que permite que con un solo viaje se puedan construir dichos bloques.

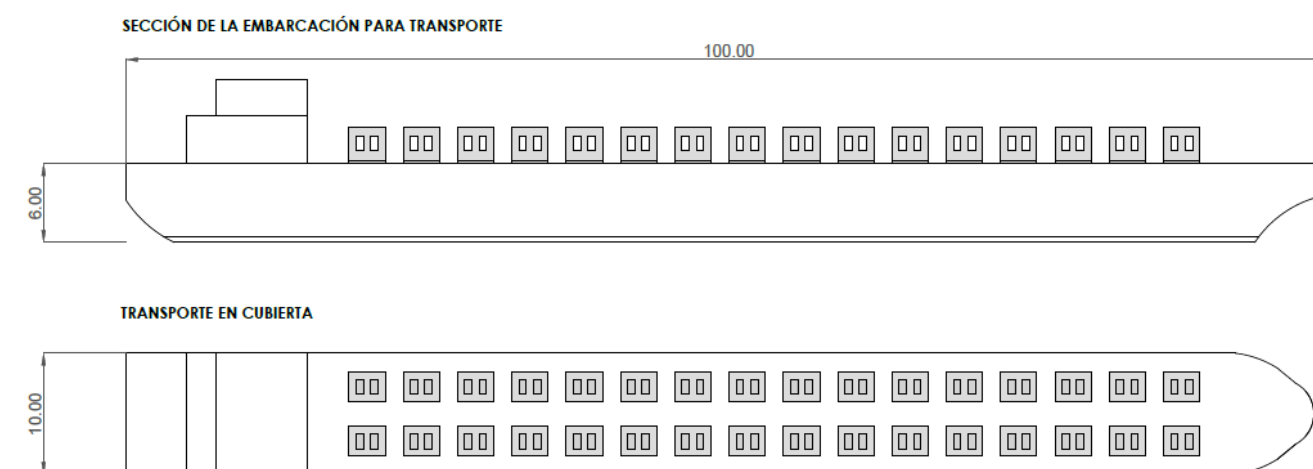


Figura 13. Dimensiones de la embarcación de transporte. (Fuente: plano 8.2, 2023)



La característica principal, como se ha mencionado a lo largo del Anejo N°8 “Diseño de la solución adoptada” es la profundidad de colocación de las piezas, la cual obliga a utilizar embarcaciones de calado muy reducido para evitar problemas de maniobrabilidad e interferencia con los módulos ya dispuestos. Por esta razón, se utilizarán una serie de embarcaciones auxiliares, de calado reducido, muy similares a las embarcaciones usadas para las maniobras de los buques en el interior de los puertos. Como se puede observar en la siguiente imagen, estas embarcaciones auxiliares contarán con los medios de elevación y carga correspondiente para poder manipular los módulos que se encuentran en la embarcación principal.

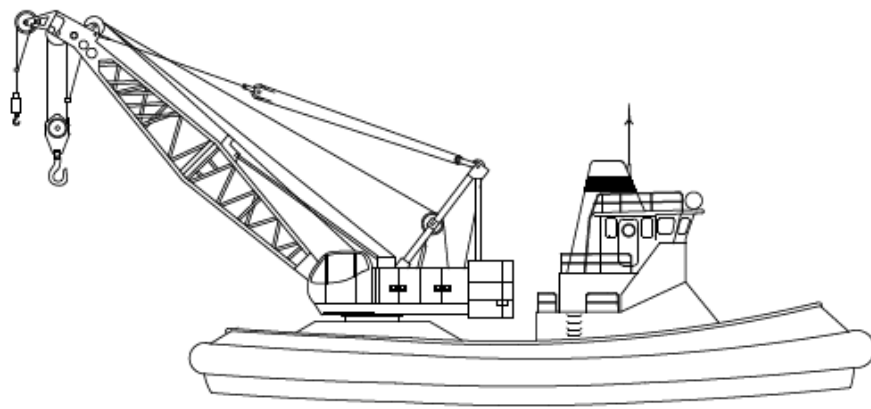


Figura 14. Embarcaciones auxiliares. (Fuente: plano 8.2, 2023)

Estas embarcaciones auxiliares son las que se encargarán de transportar los módulos a su posición final mediante el uso de flotadores. A través del empleo de flotadores, se logra una flotabilidad temporal de la estructura durante la fase de posicionamiento y fondeo, lo que simplifica y agiliza considerablemente las operaciones.

El procedimiento comienza con la descarga de la estructura desde la embarcación que se puede observar en la figura 13. Esta embarcación se coloca en una posición estratégica, cercana a la posición final de los bloques que se han diseñado, con el objetivo de reducir al máximo el trayecto que deben realizar las embarcaciones auxiliares, las cuales son el cuello de botella de este procedimiento, ya que se estima que el rendimiento de colocación será de aproximadamente de 2 piezas por hora, por lo tanto, suponiendo una jornada de 8 horas y 2 embarcaciones auxiliares, se colocarían la totalidad de las piezas transportadas por la embarcación principal (32 módulos) en un solo día. A continuación, se muestra una imagen de la distancia aproximada entre la bocana del Puerto de Sagunto y la zona de estudio, la cual es de aproximadamente 9 kilómetros.

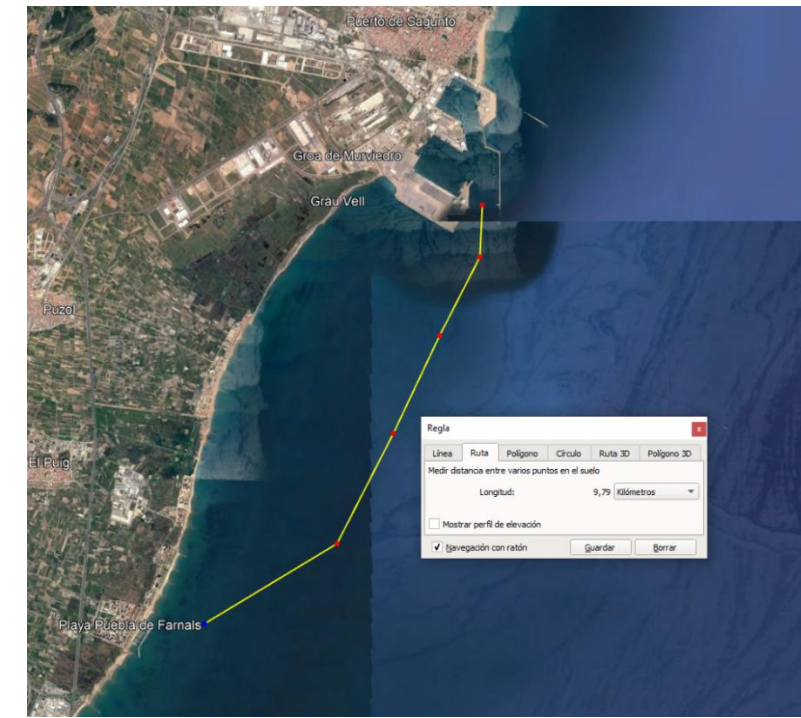


Figura 15. Distancia entre el Puerto de Sagunto y la zona de actuación. (Fuente: Google Earth, 2023)

Una vez que las embarcaciones auxiliares cargan los módulos y estos se encuentran en el agua, los flotadores previamente preparados son instalados en puntos estratégicos de la misma. Estos flotadores están diseñados para proporcionar una flotabilidad adecuada que permita mantener la estructura a flote durante la fase de transporte a la posición final.

Con los flotadores instalados, se procede al transporte de la estructura hacia la ubicación designada para el fondeo. Durante esta fase, los flotadores mantienen la estructura a flote y aseguran que no se hunda mientras es desplazada desde la embarcación hasta su posición definitiva en el lecho marino. Esta etapa del proceso es crucial, ya que garantiza una manipulación segura y precisa de la estructura para su correcta colocación.

Una vez que la estructura ha sido transportada a la posición final, se inicia el proceso de desinflado de los flotadores. Este proceso se realiza de manera controlada, permitiendo que el agua penetre gradualmente en los flotadores y disminuya su flotabilidad. Con el descenso gradual de la flotabilidad, la estructura comienza a asentarse en el lecho marino. Es importante destacar que el desinflado de los flotadores se realiza de forma gradual y controlada para asegurar que la estructura se asiente de manera estable y segura en el lecho marino. De esta manera, se evitan movimientos bruscos que puedan afectar la integridad de la estructura y se garantiza un fondeo adecuado.

# **ANEXO: ESTUDIO DE GÁLIBOS DEL TRAYECTO POR VÍA TERRESTRE DE LOS MÓDULOS**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





### 1. Paso inferior CM-2110 con Autovía de la meseta sur

- Gálibo de 5.2 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 2. Paso inferior CM-211 con CM-2202

- Gálibo de 4.2 metros < 4.5 metros – **NO CUMPLE**



- Se realiza una pequeña modificación del trayecto, tomando la CM-2202 para entrar a la localidad de Campillo de Altobuey y evitar de esta forma el paso inferior. Una vez dentro de la localidad, se vuelve a tomar la salida correspondiente para dirigirse de nuevo a la CM-211.



### 3. Paso inferior CM-211 con Calle Plaza de Toros (Minglanilla)

- Gálibo de 5.45 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 4. Paso inferior CM-211 con Autopista A3 (Minglanilla)

- Gálibo de 3.5 metros < 4.5 metros – **NO CUMPLE**



- En este caso no existe un desvío sencillo que pueda realizarse. La solución pasa por modificar el recorrido a la altura de Almodóvar del Pilar. El recorrido original usaba la CM-211, la cual se tomaba en la localidad de Almodóvar del Pilar, para llegar hasta la autopista A-3 en dirección a Valencia, sin embargo, debido a que no se cumple el gálibo suficiente en el paso inferior que da acceso a dicha autovía, es necesario realizar una modificación del recorrido. En este caso se decide por continuar el recorrido por la CM-220, la cual no presenta ningún paso inferior en su recorrido. Se utiliza la CM-220 hasta la localidad de Motilla del Palancar, localidad en la cual se toma la N-111 hasta llegar a la localidad de Graja de Iniesta, en la cual se toma la CM-311 que da acceso sin problemas a la autopista A-3 dirección Valencia.



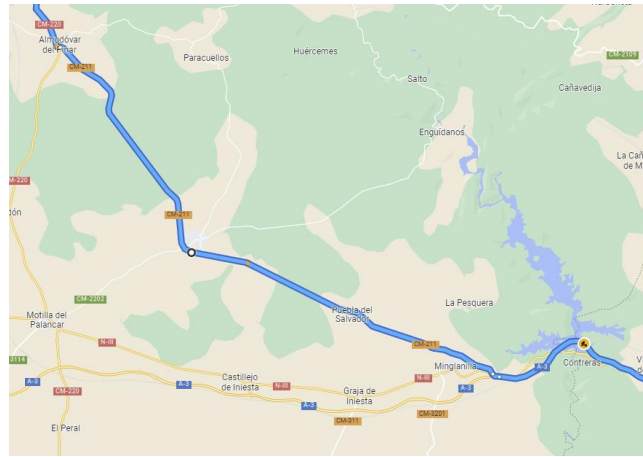


Figura 16. Recorrido inicial para llegar a la A-3. (Fuente: Google Maps, 2023)

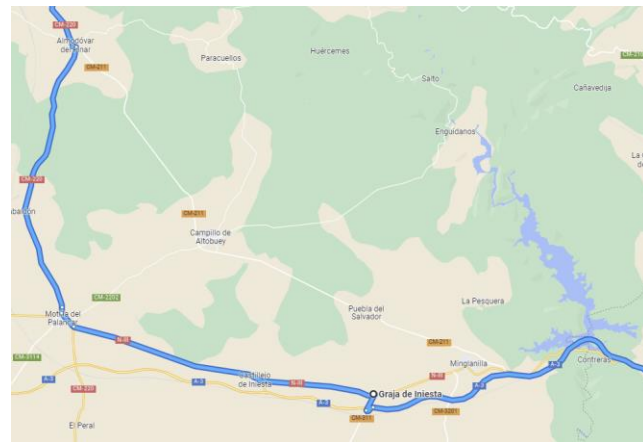


Figura 17. Desvío para evitar paso inferior y acceder a la A-3. (Fuente: Google Maps, 2023)

### 6. Paso superior km 245 de la A-3

- Gálibo de 6.3 metros > 4.5 metros - **CUMPLE**



### 7. Paso superior km 248 de la A-3

- Gálibo de 6.1 metros > 4.5 metros - **CUMPLE**



- Este desvío aumenta en 10 minutos el tiempo del recorrido, pasando de las dos horas y media iniciales a un recorrido total de horas y cuarenta minutos.

### 5. Paso superior km 233 de la A-3

- Gálibo de 5.9 metros > 4.5 metros - **CUMPLE**



### 8. Túnel del rabo de la sartén

- Gálibo de 5 metros > 4.5 metros - **CUMPLE**





### 9. Paso superior km 254 de la A-3

- Gálibo de 6.2 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 12. Paso superior de intersección de A-3 con CV-452

- Gálibo de 6.4 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 10. Paso superior km 258 de la A-3

- Gálibo de 5.75 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 13. Paso superior km 275 de la A-3

- Gálibo de 7.15 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 11. Paso superior km 260 de la A-3

- Gálibo de 6.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 14. Paso superior km 278 de la A-3

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





### 15. Paso superior km 283 de la A-3

- Gálibo de 5.4 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 16. Paso superior km 284 de la A-3

- Gálibo de 5.5 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 17. Paso superior km 286 de la A-3

- Gálibo de 5.8 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 18. Paso superior km 288 de la A-3

- Gálibo de 4.9 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 19. Paso superior km 290 de la A-3

- Gálibo de 5.2 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 20. Paso superior km 291 de la A-3

- Gálibo de 5.3 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





### 21. Paso superior km 295 de la A-3

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 22. Paso superior km 297 de la A-3

- Gálibo de 5.2 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 23. Paso superior km 298 de la A-3

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 24. Paso superior de intersección de A-3 con CV-388

- Gálibo de 5.8 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 25. Paso superior km 297 de la A-3

- Gálibo de 6.3 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 26. Paso superior de intersección de A-3 con CV-425

- Gálibo de 5.8 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





### 27. Paso superior km 322 de la A-3

- Gálibo de 5.2 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 28. Cruce de la A-3 con línea de Alta Velocidad ferroviaria

- Gálibo de 9.6 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 29. Paso superior de intersección de A-3 con CV-50

- Gálibo de 5 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 30. Paso superior km 329 de la A-3

- Gálibo de 5.6 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 31. Paso superior km 334 de la A-3

- Gálibo de 6.3 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 32. Paso superior km 337 de la A-3

- Gálibo de 5 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





### 33. Paso superior km 338 de la A-3

- Gálibo de 5.2 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 34. Paso superior km 335 de la AP-7

- Gálibo de 5.6 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 35. Paso superior km 333 de la AP-7

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 36. Paso superior km 331 de la AP-7

- Gálibo de 5.5 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 37. Paso superior de intersección de AP-7 con CV-370

- Gálibo de 5.7 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



### 38. Paso superior de intersección de AP-7 con Línea 2 de metro

- Gálibo de 5 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





**39. Paso superior km 328 de la AP-7**

- Gálibo de 4.9 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**40. Paso superior km 326 de la AP-7**

- Gálibo de 4.9 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**41. Paso superior km 324 de la AP-7**

- Gálibo de 5.9 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**42. Paso superior km 324 de la AP-7**

- Gálibo de 4.8 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**43. Paso superior km 324 de la AP-7**

- Gálibo de 5.3 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**44. Paso superior km 323 de la AP-7**

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





#### 45. Pasos superiores km 320 de la AP-7

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



#### 46. Paso superior km 316 de la AP-7

- Gálibo de 5.3 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



#### 47. Paso superior de intersección de AP-7 con CV-315

- Gálibo de 5 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



#### 48. 1º Paso superior de intersección de AP-7 con CV-32

- Gálibo de 4.9 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



#### 49. 2º Paso superior de intersección de AP-7 con CV-32

- Gálibo de 5.4 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



#### 50. Paso superior km 313 de la AP-7

- Gálibo de 5.3 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





**51. Paso superior km 311 de la AP-7**

- Gálibo de 5.6 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**52. Paso superior km 309 de la AP-7**

- Gálibo de 4.9 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**53. Paso superior km 2 de la V-23**

- Gálibo de 5.9 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**54. Paso superior km 3 de la V-23**

- Gálibo de 5.2 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**55. Paso superior km 4 de la V-23**

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**



**56. Pasos superiores del km 4 de la V-23**

- Gálibo de 5.1 metros > 4.5 metros – **CUMPLE**





## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



## 1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO

- Duarte, C., Tintoré, J., Medina, J.R. (2001). *Las praderas de Posidonia oceánica y la regeneración de playas*. Revista de Obras Públicas, (Madrid).
- *Estado ambiental de las praderas marinas de la Comunitat Valenciana (S.f.)*. Visor cartográfico de la Generalitat. Recuperado el 3 de mayo de 2023, de [https://visor.gva.es/visor/?capas=spaicv\\_mediomarinero\\_fanerogamas](https://visor.gva.es/visor/?capas=spaicv_mediomarinero_fanerogamas)
- *Evolución línea de costa*. Visor GVA (S.f.). Recuperado el 3 de mayo de 2023, de [http://catalogo.icv.gva.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/spa\\_icv\\_pima\\_impactos\\_ero](http://catalogo.icv.gva.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/spa_icv_pima_impactos_ero)
- Gayo Romero, J.L. (1998). *Arrecifes artificiales: Estructuras llenas de vida*. Informes de la construcción, 50(458), 5-16. Recuperado el 3 de mayo de 2023 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308484>
- GVA (2020). *La costa valenciana frente la emergencia climática—Cambio climático — Generalitat valenciana*. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <https://agroambient.gva.es/ca/web/cambio-climatico/costa-valenciana-enfront-emergencia-climatica>
- Instituto Español de Oceanografía - IEO (2010). *Tendencias del nivel del mar en el Mar Mediterráneo*. Recuperado 2 de mayo de 2023, de [http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio\\_climatico\\_reedicion.pdf](http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio_climatico_reedicion.pdf)
- Instituto Español de Oceanografía – IEO (2015). *Atlas praderas marinas de España*. Recuperado el 3 de mayo de 2023, de <https://www.ieo.es/atlas-praderas-marinas>
- Iñigo J. Rodríguez L., Izaguirre C., Simal P.D. (2014). *Cambio climático en la costa española*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio ambiente. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final\\_tcm30-178459.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf)
- Kersting, D.K. (2016). *Cambio climático en el medio marino español: impactos. Vulnerabilidad y adaptación*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio ambiente. Recuperado 2 de mayo de 2023, de [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/kersting\\_2016\\_cambio\\_climatico\\_medio\\_marino\\_tcm30-70535.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/kersting_2016_cambio_climatico_medio_marino_tcm30-70535.pdf)
- Marbá, N., C.M. Duarte, J. Cebrián, S. Enríquez, M.E. Gallegos, B. Olesen, K. Sand-Jensen. (2006). Growth and population dynamics of Posidonia oceánica on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. *Marine Ecology Progress Series* 137: 203-213.
- Mas J., Franco I., Barcala E. (1993). Primera aproximación a la cartografía de las praderas de Posidonia oceánica en las costas mediterráneas españolas. Factores de alteración y de regresión. *Legislación. Publ. Espec. Inst.Esp. Oceanogr.* 11:111-122.
- Medina, J.R. (1998). Clima Marítimo y Dinámica Litoral, en *Náutica de recreo y turismo en el Mediterráneo: La Comunidad Valenciana* (Dir. V. Esteban). Editorial Síntesis, 159-188.
- Medina, J.R, y Serra Peris, J. (1987). *Arrecifes artificiales (I). Problemas pesqueros y de protección de costas*. Revista de Obras Públicas p. 725 - 735.
- MITECO (2008). *Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales*. Recuperado el 4 de mayo de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/actividades-humanas/arrecifes-artificiales/default.aspx>
- Ruiz, J.M., Guillén, J.E., Ramos Segura, A. & Otero, M.M. (Eds.). (2015). *Atlas de praderas marinas de España: Praderas de angiospermas marinas de la Comunidad Valenciana*. Recuperado el 19 de abril de 2023, de <https://uicnmed.org/bibliotecavirtualposidonia/?p=1014>
- Ruiz, Mónica Alonso. «*Protejamos las Maravillas del Mar: LAS PRADERAS MARINAS: UN MAR DE HIERBA*». Enero de 2017. Recuperado el 6 de junio, de <http://protejamoslasmaravillasdelmar.blogspot.com/2017/01/las-praderas-marinas-un-mar-de-hierba.html>.

## 2. ESTUDIO DE PIEZAS PARA CONSTRUCCIÓN DE ARRECIFES

- Arrecife malvarrosa. (s. f.). Fundación Deportiva Municipal Valencia. Recuperado el 8 de mayo de 2023, de <https://www.fdmvalencia.es/es/instalaciones/arrecifes-valencia/>
- Arrecifes—Pesca—Generalitat valenciana. (s. f.). Pesca. Recuperado el 8 de mayo de 2023, de <https://agroambient.gva.es/ca/web/pesca/arrecifes>
- Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018). *Comparación del potencial de disipación de energía del oleaje entre estructuras sumergidas y flotantes y sus efectos en la protección costera*. *Tecnura*, 22(58), 13-24. Recuperado el 30 de mayo de 2023, de <https://www.redalyc.org/journal/2570/257058384002/html/>
- Coral restoration foundation | united states. (s. f.). CRF. Recuperado 8 de mayo de 2023, de <https://www.coralrestoration.org>
- Gayo Romero, J.L. (1998). *Arrecifes artificiales: Estructuras llenas de vida*. Informes de la construcción, 50(458), 5-16. Recuperado el 3 de mayo de 2023 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308484>
- Global coral reef alliance. (s. f.). Global Coral Reef Alliance. Recuperado 8 de mayo de 2023, de <https://www.globalcoral.org/>
- Iluminet revista de iluminación. *Cuando la luz del Sol nada en los océanos* (2018) Recuperado el 11 de mayo de 2023, de <https://iluminet.com/luz-sol-oceanos/>
- Luque, Angel & Falcón, Medina & Ramos, A.J. & Sosa, P.A. & Martínez, E. (2001). *Arrecifes artificiales y pecios*. Recuperado el 9 de mayo de 2023 de [https://www.researchgate.net/publication/270451932\\_Arrecifes\\_artificiales\\_y\\_pecios](https://www.researchgate.net/publication/270451932_Arrecifes_artificiales_y_pecios)
- Medina, J.R, y Serra Peris, J. (1987). *Arrecifes artificiales (I). Problemas pesqueros y de protección de costas*. *Revista de Obras Públicas* p. 725 - 735.
- Medina, J.R, y Serra Peris, J. (1988). *Arrecifes artificiales (II). Arrecifes Artificiales en el litoral español, Experiencia Valenciana*. *Revista de Obras Públicas* p. 211 - 220.
- Nakamura, M. (1985). *Evaluation of artificial fishing reef concepts in Japan*. *Bulletin of Marine Science* 37(1): 271-278.
- Norman Barea, C. (2010). *Arrecifes artificiales en el Mediterráneo occidental: Gestión y evaluación de su aportación a la sostenibilidad pesquera*. Universidad de Granada (2010). Recuperado el 11 de mayo de 2023, de [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Granada]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=63445>
- Ogawa, Y. (1982). *The present status and future pospects of artificial reefs: developmental trends of artificial reef units*. *Japanese Artificial Reef Technology*.
- Reef ball world images — Projects, people. Habitats. (s. f.). Reef Ball Foundation. Recuperado el 8 de mayo de 2023, de <https://reefballfoundation.org/reef-ball-world-images/>
- Reef Beach - Shoreline Restoration (S.f.). Recuperado el 9 de mayo de 2023 de <http://www.reefbeach.com>
- *Uso de arrecifes artificiales mejorará la ecología marina en Hainan*. (s. f.). Recuperado el 8 de mayo de 2023, de <http://spanish.peopledaily.com.cn/n3/2021/0412/c31614-9838118-14.html>



### 3. ENCUADRE GEOGRÁFICO, ACCESOS Y DATOS PREVIOS

- Alguacil Jiménez, A. (2020). *Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia*. Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/158768>
- Ayuntamiento del Puig de Santa María. *Plan estratégico de turismo 2021-2025*. (2020). Recuperado el 26 de mayo de 2023, de <https://icv.gva.es/ca/delimitacio-municipal>
- Comunitat valenciana. (2023). *Playa Puig val-play Puig*. Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <https://www.comunitatvalenciana.com/es/valencia/el-puig-de-santa-maria/playas/playa-puig-val-play-puig>
- Institut Cartogràfic Valencià. *Delimitación municipal*. Generalitat valenciana. (2023). Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <https://icv.gva.es/ca/delimitacio-municipal>
- Institut Cartogràfic Valencià. *Mapa comarcal de la Comunitat Valenciana*. Generalitat valenciana. (2023). Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <https://comunica.gva.es/es/detalle?id=368980826&site=174859783>
- Instituto Geográfico Nacional. (2023). *Mapa de comunidades autónomas*. Recuperado el 25 de mayo de 2023, de [https://www.ign.es/es/mapa/mapas\\_spain\\_bach/pdf/Espana\\_Mapas\\_01\\_texto\\_2.pdf](https://www.ign.es/es/mapa/mapas_spain_bach/pdf/Espana_Mapas_01_texto_2.pdf)
- *Playa puig val - play de el puig de santa maria*. (s. f.). Camino del Cid: un viaje por la Edad Media. Recuperado el 26 de mayo de 2023, de <https://www.caminodelcid.org/servicios/playa-puig-val-play-de-el-puig-de-santa-maria-2637824/>
- Portal Estadístico de la Generalitat Valenciana. *Demografía y población* — Portal estadístico de la Generalitat valenciana — Generalitat valenciana. (2023). Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <https://pegv.gva.es/ca/catalogo/demografia-y-poblacion>
- Valenciaport (2023). *Accesos al puerto de Sagunto*. Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <https://www.valenciaport.com/comunidad/sagunto/accesos/>
- Gisbert Vicent, Jorge, and José Cristobal Serra Peris. *Proyecto de defensa y regeneración de la playa de Puzol entre el barranco del Puig y el camino de las Alquerias (Valencia)*. Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- Sánchez Blázquez, Francisco José, and José Cristobal Serra Peris. *Proyecto de recuperación del frente litoral de la playa de El Puig de Santa Maria entre el barranco del Puig y la gola dels Plans (T.M. El Puig de Santa Maria, Valencia)*. Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- Matéu Álvaro, Álvaro José, and José Cristobal Serra Peris. *Proyecto de adecuación y regeneración de la playa del Puig entre la playa de Puzol y la urbanización Plans Mar (T.M. El Puig, Valencia)*. Universidad Politécnica de Valencia, 2016.

#### 4. BATIMETRÍA & TOPOGRAFÍA

- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (MITECO). *Ecocartografía de valencia*. (2007). Recuperado el 10 de mayo de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ecocartografia-valencia.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (MITECO). *Líneas de deslinde para el Dominio Público Marítimo Terrestre*. (s. f.). Recuperado el 15 de mayo de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/procedimientos-gestion-dominio-publico-maritimo-terrestre/linea-deslinde/default.aspx>
- *Navionics chartviewer* (2023). Recuperado el 15 de mayo de 2023, de [https://webapp.navionics.com/?lang=es#boating@6&key=%7Bi%60pFv\\_nA](https://webapp.navionics.com/?lang=es#boating@6&key=%7Bi%60pFv_nA)

#### 5. ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

- *Estado ambiental de las praderas marinas de la Comunitat Valenciana* (S.f.). Visor cartográfico de la Generalitat. Recuperado el 3 de mayo de 2023, de [https://visor.gva.es/visor/?capas=spaicv\\_mediomarino\\_fanerogamas](https://visor.gva.es/visor/?capas=spaicv_mediomarino_fanerogamas)
- *Guía de estudio: morfología del suelo* (2017). Catedra de edafología. Facultad de agronomía y zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado el 25 de mayo de 2023, de [https://moodle4vz.unsl.edu.ar/moodle/pluginfile.php/102315/mod\\_resource/content/0/Morfologia%20del%20suelo\\_%20Fadda-2017.pdf](https://moodle4vz.unsl.edu.ar/moodle/pluginfile.php/102315/mod_resource/content/0/Morfologia%20del%20suelo_%20Fadda-2017.pdf)
- Instituto Geológico y Minero de España, IGME (1973). *Mapa Geológico*. Ministerio de Ciencia e Innovación. Recuperado el 23 de mayo de 2023, de <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Default.aspx?language=es>
- Instituto Geológico y Minero de España, IGME (1973). *Mapa Geotécnico*. Ministerio de Ciencia e Innovación. Recuperado el 23 de mayo de 2023, de [http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/Geotecnico200/pdfs/Editado64\\_Geotecnico200.pdf](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/Geotecnico200/pdfs/Editado64_Geotecnico200.pdf)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (MITECO). *Ecocartografía de valencia - Morfología*. (2007). Recuperado el 10 de mayo de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ecocartografia-valencia.aspx>

## 6. CLIMA MARÍTIMO Y ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR

- Airy, G.B (1845). *Tides and Waves*, Encycloped. Metropolitana, 5, Art. 525-528, London.
- *Evolución línea de costa*. Visor GVA (S.f.). Recuperado el 3 de mayo de 2023, de [http://catalogo.icv.gva.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/spa\\_icv\\_pima\\_impactos\\_ero](http://catalogo.icv.gva.es/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/spa_icv_pima_impactos_ero)
- Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, and Y. Yu, (2021). *Ocean, Cryosphere and Sea Level Change*. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ocean, cryosphere, and sea level change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1211–1362. Recuperado el 18 de mayo de 2023, de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-9/>
- GVA (2022). *La costa valenciana frente la emergencia climática — Cambio climático — Generalitat valenciana*. Cambio Climático. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <https://agroambient.gva.es/ca/web/cambio-climatico/costa-valenciana-enfront-emergencia-climatica>
- Iñigo J., Losada Rodríguez., Izaguirre C., Simal P.D. (2014). *Cambio climático en la costa española*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio ambiente. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final\\_tcm30-178459.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf)
- Instituto Español de Oceanografía - IEO (2010). *Tendencias del nivel del mar en el Mar Mediterráneo*. Recuperado el 16 de mayo de 2023, de [http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio\\_climatico\\_reedicion.pdf](http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio_climatico_reedicion.pdf)
- Instituto Español de Oceanografía - IEO (2010). *Tendencias del nivel del mar en el Mar Mediterráneo*. Recuperado 2 de mayo de 2023, de [http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio\\_climatico\\_reedicion.pdf](http://www.ma.ieo.es/gcc/cambio_climatico_reedicion.pdf)
- Kersting, D.K. (2016). *Cambio climático en el medio marino español: impactos. Vulnerabilidad y adaptación*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio ambiente. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/kersting\\_2016\\_cambio\\_climatico\\_medio\\_marino\\_tcm30-70535.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/kersting_2016_cambio_climatico_medio_marino_tcm30-70535.pdf)
- M<sup>a</sup> del Carmen Palomino Monzón y José Luis Almazán Gárate (2001). *Descripción, medida y análisis del oleaje*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de [https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/extremales/EXT\\_1\\_2\\_2630.pdf](https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/extremales/EXT_1_2_2630.pdf)
- Massel S. (1996) *Ocean surface waves: Their physics and prediction*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015). *Estudios de dinámica litoral, defensa y propuesta de mejora en las playas con problemas erosivos, considerando los efectos del cambio climático*. Recuperado el 17 de mayo de 2023, de [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategiaactuacionvalenciafinalmemoriared1b\\_tcm30-163219.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategiaactuacionvalenciafinalmemoriared1b_tcm30-163219.pdf)
- MITECO (2008). *Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales*. Recuperado el 4 de mayo de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/actividades-humanas/arrecifes-artificiales/default.aspx>
- Nautic, M. (2019). *Corrientes marinas del Mediterráneo*. Menorca Nautic Blog. Recuperado el 23 de mayo de 2023, de <https://www.menorcanautic.com/blog/corrientes-marinas-del-mediterraneo/>



- Puertos del Estado (2000). *Programa de recomendaciones de obras marítimas (ROM) 0.0-0.1). Procedimiento general y bases de cálculo*. Ministerio de Fomento. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de [https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200\\_0-01.pdf](https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200_0-01.pdf)
- Puertos del Estado (2009). *Programa de recomendaciones de obras marítimas (ROM) 1.0-09). Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*. Ministerio de Fomento. Recuperado el 28 de junio de 2023, de [https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200\\_0-01.pdf](https://widispe.puertos.es/rom/storage/public/docROM/ROM%200_0-01.pdf)
- Puertos del Estado (2017). *Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria en el Puerto de Sagunto*. Ministerio de Fomento. Recuperado el 17 de mayo de 2023, de <https://bancodatos.puertos.es//BD/informes/anuales/3/3655N22.pdf>
- Puertos del Estado (2022). *Datos históricos de oleaje: extremos máximos de oleaje por direcciones. Boya de Valencia*. Ministerio de Fomento. Recuperado el 16 de mayo de 2023, de [https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/extremales/EXT\\_1\\_2\\_2630.pdf](https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/extremales/EXT_1_2_2630.pdf)
- Puertos del Estado (2022). *Datos históricos de oleaje: extremos máximos de oleaje por direcciones. Boya de Valencia*. Ministerio de Fomento. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de [https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/extremales/EXT\\_1\\_2\\_2630.pdf](https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/extremales/EXT_1_2_2630.pdf)
- Puertos del Estado (S.f). *Predicción del oleaje, nivel del mar; boyas y mareógrafos*. Recuperado el 17 de mayo de 2023, de <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- Puertos del Estado (S.f). *ROM-wipeside*. Recuperado el 17 de mayo de 2023, de <http://www.puertos.es/es-es/ROM>

## 7. ESTUDIO DE SOLUCIONES

- *AHP - Analytc Hierarchy Process (2011)*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 29 de mayo de 2023, de <https://www.youtube.com/watch?v=SVivfG6laaw>
- Briganti, R., Van Der Meer, J.W., Buccino, M. y Calabrese, M., (2003). *WaveTransmission behind Low-Crested Structures*. Proc. Coastal Structures 2003, ASCE, 580-592.
- Burcharth, H., Lamberti, A., (2004). *Design guidelines of low crested structures*. Proc. 29th Int. Coastal Eng. Conf., ASCE, 4126-4138
- Campo C., J.A., Díaz U., S., Ávila R., H. y Rivillas-Ospina, G.D. (2018). *Comparación del potencial de disipación de energía del oleaje entre estructuras sumergidas y flotantes y sus efectos en la protección costera*. Tecnura, 22(58), 13-24. Recuperado el 30 de mayo de 2023, de <https://www.redalyc.org/journal/2570/257058384002/html/>
- García Cárcel, A. (2021). *Estudio de soluciones para la reparación del dique norte del puerto de Gandía (Valencia)*. Trabajo Final de Grado - Universitat Politècnica de València. Recuperado el 1 de abril de 2023, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/173312>
- González, N. & PrevenControl. (2019, abril 23). *AHP: Un método para fortalecer la toma de decisiones en SST*. PrevenControl. Recuperado el 29 de mayo de 2023 de <https://prevencontrol.com/prevenblog/ahp-un-metodo-para-fortalecer-la-toma-de-decisiones-en-sst/>
- Instituto Español de Oceanografía – IEO (2005). *Atlas praderas marinas de España*. Recuperado el 3 de mayo de 2023, de <https://www.ieo.es/atlas-praderas-marinas>
- IVE | Instituto Valenciano de la Edificación (2023). *Base de datos de la construcción del año 2022*. Recuperado el 26 de junio de 2023, de <https://www.five.es/>
- Lozano Tovar, S. (2021). *Estudio de transmisión de oleaje para el diseño de diques arrecife homogéneos de Cubípodos. Aplicación a la protección del litoral del Parque Nacional de Corcovado (Costa Rica)*. Trabajo Final de Master - Universitat Politècnica de València. Recuperado el 29 de mayo de 2023, de <http://hdl.handle.net/10251/173134>

- Luque, Angel & Falcón, Medina & Ramos, A.J. & Sosa, P.A. & Martínez, E. (2001). *Arrecifes artificiales y pecios*. Recuperado el 9 de mayo de 2023 de [https://www.researchgate.net/publication/270451932\\_Arrecifes\\_artificiales\\_y\\_pecios](https://www.researchgate.net/publication/270451932_Arrecifes_artificiales_y_pecios)
- Medina, J. R., & Gómez-Martín, M. E. (2015). *Manual del cubípedo 2015*. Universitat Politècnica de València.
- Medina, J. R., Gomez-Martin, M. E., Mares-Nasarre, P., Escudero, M., Oderiz, I., Mendoza, E., & Silva, R. (2020). *HOMOGENEOUS LOW-CRESTED STRUCTURES FOR BEACH PROTECTION IN CORAL REEF AREAS*. *Coastal Engineering Proceedings*, 36v. Recuperado el 7 de junio de 2023, de <https://doi.org/10.9753/icce.v36v.papers.59>
- Medina, J.R, Gómez-Martín, M. E., Mares-Nasarre, P., Odériz, I., Mendoza, E., & Silva, R. (2019). *Hydraulic performance of homogeneous low-crested structures*. *Coastal Structures*, 60–68.
- Medina, J.R., J.J. Muñoz, B. Tejedor, G. Gómez-Pina, and L. Fages. (octubre, 2006). *Actuación Experimental con Diques Modulares en Santa Mª del Mar (Cádiz)*. *Redes Neuronales, Socavación y Licuefacción de Arenas*. Libro del II Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas 301-323.
- Medina, J.R., Muñoz, J.J., Gómez-Pina, G. (septiembre, 2006). *Transmission and reflection of modular detached breakwaters*. 30th International Conference on Coastal Engineering.
- Montemar (2021). «Señalización para moto de agua, balizamiento y boyas, ¿las entendemos?». Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://www.montemarmotor.es/senalizacion-moto-agua-balizamiento-boyas/>.
- Odériz, I., Mendoza, E., Silva, R., & Medina, J. (2018). *Stability and hydraulic performance of a homogeneous cubipod low-crested mound breakwater*.
- Rodríguez, J., J. Garrido, y J.R. Medina. (2003). *Estudio de diques sumergidos prefabricados para la protección de costas*. CD-ROM de Ponencias VII Jornadas EPyC, FF Ingeniería del Agua, Granada (España).
- Yepes, V (2018). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytc Hierarchy Process – AHP)*. El blog de Víctor Yepes. Recuperado el 29 de mayo de 2023, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>.

## 8. DISEÑO DE SOLUCIÓN ADOPTADA

- Agulló Fité, L. (2007). *Consideraciones de diseño del hormigón en estructuras offshore. Capítulo II – El ambiente marino y sus procesos de degradación sobre el hormigón.* Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113470/capitulo2.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Alguacil Jiménez, A. (2020). *Estudio de la restitución del flujo sedimentario fluvial y litoral de la costa valenciana entre el Delta del Ebro y el Puerto de Denia.* Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <http://hdl.handle.net/10251/123717>
- BECOSAN® (2020). *Hormigón reforzado con fibras de acero.* Recuperado el 21 de julio de 2023, de <https://www.becosan.com/es/hormigon-reforzado-hormigon-con-fibras-de-acero/>.
- Bobeton (2018). *Ventajas del hormigón armado con fibras de acero frente al tradicional.* Recuperado el 20 de julio de 2023, de <https://bobeton.es/hormigon-armado-con-fibras-de-acero/>.
- Cifuentes Lemus, J.L, et.al. (1998). *EL OCÉANO Y SUS RECURSOS. II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Capítulo XII - Propiedades químicas del agua de mar: salinidad, clorinidad y PH.* Recuperado el 14 de junio de 2023, de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec\\_17.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html)
- Decología.info (2018). «*Agua De Mar, Propiedades Químicas Y Físicas, Evolución Química + Composición*». Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://decologia.info/medio-ambiente/agua-de-mar/>
- Djoukovski, N.N. y. Bojitch, P. K. (1959). *La houle.* ÉDITIONS EYROLLES.
- Dr. Ido Sella. (2021). *ECONcrete: hormigón para desarrollar la biodiversidad.* Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://www.aivp.org/es/newsroom/econcrete-hormigon-para-desarrollar-la-biodiversidad/>
- EHE-08. (2008). *Instrucción de hormigón estructural.* Ministerio de la Presidencia, España. REAL DECRETO 1247/2008, del 18 de Julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE – 08).
- El blog de Víctor Yepes (febrero, 2013). – *Hormigón en ambiente marino.* Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2018/07/HormigonenambientemarinoIECA.pdf>
- El blog de Víctor Yepes (julio, 2018). – *¿Es el agua de mar agresiva para el hormigón?* Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/07/26/es-el-agua-de-mar-agresiva-para-el-hormigon/>
- Espinoza Montenegro, A. (2010). *Estudio de dosificación de hormigón de ultra alta resistencia, basado en el empaquetamiento de los áridos.* Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 20 de julio de 2023, de [https://oa.upm.es/4511/1/TESIS\\_MASTER\\_ANA\\_ARGENTINA\\_ESPINOZA\\_MONTENEGRO.pdf](https://oa.upm.es/4511/1/TESIS_MASTER_ANA_ARGENTINA_ESPINOZA_MONTENEGRO.pdf)
- Euronews (febrero, 2020). «*La acidificación de los océanos: un enorme reto para los ecosistemas*». Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://es.euronews.com/green/2020/02/19/la-acidificacion-de-los-oceanos-un-enorme-reto-para-los-ecosistemas>.
- Gayo Romero, J.L. (1998). *Arrecifes artificiales: Estructuras llenas de vida.* Informes de la construcción, 50(458), 5-16. Recuperado el 3 de mayo de 2023 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308484>
- Hernández Ojeda, E. (2022). *Estudio del trasvase de sedimentos depositados en los embalses y restitución del flujo sedimentario fluvial para regenerar las playas valencianas entre el Delta del Ebro y el Puerto de Dénia.* Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/188738>



- Herrero Rodríguez, B. (2019). *Diseño y valoración económica de arrecife artificial en la playa Norte de Peñíscola (Castellón)*. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <http://hdl.handle.net/10251/123717>
- Instituto Valenciano de la Edificación - IVE, (2023). *Base de datos de la construcción*. Recuperado el 23 de julio de 2023, de <https://bdc.f-ive.es/BDC22/1>
- Lavey, Moriah. (2022). *Marine Biodiversity & EConcrete: Balancing Infrastructure and Ecology*. EConcrete. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://econcretetech.com/blogcat/marine-biodiversity/>.
- Más que Ingeniería (2015). *Hormigones Especiales (II): Hormigón Reforzado con Fibras*. Recuperado el 18 de julio de 2023, de <https://masqueingenieria.com/blog/hormigones-especiales-hormigon-reforzado-con-fibras/>
- Medina, J.R, Gómez-Martín, M. E., Mares-Nasarre, P., Odériz, I., Mendoza, E., & Silva, R. (2019). *Hydraulic performance of homogeneous low-crested structures*. *Coastal Structures*, 60–68.
- Medina, J.R., J.J. Muñoz, B. Tejedor, G. Gómez-Pina, and L. Fages. (octubre, 2006). *Actuación Experimental con Diques Modulares en Santa Mª del Mar (Cádiz)*. *Redes Neuronales, Socavación y Licuefacción de Arenas*. Libro del II Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas 301-323.
- Prieto Quintana, D. (2020). *Fabricación de arrecifes artificiales con morteros sostenibles mediante impresión 3D*. Trabajo Final de Grado de la ETSICCP de la Universidad de Cantabria. Recuperado el 14 de junio de 2023, de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/19041/Prieto%20Quintana%2C%20Darío.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes Moreno, M.C (2018). *Construcción, instalación y monitoreo de arrecifes artificiales como sitio de refugio de langosta caribeña en isla Holbox, Quintana Roo*. Sociedad Cooperativa de producción Pesquera de Cabo Atoches S.c.

- Ros Martí, P. (2022). *Diseño y construcción de un módulo de hormigón prefabricado para la creación de arrecifes artificiales*. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València. Recuperado el 28 de junio de 2023, de <http://hdl.handle.net/10251/190887>

## 9. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

- Gayo Romero, J.L. (1998). *Arrecifes artificiales: Estructuras llenas de vida*. Informes de la construcción, 50(458), 5-16. Recuperado el 3 de mayo de 2023 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3308484>
- Hermo (2023). *Prefabricados de hormigón y viviendas prefabricadas*. *Edificación*. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://www.hermo.net/>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2023). *Altura máxima*. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://www.mitma.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/altura-y-anchura-maximas/altura-maxima>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2023). *Longitud máxima*. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://www.mitma.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/longitudes/longitudes-mercancias>
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2023). *Pesos máximos de vehículos articulados de 5 o más ejes*. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://www.mitma.gob.es/transporte-terrestre/inspeccion-y-seguridad-en-el-transporte/pesos-y-dimensiones/pesos/pesos-trailer/trailer-de-mas-de-cuatro-ejes>
- MITECO (2008). *Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales*. Recuperado el 4 de mayo de 2023, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/actividades-humanas/arrecifes-artificiales/default.aspx>
- PRHOMARCO | TUBOS IGUADALA (2023). Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://www.prhomarco.com/>

- Robles Toledo, J (2022). *Altura camión con contenedor*. MundoCamion.es. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://mundocamion.es/camion/altura-camion-con-contenedor/#tipos-de-camiones-portacontenedores>
- ROSTOR (2020). *Lanza submarina*. Recuperado el 27 de julio de 2023, de [https://www.rostor.es/cas-accessoris\\_s-04.html](https://www.rostor.es/cas-accessoris_s-04.html)

# DOCUMENTO N°2: PLANOS

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





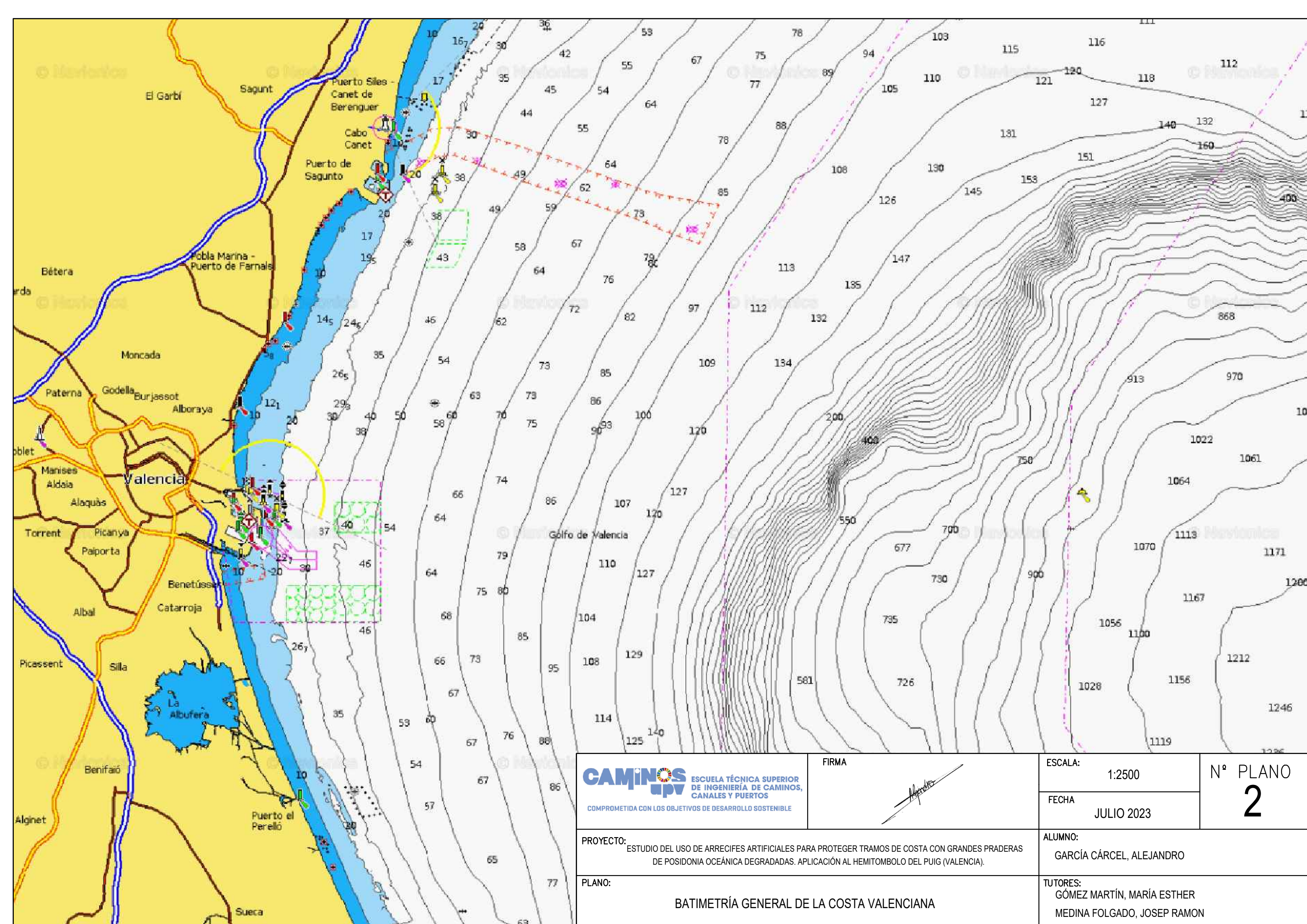
## ÍNDICE DE PLANOS



- **PLANO Nº1.- SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO**
- **PLANO Nº2.- BARTIMETRÍA GENERAL**
  - PLANO Nº2.1: BATIMETRÍA ZONA DE ESTUDIO
  - PLANO Nº2.2: EROSIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA
- **PLANO Nº3.- SITUACIÓN DE LAS PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA**
- **PLANO Nº4.- ALTERNATIVA Nº1: SECCIÓN Y DIMENSIONES**
  - PLANO Nº4.1- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA
- **PLANO Nº5.- ALTERNATIVA Nº2: SECCIÓN Y DIMENSIONES**
- **PLANO Nº6.- ALTERNATIVA Nº3: SECCIÓN TRANSVERSAL**
  - PLANO Nº6.1.- DIMENSIONES DE LOS MÓDULOS
  - PLANO Nº6.2.- DIMENSIONES PARED INTERIOR
  - PLANO Nº6.3.- VISTA 3D DE LOS MÓDULOS
- **PLANO Nº7.- SOLUCIÓN ADOPTADA: DISEÑO Y DIMENSIONES**
  - PLANO Nº7.1.- SECCIÓN TRANSVERSAL
  - PLANO Nº7.2.- VISTA 3D DE LOS MÓDULOS
  - PLANO Nº7.3.- 1º PROPUESTA PARA MEJORAR BENEFICIOS
  - PLANO Nº7.4.- 2º PROPUESTA PIEZAS PARA BENEFICIOS BIODIVERSIDAD
  - PLANO Nº7.5.- DESPIECE DE PIEZAS DE 2º PROPUESTA
  - PLANO Nº7.6.- DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN DE LOS BLOQUES
  - PLANO Nº7.7.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA GENERAL DE LOS BLOQUES
  - PLANO Nº7.8.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA TRAMO 1
  - PLANO Nº7.9.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA TRAMO 2
  - PLANO Nº7.10.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA TRAMO 3
  - PLANO Nº7.11.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA TRAMO 4
  - PLANO Nº7.12.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA TRAMO 5
  - PLANO Nº7.13.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA TRAMO 6
  - PLANO Nº7.14.- DISTRIBUCIÓN EN PLANTA TRAMO 7
  - PLANO Nº7.15.- VISTA 3D DE LOS BLOQUES ASENTADOS
  - PLANO Nº7.15.- BALIZAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS
- **PLANO Nº8.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**
  - PLANO Nº8.1.- DIMENSIONES DEL CAMIÓN DE TRANSPORTE
  - PLANO Nº8.2.- DIMENSIONES DE LAS EMBARCACIONES DE TRANSPORTE



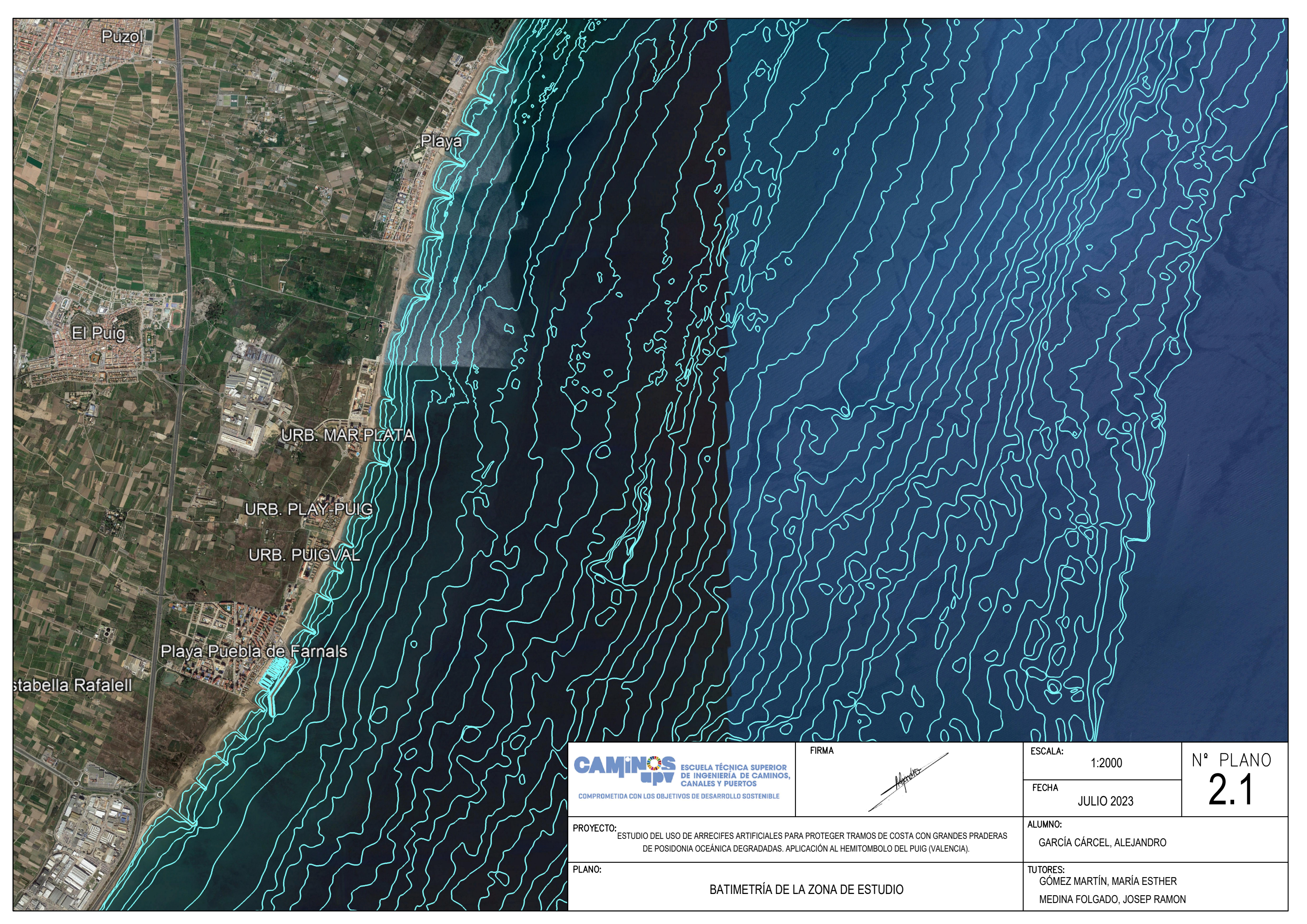






	FIRMA	ESCALA:	Nº PLANO
		1:2500	2
PROYECTO:	ALUMNO:	FECHA:	
ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO	JULIO 2023	
PLANO:	TUTORES:		
BATIMETRÍA GENERAL DE LA COSTA VALENCIANA	GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		





**CAMINOS**  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
 COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA



ESCALA: 1:2000

FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**2.1**

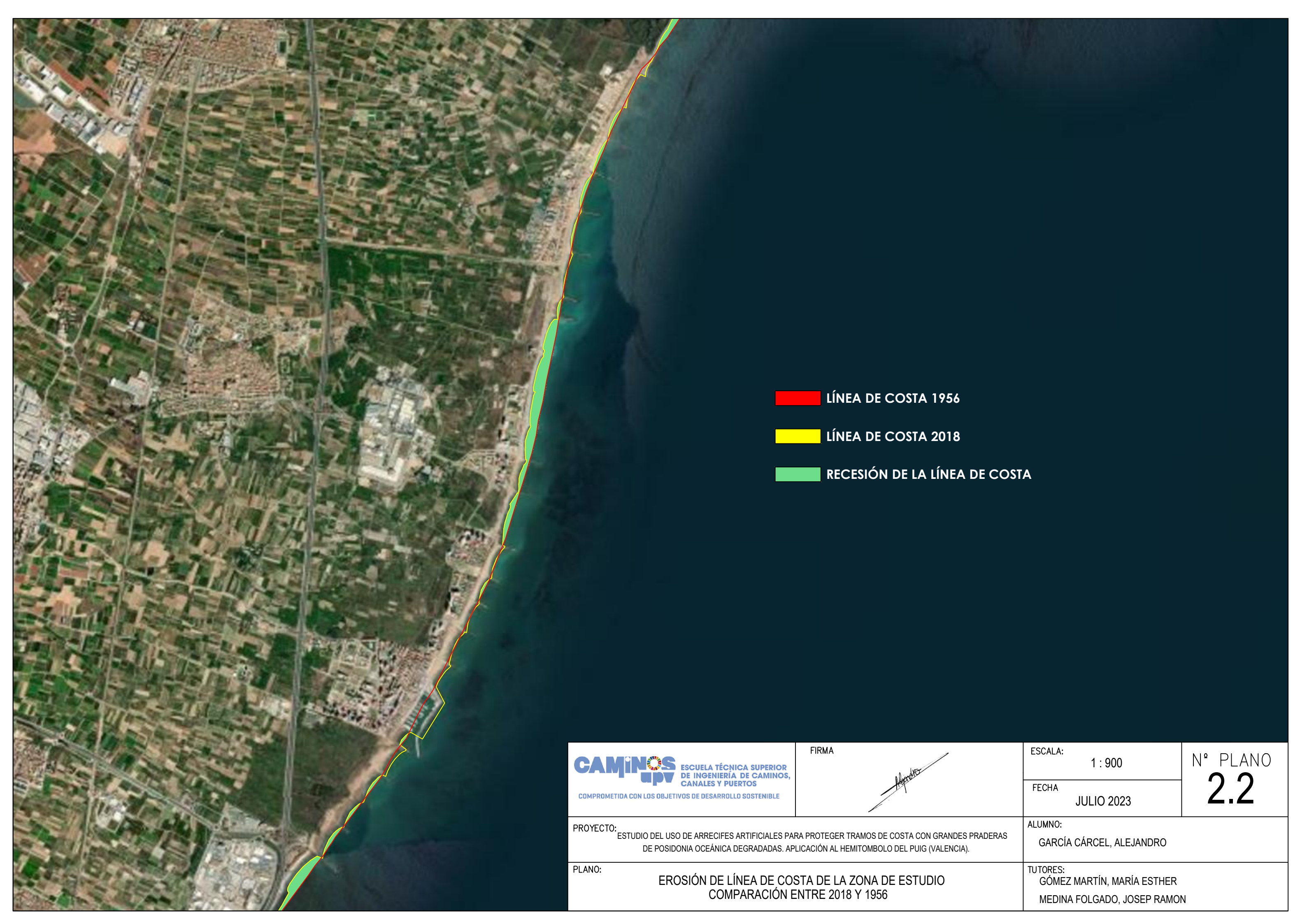
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO: BATIMETRÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
 MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON

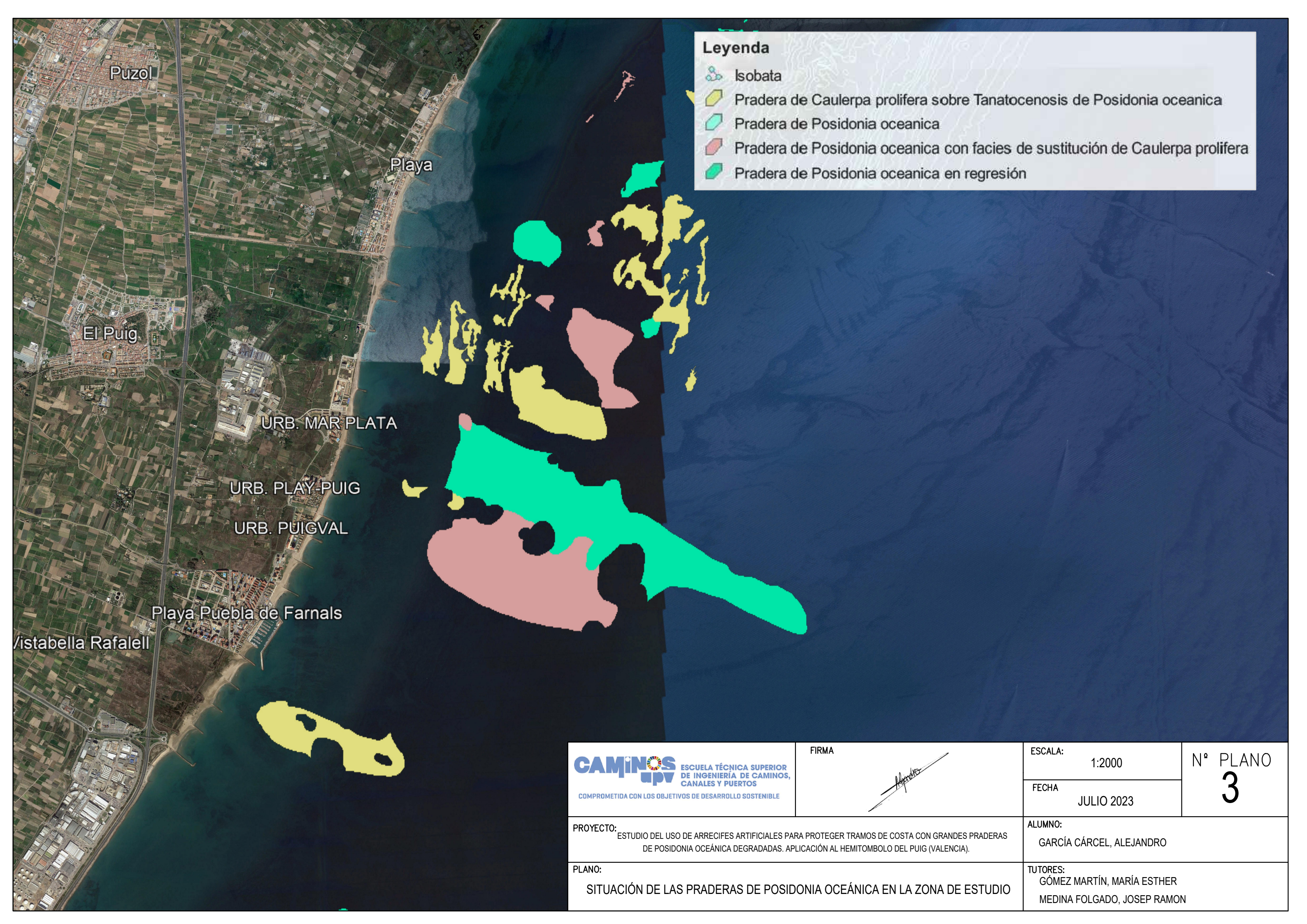









- LÍNEA DE COSTA 1956
- LÍNEA DE COSTA 2018
- RECESIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

	FIRMA	ESCALA:	Nº PLANO <b>2.2</b>
		1 : 900	
PROYECTO:	ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	FECHA:	JULIO 2023
ALUMNO:	GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO	TUTORES:	GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON
PLANO:	EROSIÓN DE LÍNEA DE COSTA DE LA ZONA DE ESTUDIO COMPARACIÓN ENTRE 2018 Y 1956		







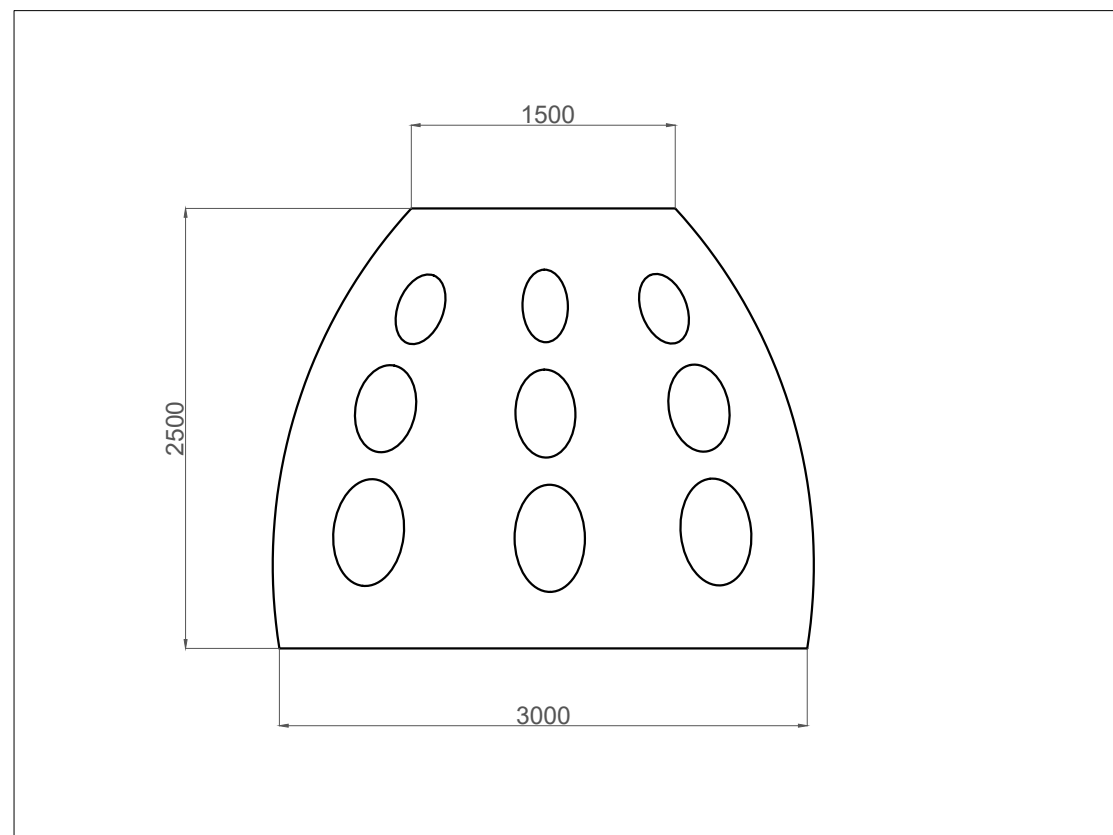
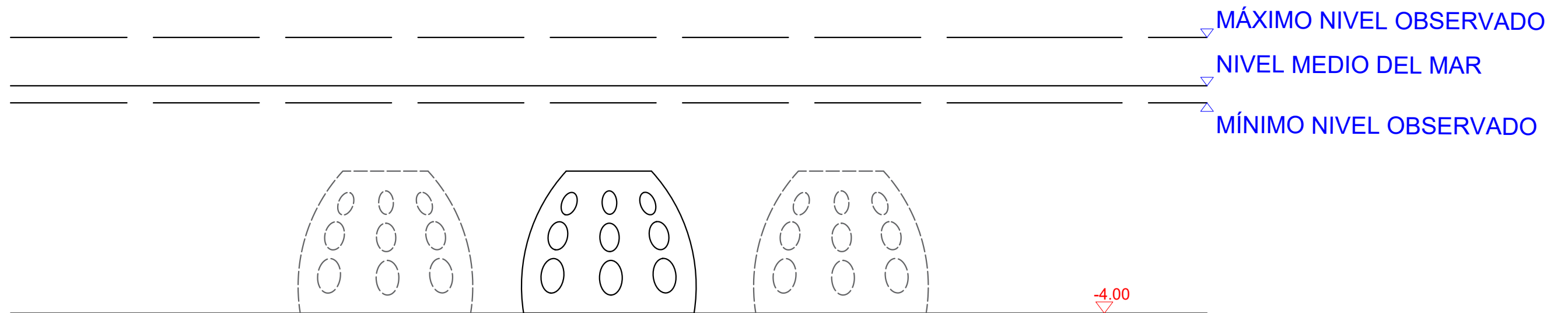
**Leyenda**

-  Isobata
-  Pradera de Caulerpa prolifera sobre Tanatocenosis de Posidonia oceanica
-  Pradera de Posidonia oceanica
-  Pradera de Posidonia oceanica con facies de sustitución de Caulerpa prolifera
-  Pradera de Posidonia oceanica en regresión

Puzol  
 Playa  
 El Puig  
 URB. MAR PLATA  
 URB. PLAY-PUIG  
 URB. PUIGVAL  
 Playa Pueblo de Farnals  
 /istabella Rafalell

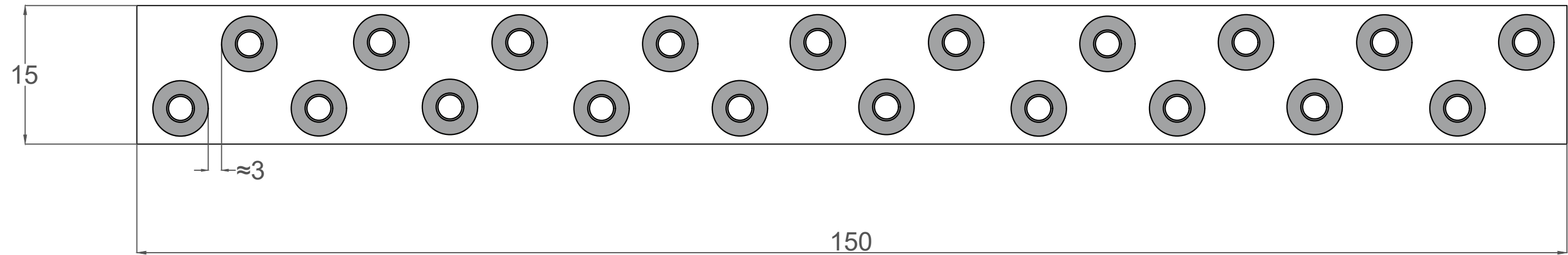
	FIRMA	ESCALA: 1:2000	Nº PLANO <b>3</b>
		FECHA: JULIO 2023	
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO		
PLANO: SITUACIÓN DE LAS PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA EN LA ZONA DE ESTUDIO	TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		







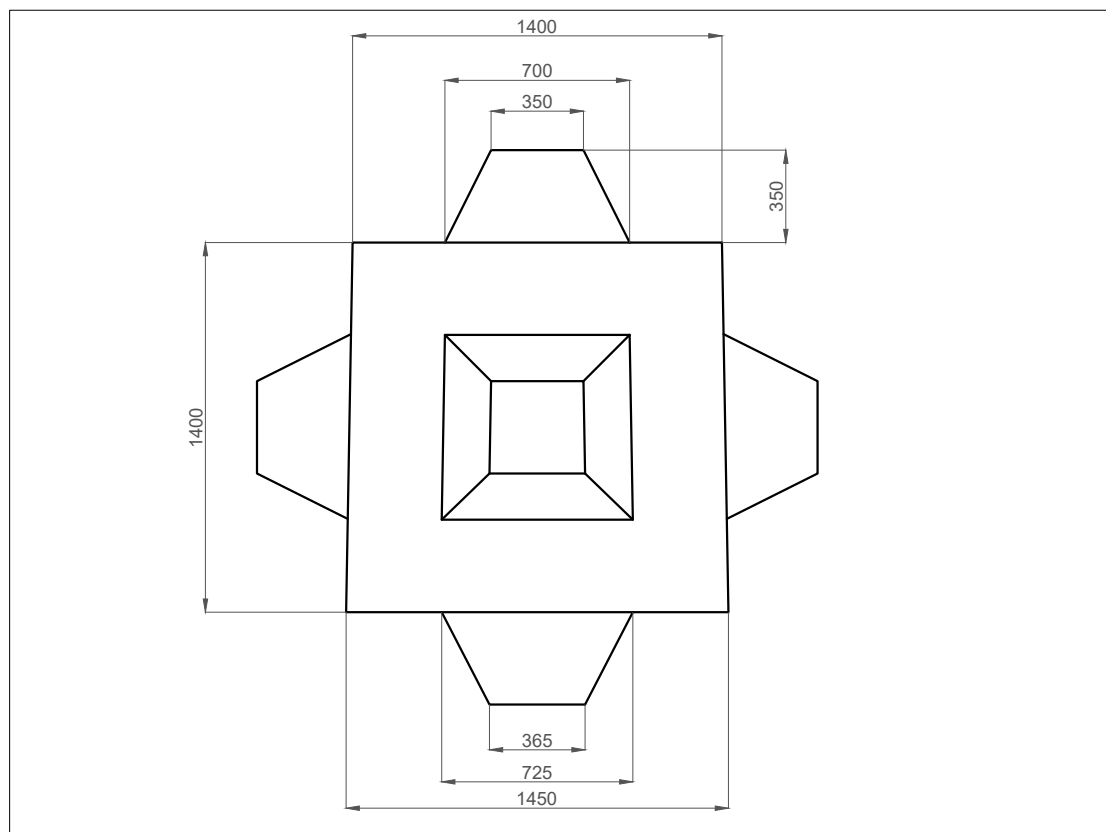
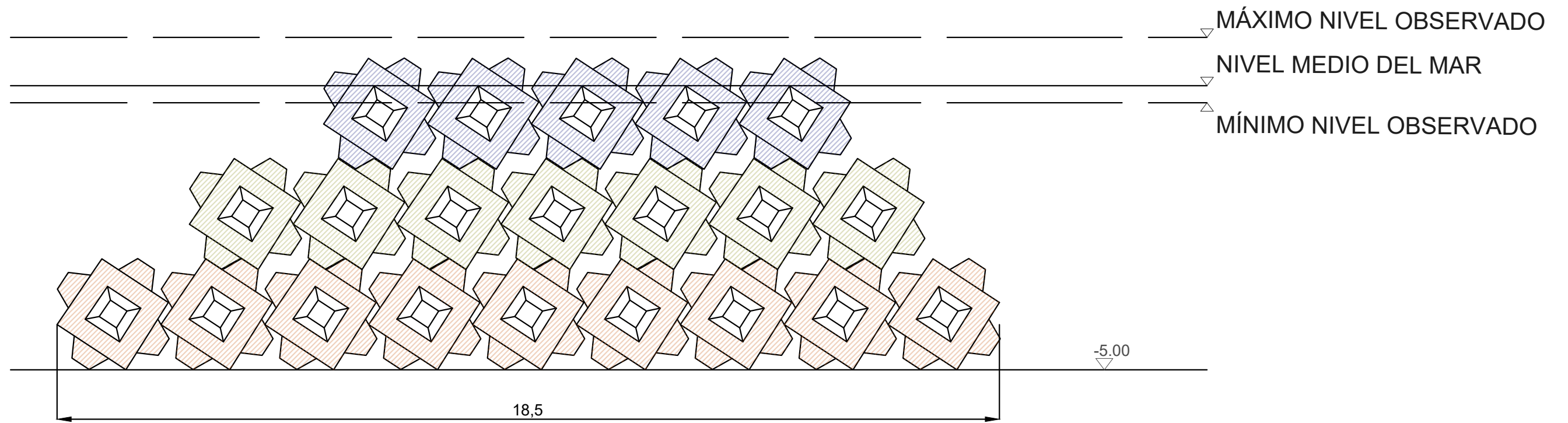
	FIRMA	ESCALA: 1 : 75	Nº PLANO <b>4</b>
		FECHA: JULIO 2023	
<b>PROYECTO:</b> ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	<b>ALUMNO:</b> GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO		
<b>PLANO:</b> ALTERNATIVA Nº1: ESTRUCTURAS ALVEOLARES A BAJA PROFUNDIDAD SECCIÓN TRANSVERSAL Y DIMENSIONES DE LAS PIEZAS	<b>TUTORES:</b> GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		

BLOQUE DE 150 m - N° PIEZAS: 20



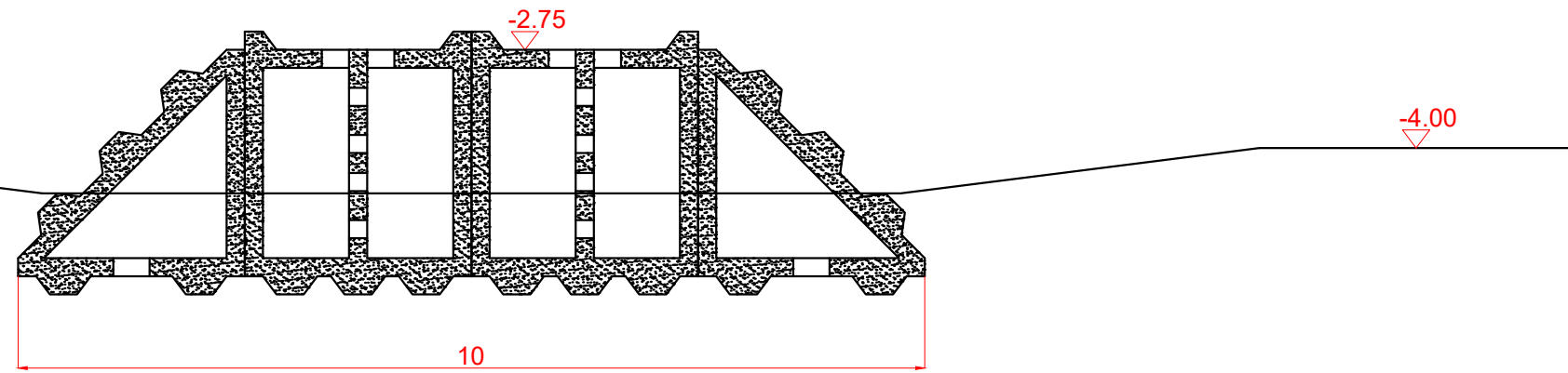
	FIRMA	ESCALA:	N° PLANO <b>4.1</b>
		1 : 450	
		FECHA	
		JULIO 2023	
PROYECTO:	ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).		ALUMNO:
			GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO
PLANO:	ALTERNATIVA N°1: ESTRUCTURAS ALVEOLARES A BAJA PROFUNDIDAD DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS ESTRUCTURAS		TUTORES:
			GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



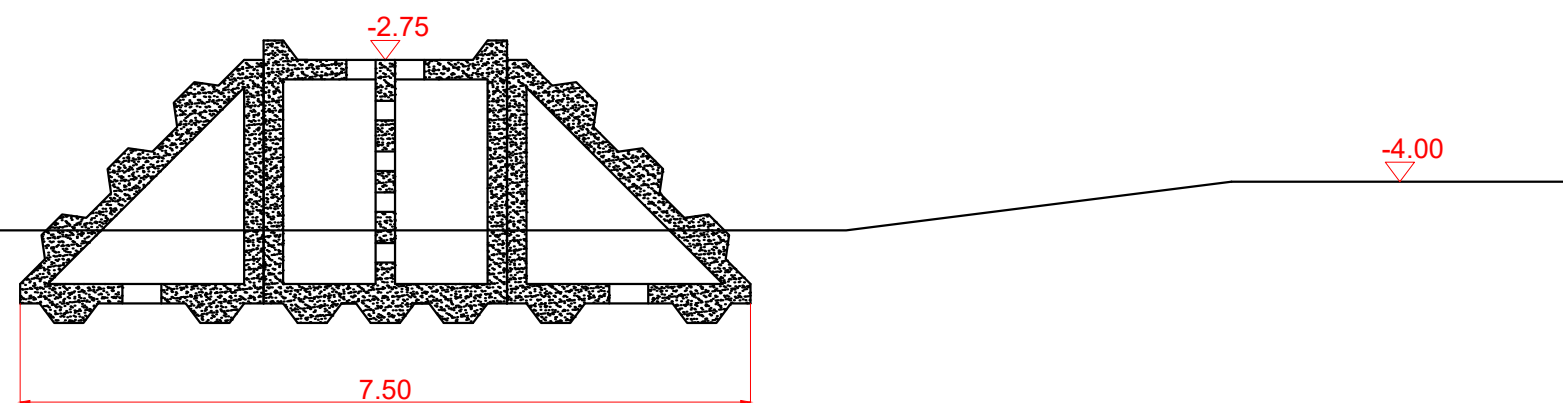


	FIRMA	ESCALA:	Nº PLANO <b>5</b>
		1 : 75	
PROYECTO:	ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	FECHA:	JULIO 2023
PLANO:	ALTERNATIVA Nº2: DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA (HLCS) SECCIÓN TRANSVERSAL Y DIMENSIONES DE LAS PIEZAS	ALUMNO:	GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO
		TUTORES:	GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON

MÁXIMO NIVEL OBSERVADO  
 NIVEL MEDIO DEL MAR  
 MÍNIMO NIVEL OBSERVADO



MÁXIMO NIVEL OBSERVADO  
 NIVEL MEDIO DEL MAR  
 MÍNIMO NIVEL OBSERVADO



FIRMA

ESCALA: 1 : 75  
 FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**6**

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

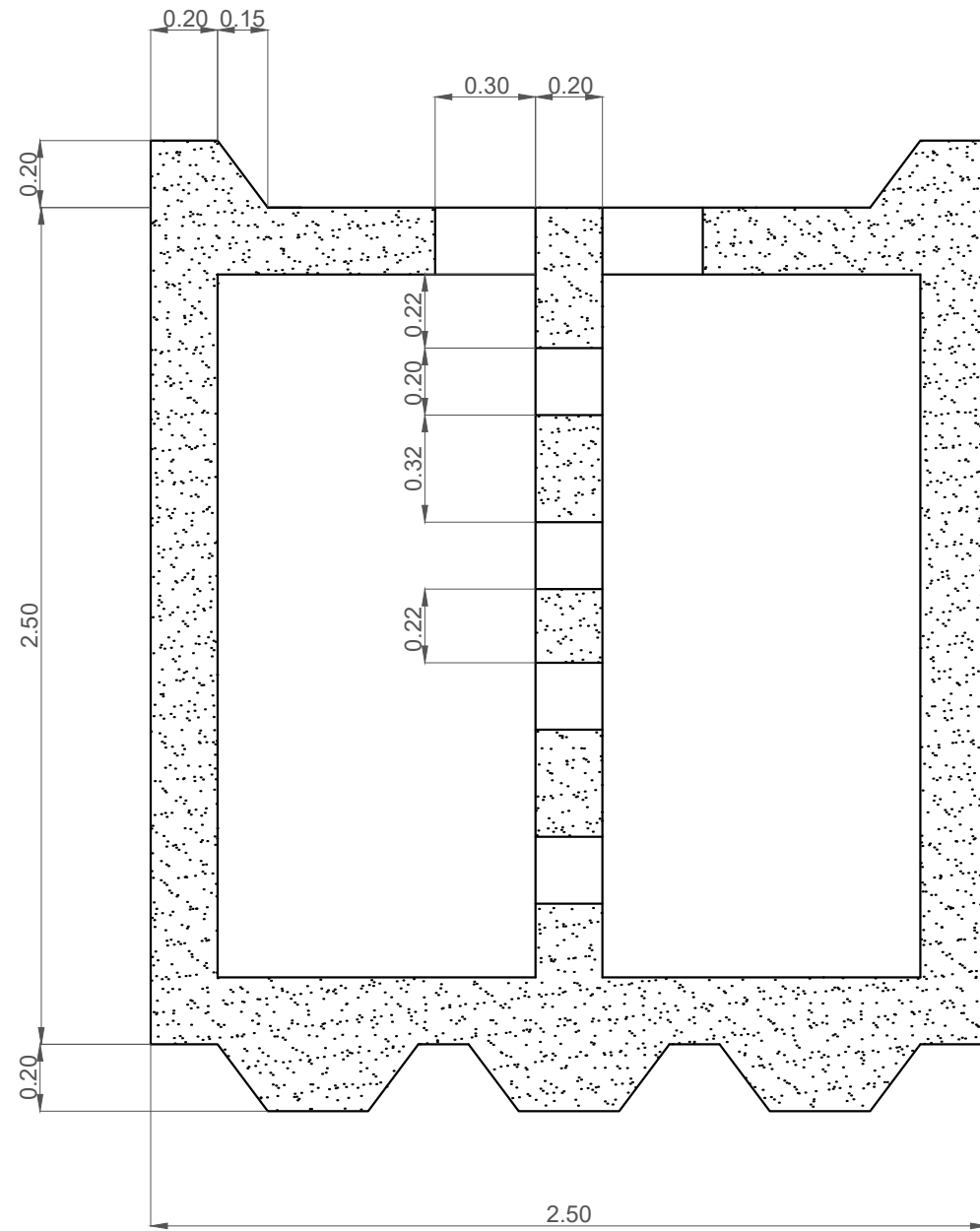
ALUMNO:  
 GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
 ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES  
 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS POSIBLES CONFIGURACIONES

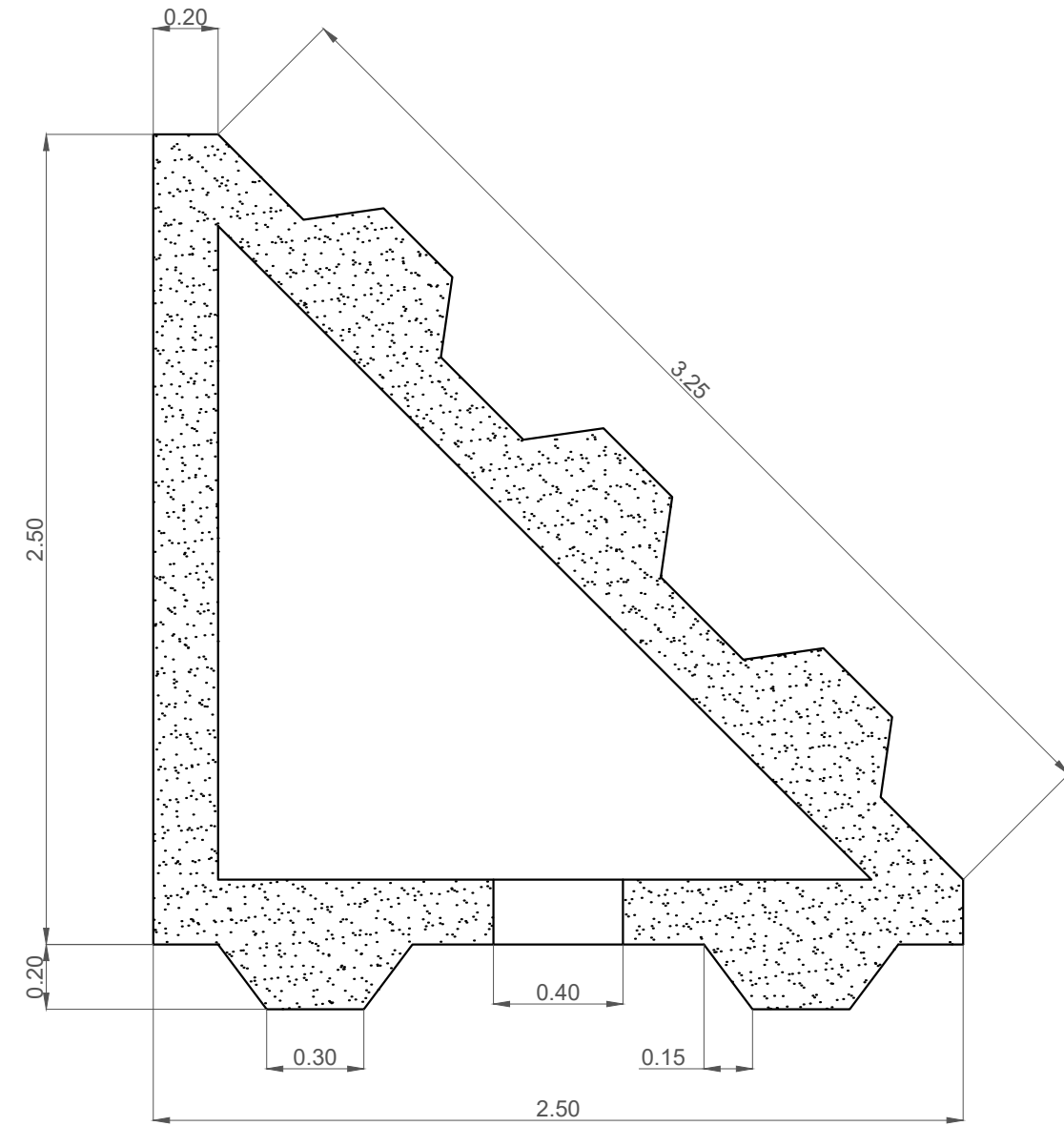
TUTORES:  
 GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
 MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



### MÓDULOS C

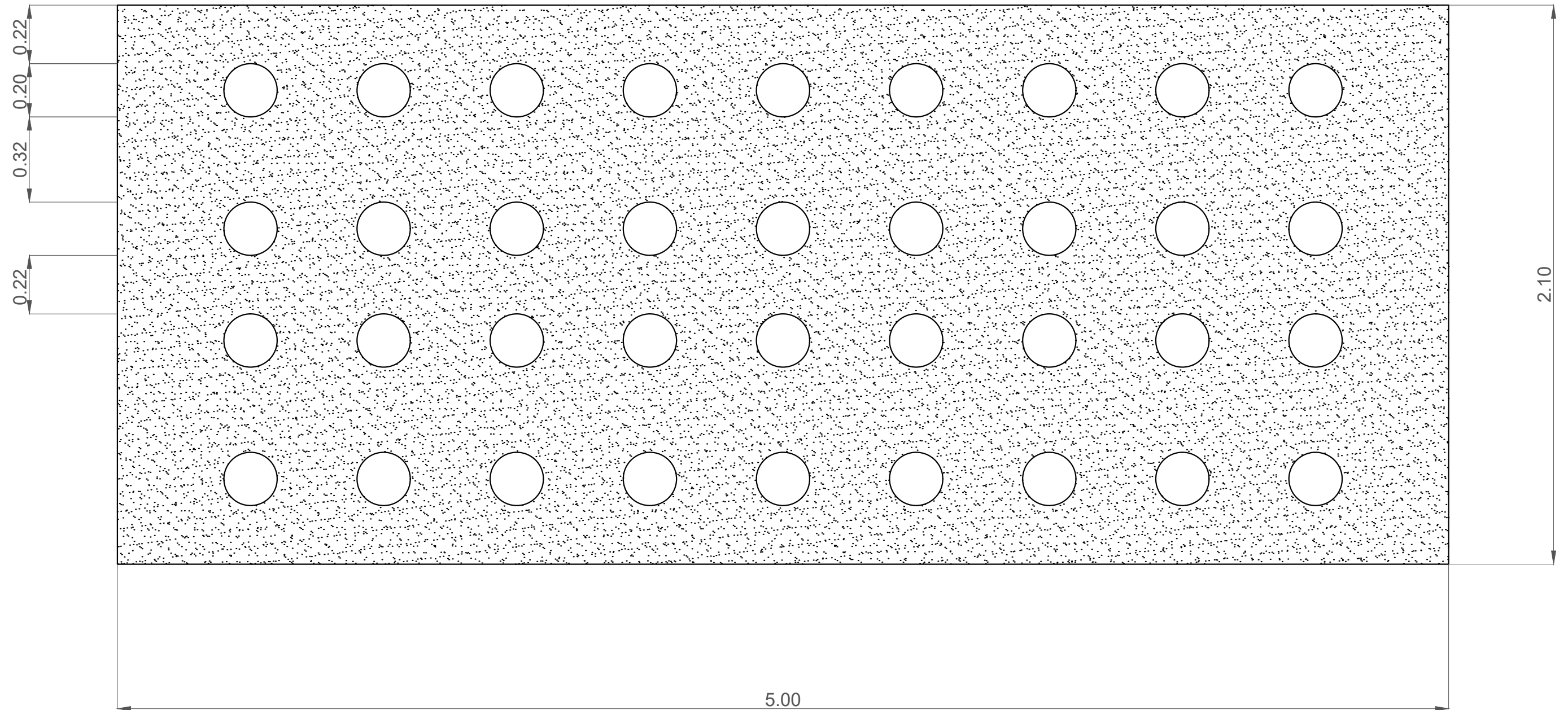




### MÓDULOS T



	FIRMA	ESCALA:	Nº PLANO <b>6.1</b>
		1 : 10	
PROYECTO:	ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	FECHA:	JULIO 2023
PLANO:	ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES DIMENSIONES DE LOS MÓDULOS	ALUMNO:	GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO
		TUTORES:	GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



PAREDES INTEIORES

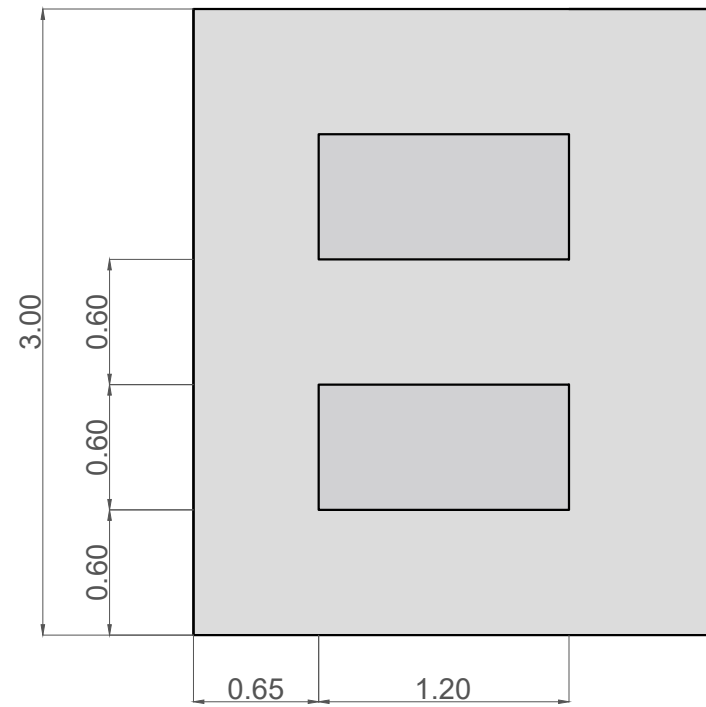
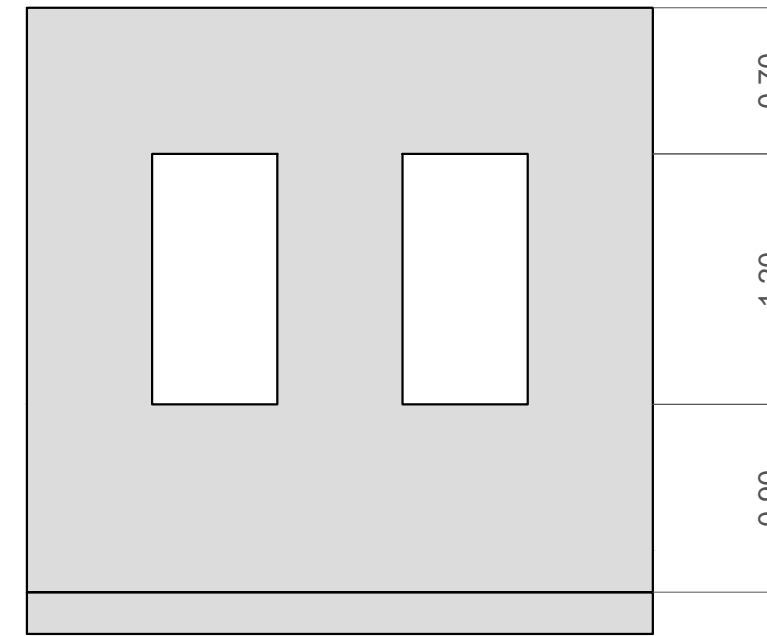
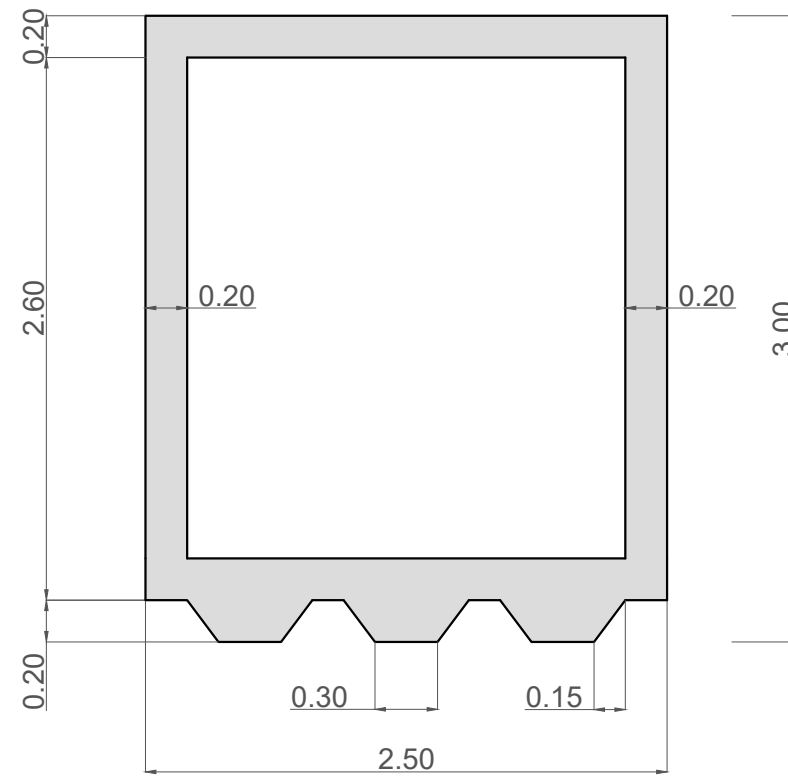


	FIRMA	ESCALA:	Nº PLANO <b>6.2</b>
		1 : 10	
PROYECTO:	ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	FECHA:	JULIO 2023
ALUMNO:	GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO	TUTORES:	GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON
PLANO:	ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES DIMENSIONES DE LA PARED INTERIOR		





	FIRMA	ESCALA:	Nº PLANO <b>6.3</b>
		1 : 60	
PROYECTO:	ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	FECHA:	JULIO 2023
ALUMNO:	GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO	TUTORES:	GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON
PLANO:	ALTERNATIVA Nº3: ESTRUCTURAS MODULARES VISTA 3D DE LA ALTERNATIVA		



	FIRMA	ESCALA: 1 : 35	Nº PLANO <b>7</b>
		FECHA: JULIO 2023	
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO		
PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: DISEÑO Y DIMENSIONES DE LAS PIEZAS	TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		

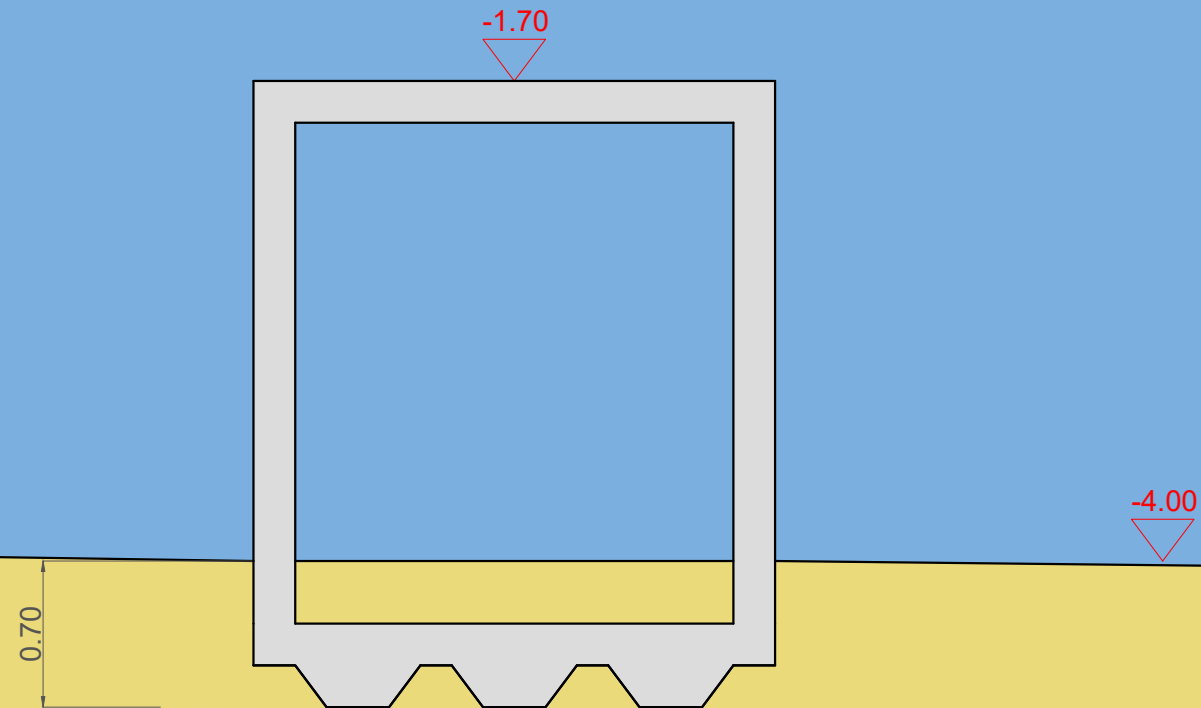


COTAS DE REFERENCIA RESPECTO AL NIVEL MEDIO DEL MAR

MÁXIMO NIVEL OBSERVADO

NIVEL MEDIO DEL MAR

MÍNIMO NIVEL OBSERVADO



**CAMINOS** upv  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA

ESCALA: 1 : 35

FECHA: JULIO 2023

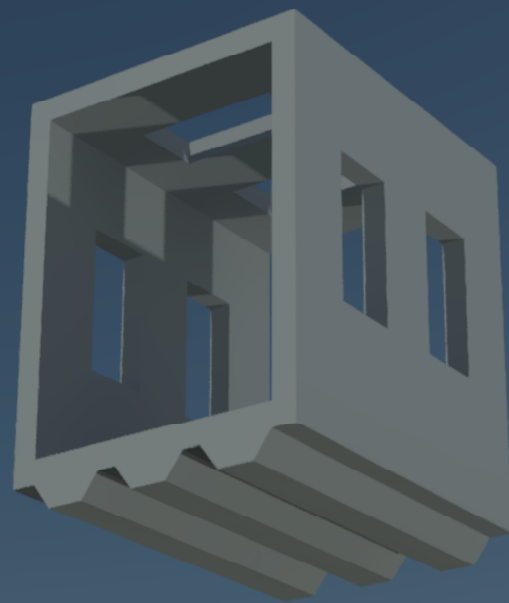
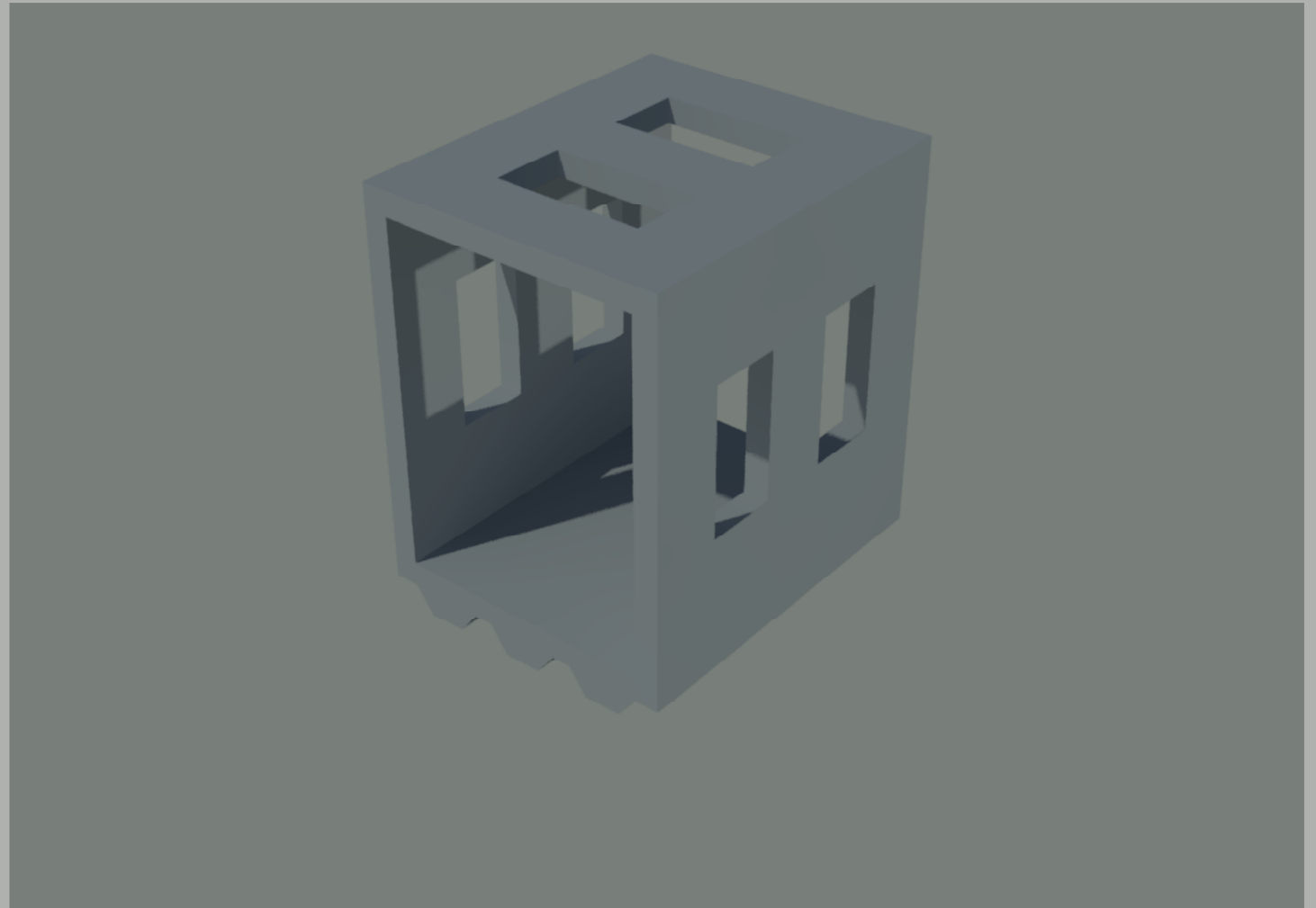
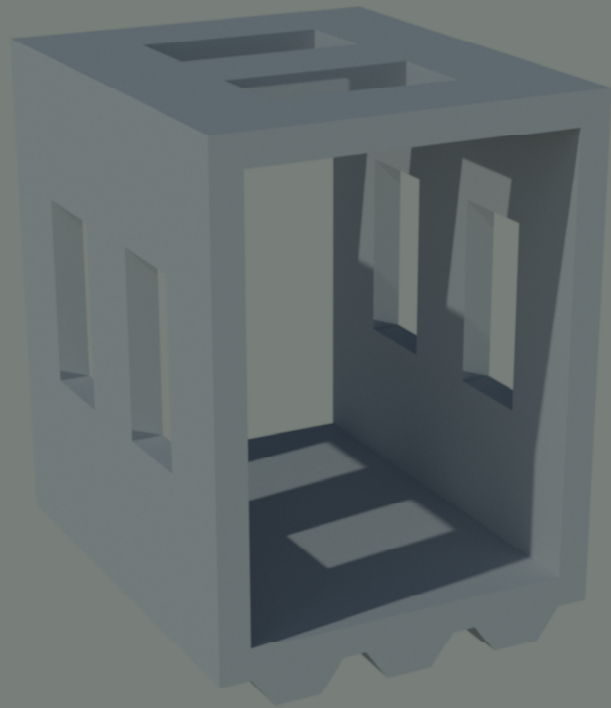
Nº PLANO  
**7.1**

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
SOLUCIÓN ADOPTADA: SECCIÓN TRASNVERSAL

TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



**CAMINOS**  
UPV ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA

ESCALA: VARIAS  
FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.2**

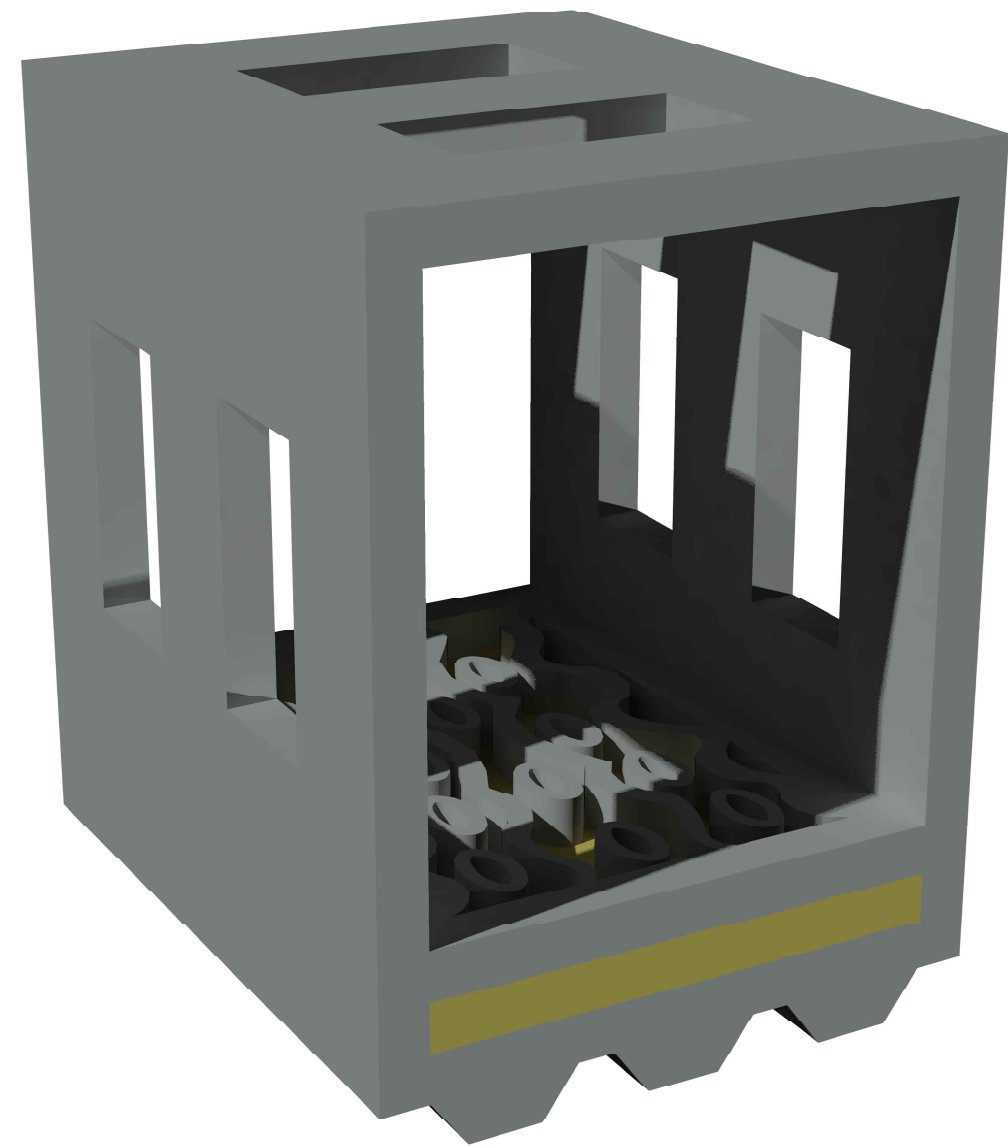
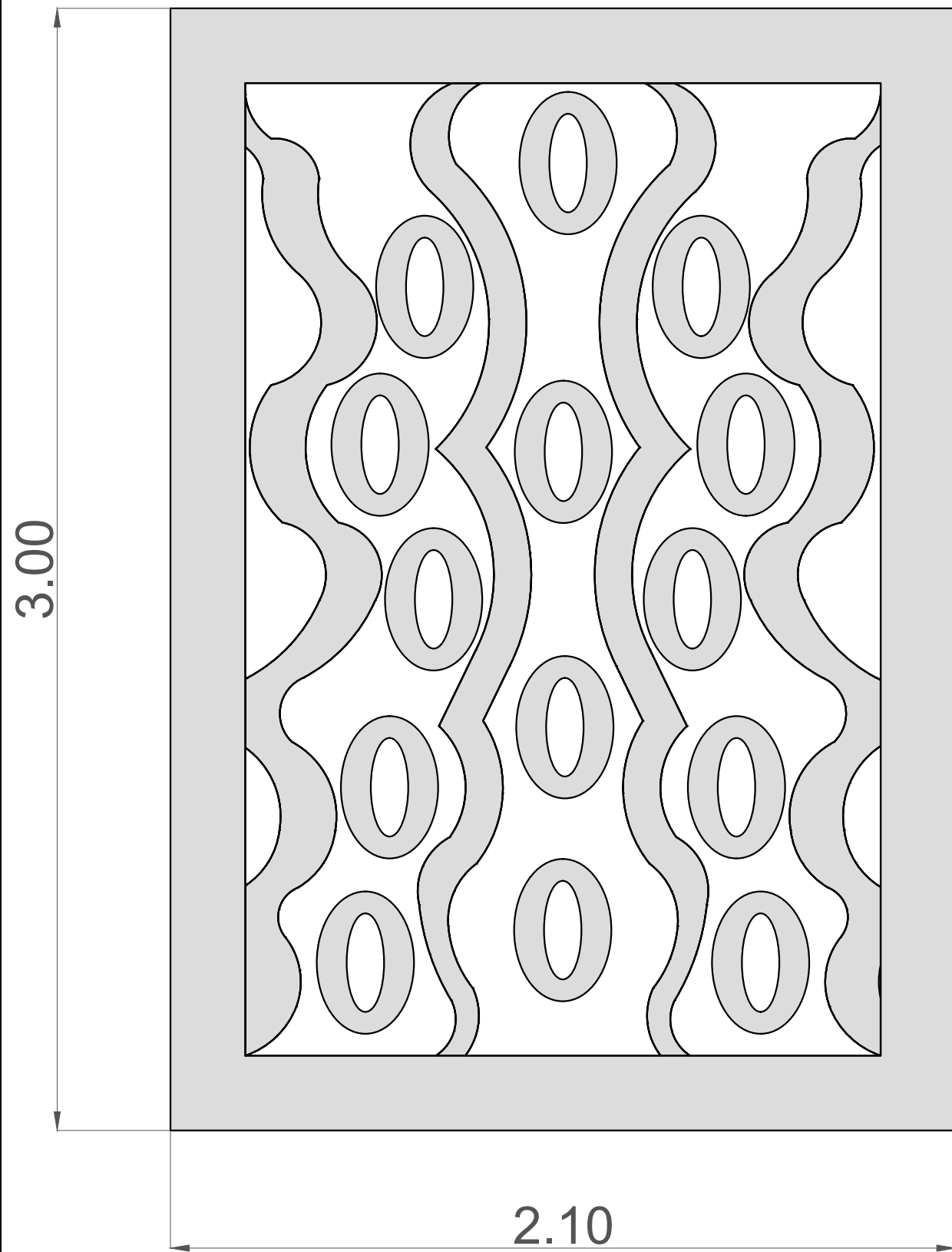
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
SOLUCIÓN ADOPTADA: VISTA 3D DE LA PIEZA

TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON





**CAMINOS** ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
 COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA

ESCALA:

VARIAS

FECHA

JULIO 2023

Nº PLANO

7.3

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO:

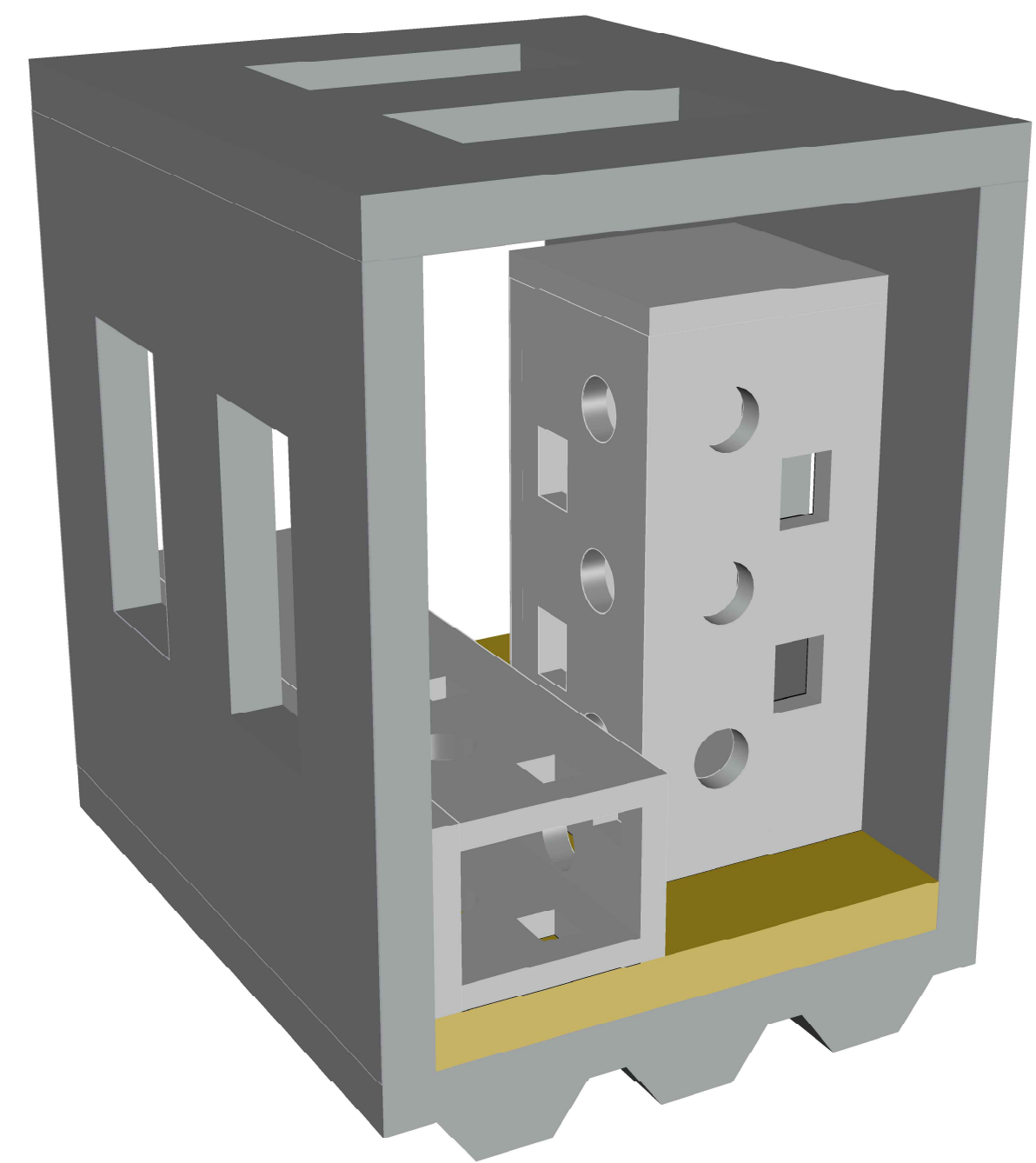
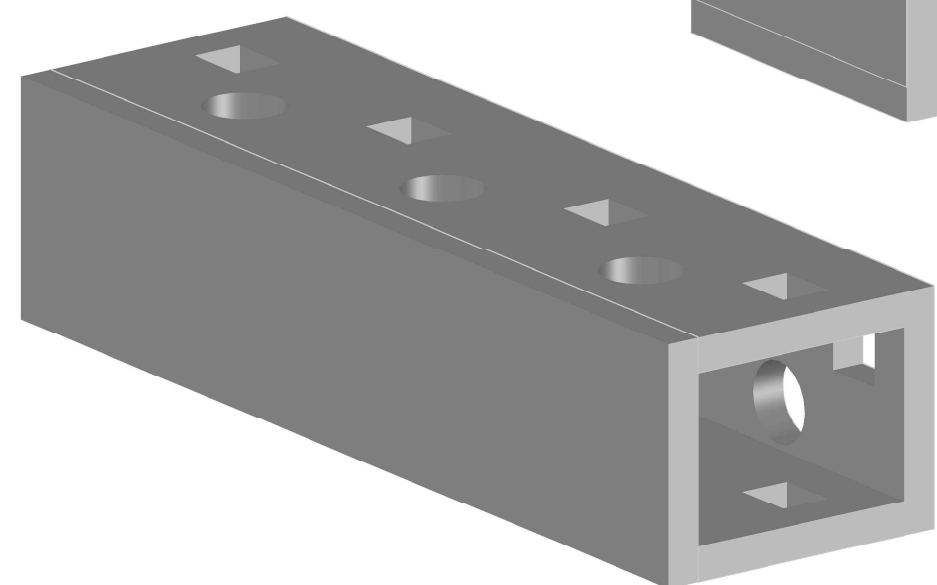
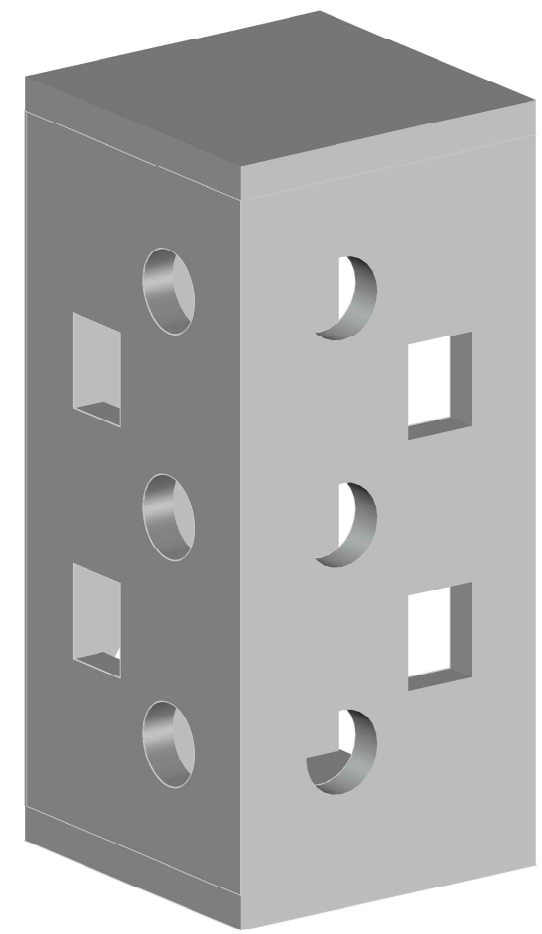
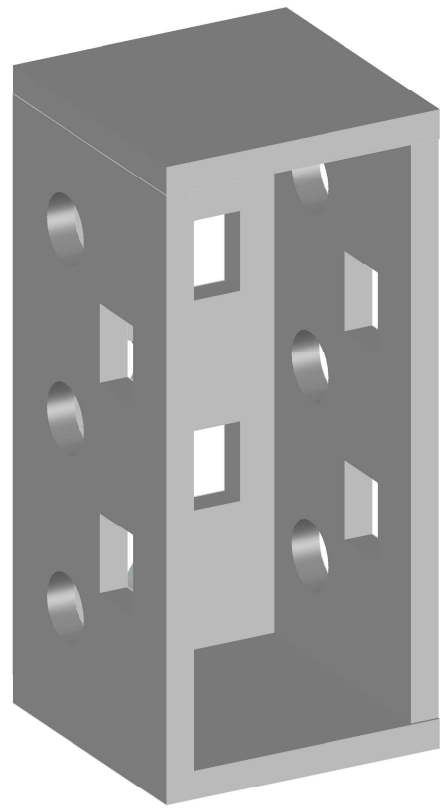
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:


SOLUCIÓN ADOPTADA: PROPUESTA Nº1 DE PIEZAS PARA GENERAR MAYORES BENEFICIOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD MARINA

TUTORES:

GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
 MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



**CAMINOS upv** ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
 COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA  


ESCALA: VARIAS  
 FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.4**

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

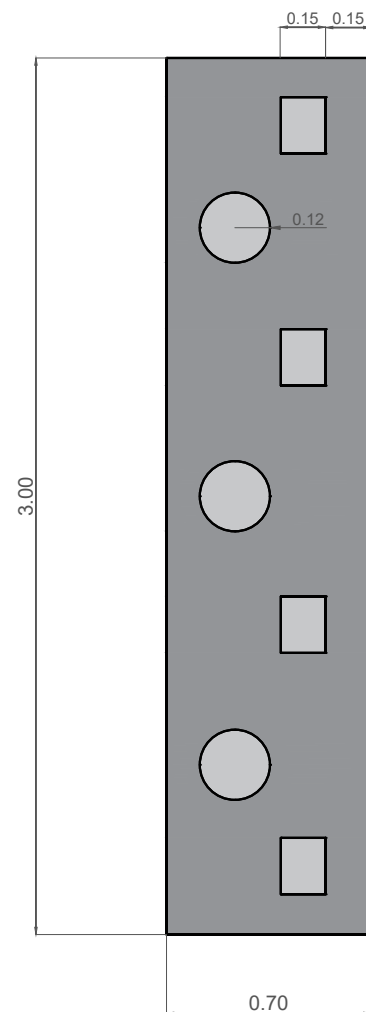
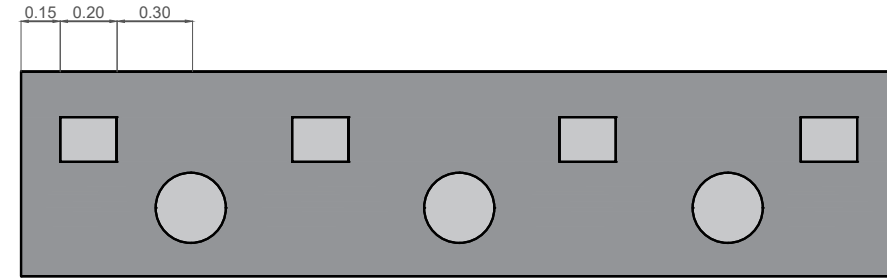
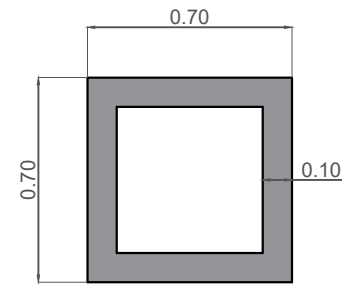
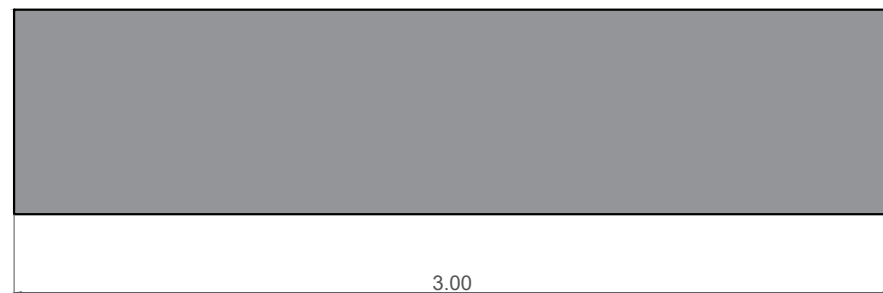
ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: VISTA 3D PROPUESTA Nº2 DE PIEZAS PARA GENERAR MAYORES BENEFICIOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD MARINA

TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
 MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



# PIEZAS HORIZONTALES



FIRMA

ESCALA: 1 : 25

FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.5**

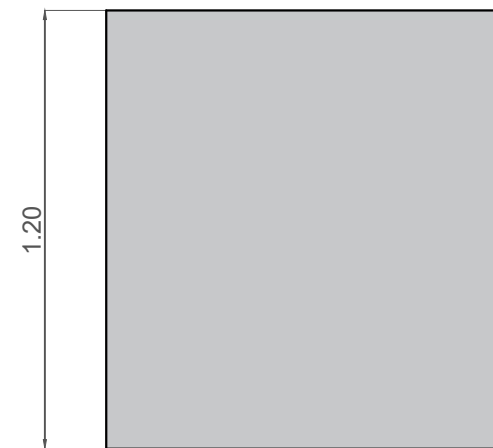
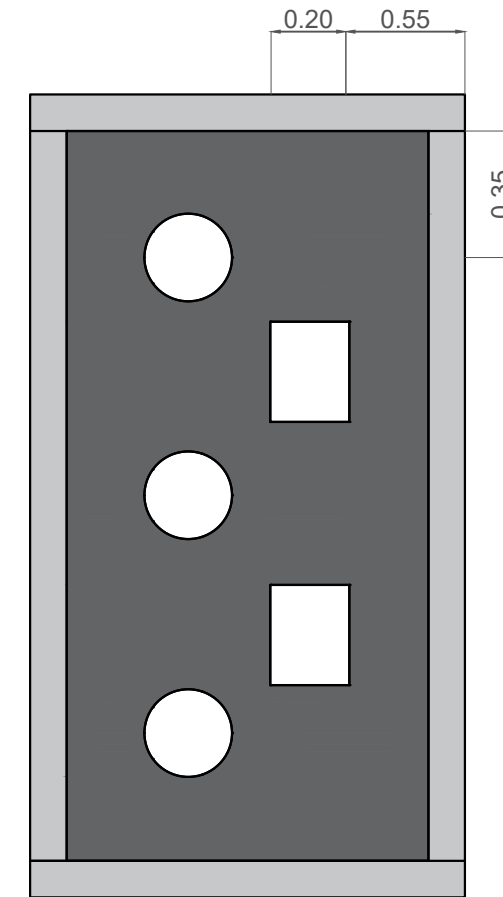
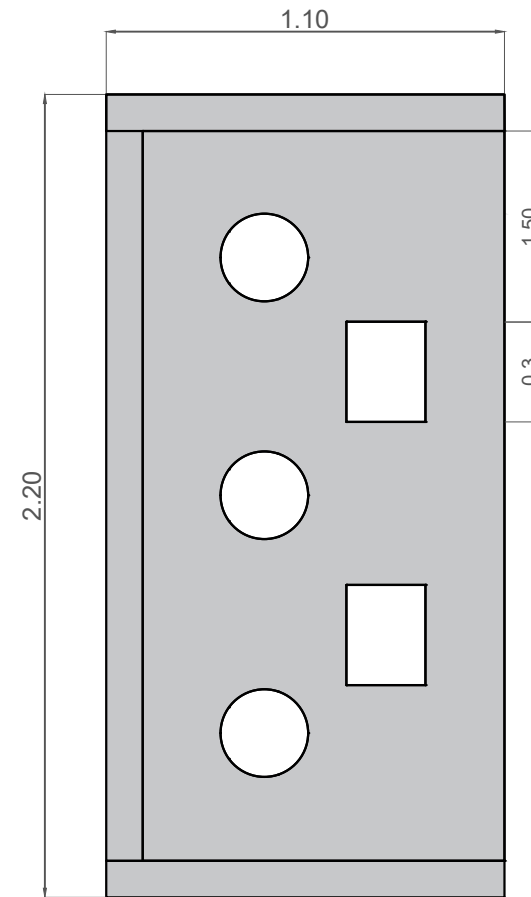
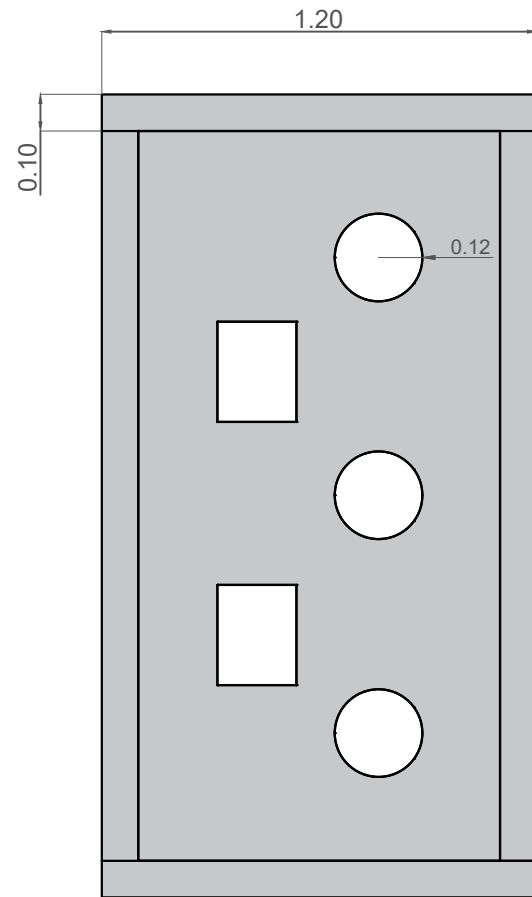
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).



ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: PROPUESTA Nº2 DE PIEZAS PARA GENERAR MAYORES BENEFICIOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD MARINA

TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON

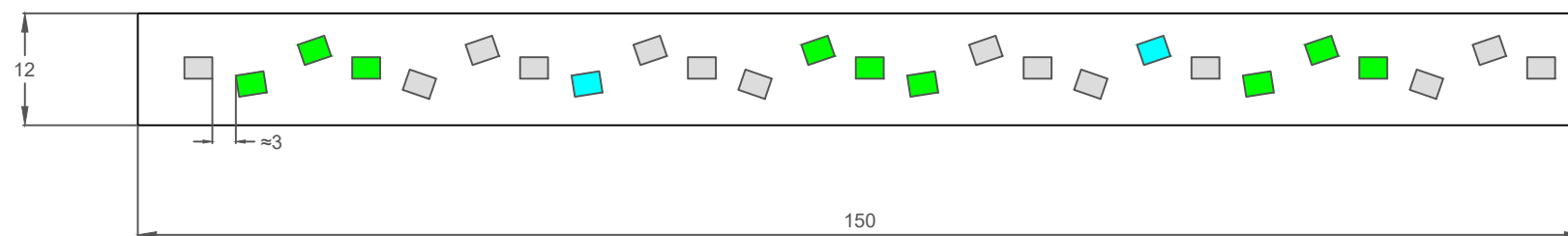
# PIEZAS VERTICALES



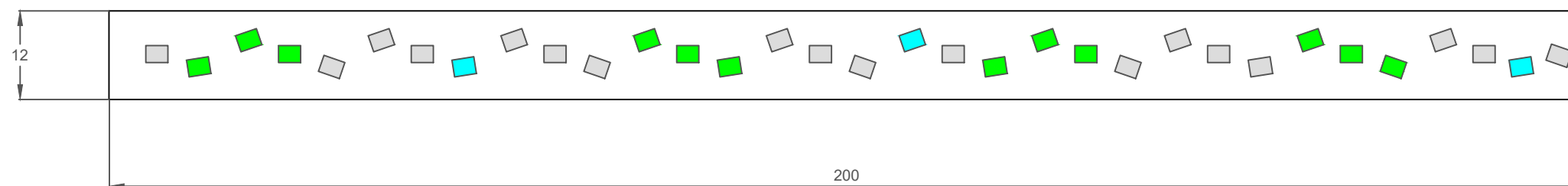
	FIRMA	ESCALA: 1 : 20	Nº PLANO <b>7.5</b>
		FECHA JULIO 2023	
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO		
PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: PROPUESTA Nº2 DE PIEZAS PARA GENERAR MAYORES BENEFICIOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD MARINA	TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		



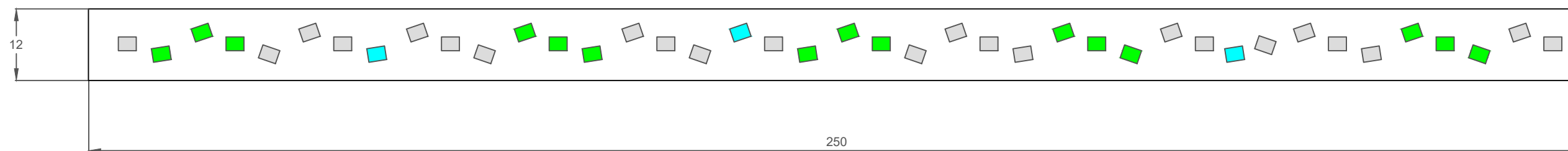
BLOQUE DE 150 m - Nº PIEZAS: 25



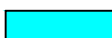




BLOQUE DE 200 m - Nº PIEZAS: 33



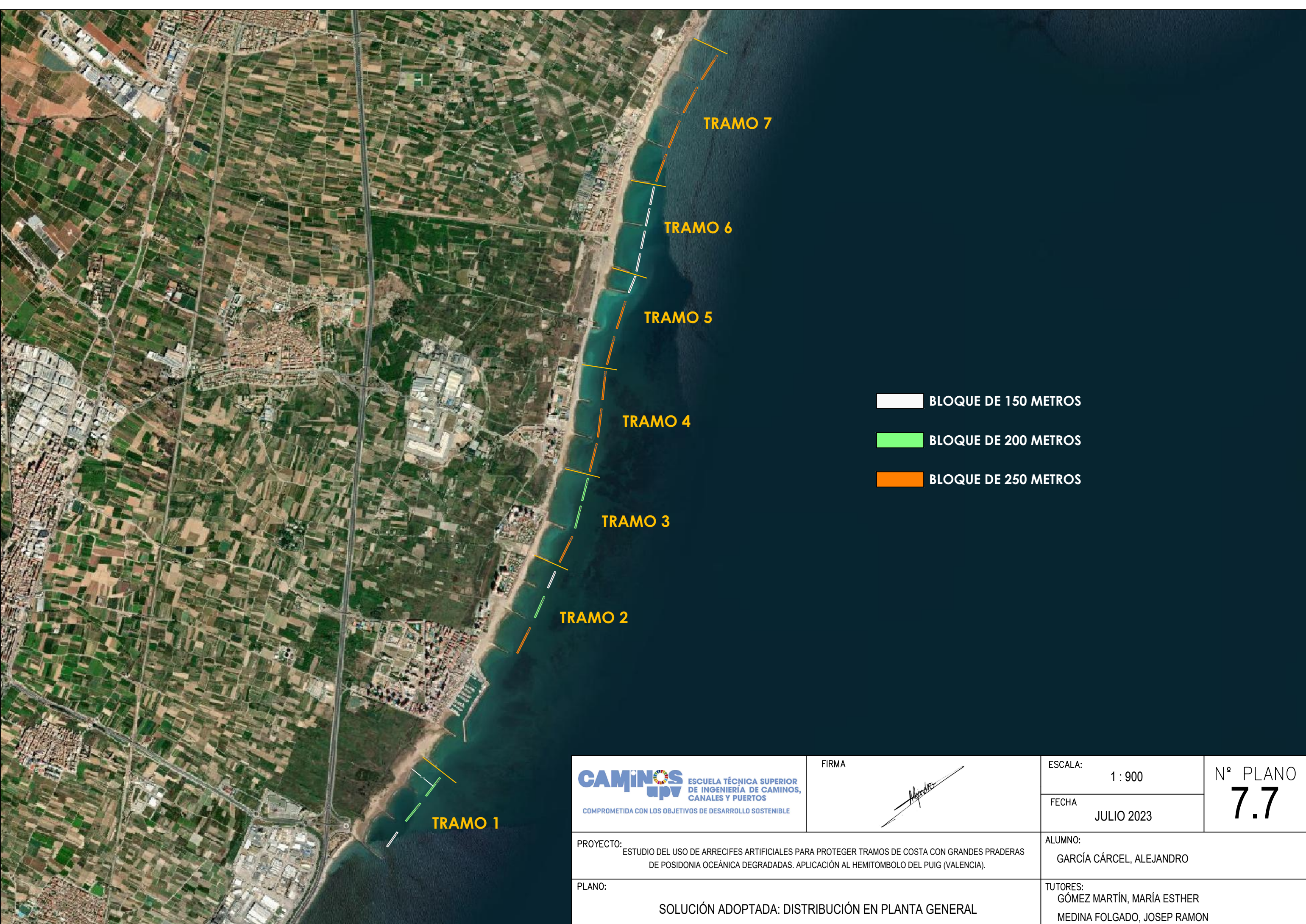
BLOQUE DE 250 m - Nº PIEZAS: 41





-  **PIEZAS HUECAS**
-  **PIEZAS INTERIORES PARA MAYORES BENEFICIOS BIODIVERSIDAD**
-  **PIEZAS INTERIORES PARA RECLAMO TURÍSTICO**

 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS</b> <small>COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</small>	FIRMA	ESCALA: 1 : 25	Nº PLANO <b>7.6</b>
		FECHA: JULIO 2023	
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO		
PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN DE LOS BLOQUES	TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		





- BLOQUE DE 150 METROS
- BLOQUE DE 200 METROS
- BLOQUE DE 250 METROS



	FIRMA 	ESCALA: 1 : 900	N° PLANO <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">7.7</span>
	PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).		
PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA GENERAL	ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO  TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		





200.00

- BLOQUE DE 150 METROS
- BLOQUE DE 200 METROS

	FIRMA 	ESCALA: 1 : 100	N° PLANO <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">7.8</span>
		FIRMA	
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO		
PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA - TRAMO 1	TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		





-  BLOQUE DE 150 METROS
-  BLOQUE DE 200 METROS
-  BLOQUE DE 250 METROS

**CAMINOS**   
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA



ESCALA: 1 : 100

FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.9**

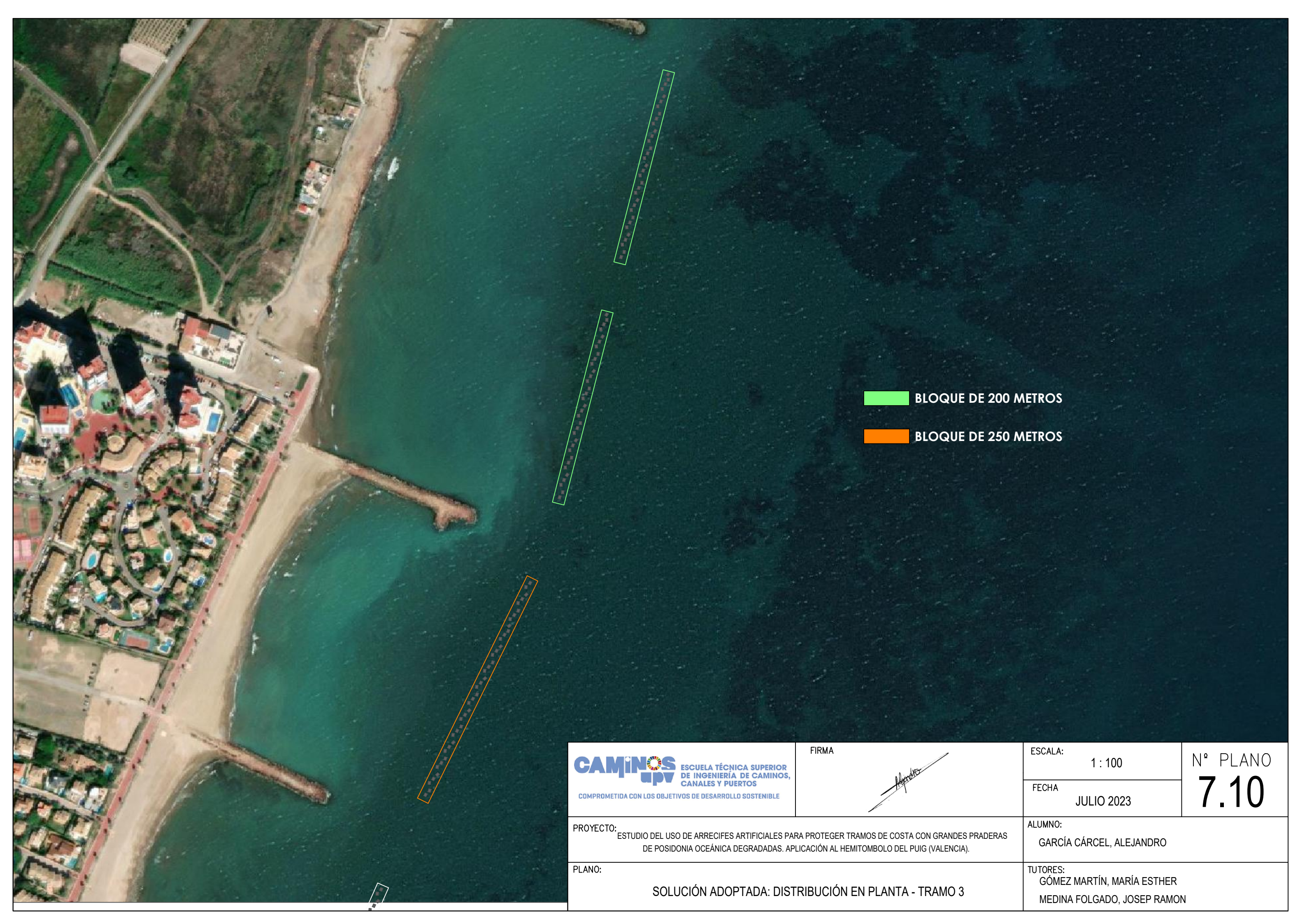
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

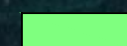

ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO



PLANO:  
SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA - TRAMO 2

TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON





-  BLOQUE DE 200 METROS
-  BLOQUE DE 250 METROS

	FIRMA	ESCALA: 1 : 100	Nº PLANO <b>7.10</b>
		FECHA: JULIO 2023	
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO		
PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA - TRAMO 3	TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		





 BLOQUE DE 250 METROS

**CAMINOS**  
upv  
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA



ESCALA: 1 : 100

FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.11**

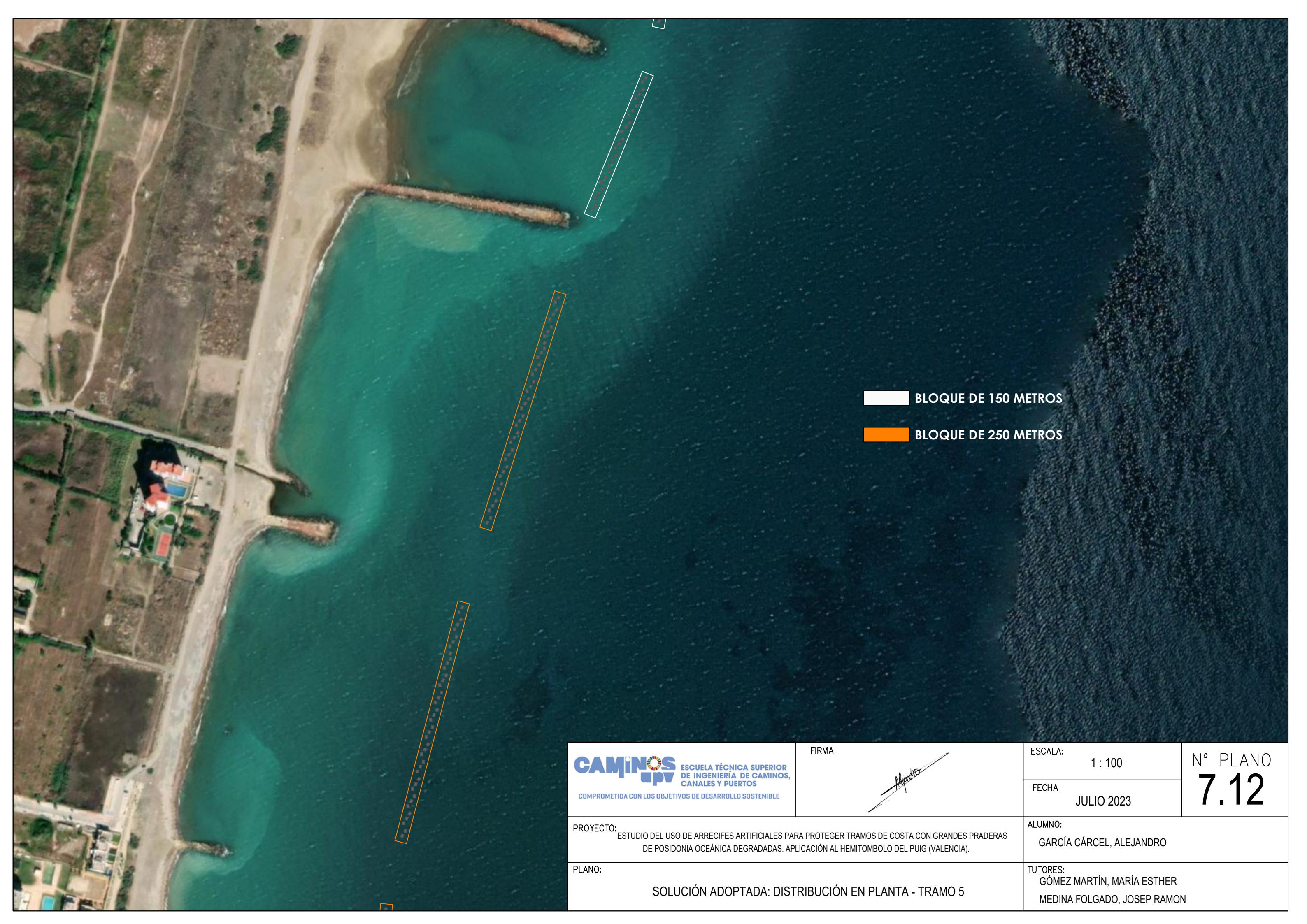
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).



ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA - TRAMO 4

TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON





 BLOQUE DE 150 METROS  
 BLOQUE DE 250 METROS

**CAMINOS**   
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA



ESCALA: 1 : 100

FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.12**

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA - TRAMO 5

TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON





BLOQUE DE 150 METROS

**CAMINOS**   
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA



ESCALA:

1 : 100

FECHA

JULIO 2023

Nº PLANO

7.13

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO:

GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:

SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA - TRAMO 6

TUTORES:

GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON





 BLOQUE DE 250 METROS

**CAMINOS**  
upv  
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA



ESCALA:  
1 : 100

FECHA  
JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.14**

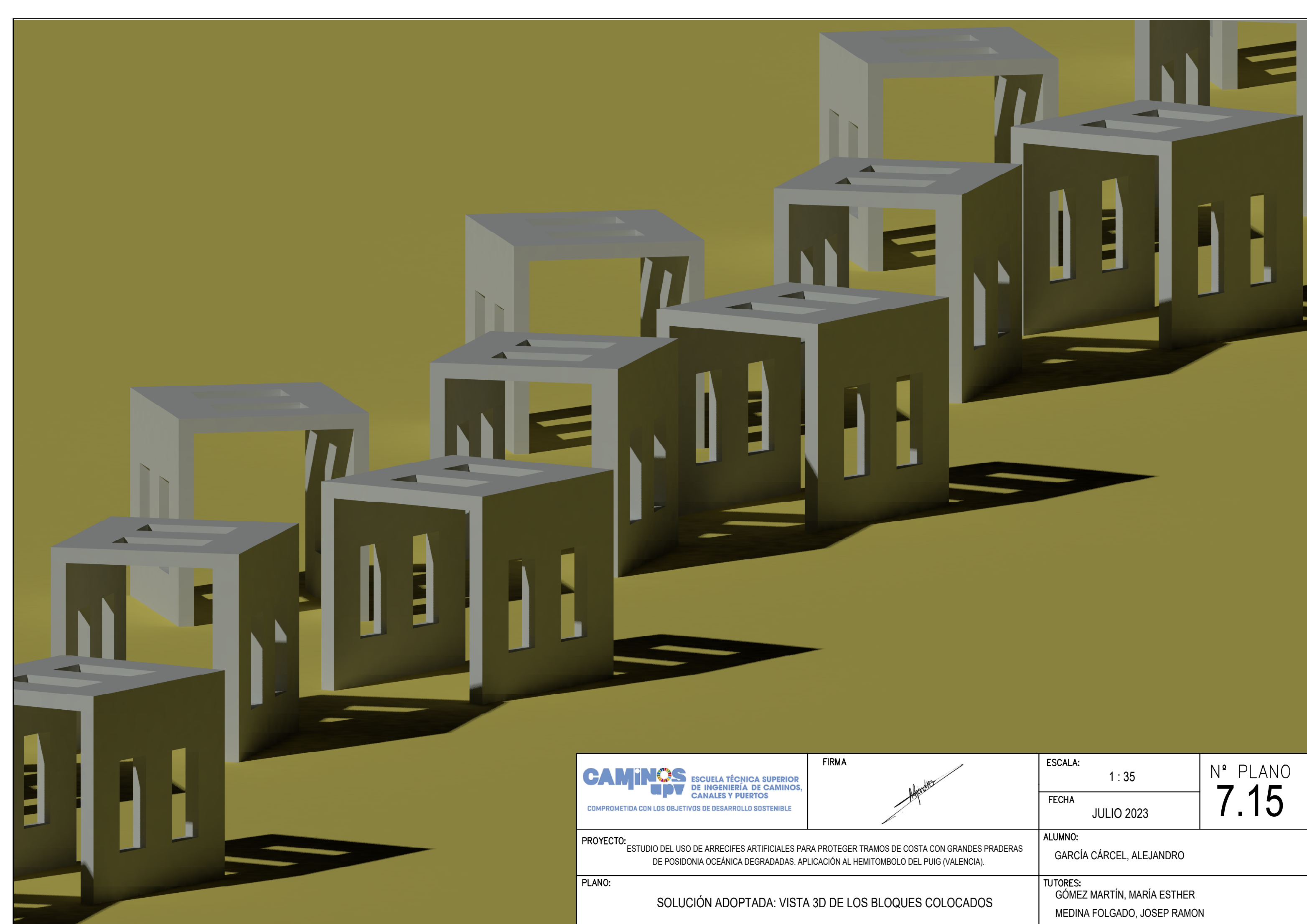
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).



ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
SOLUCIÓN ADOPTADA: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA - TRAMO 7

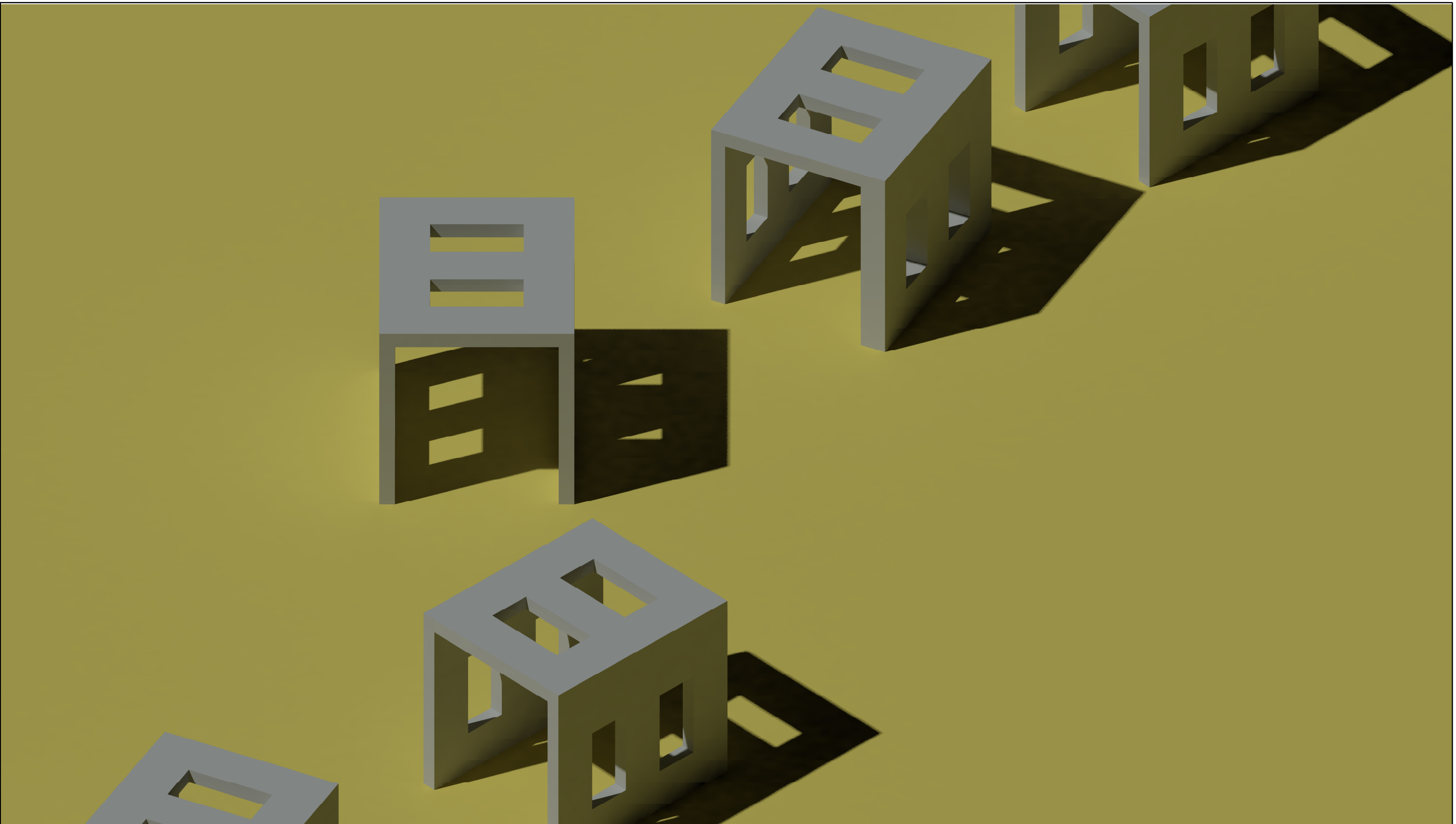
TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON






	FIRMA	ESCALA:	Nº PLANO
		1 : 35	7.15
PROYECTO:	FECHA	ALUMNO:	
ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	JULIO 2023	GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO	
PLANO:	TUTORES:		
SOLUCIÓN ADOPTADA: VISTA 3D DE LOS BLOQUES COLOCADOS	GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON		





**CAMINOS**  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA  


ESCALA: 1 : 35  
FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.15**

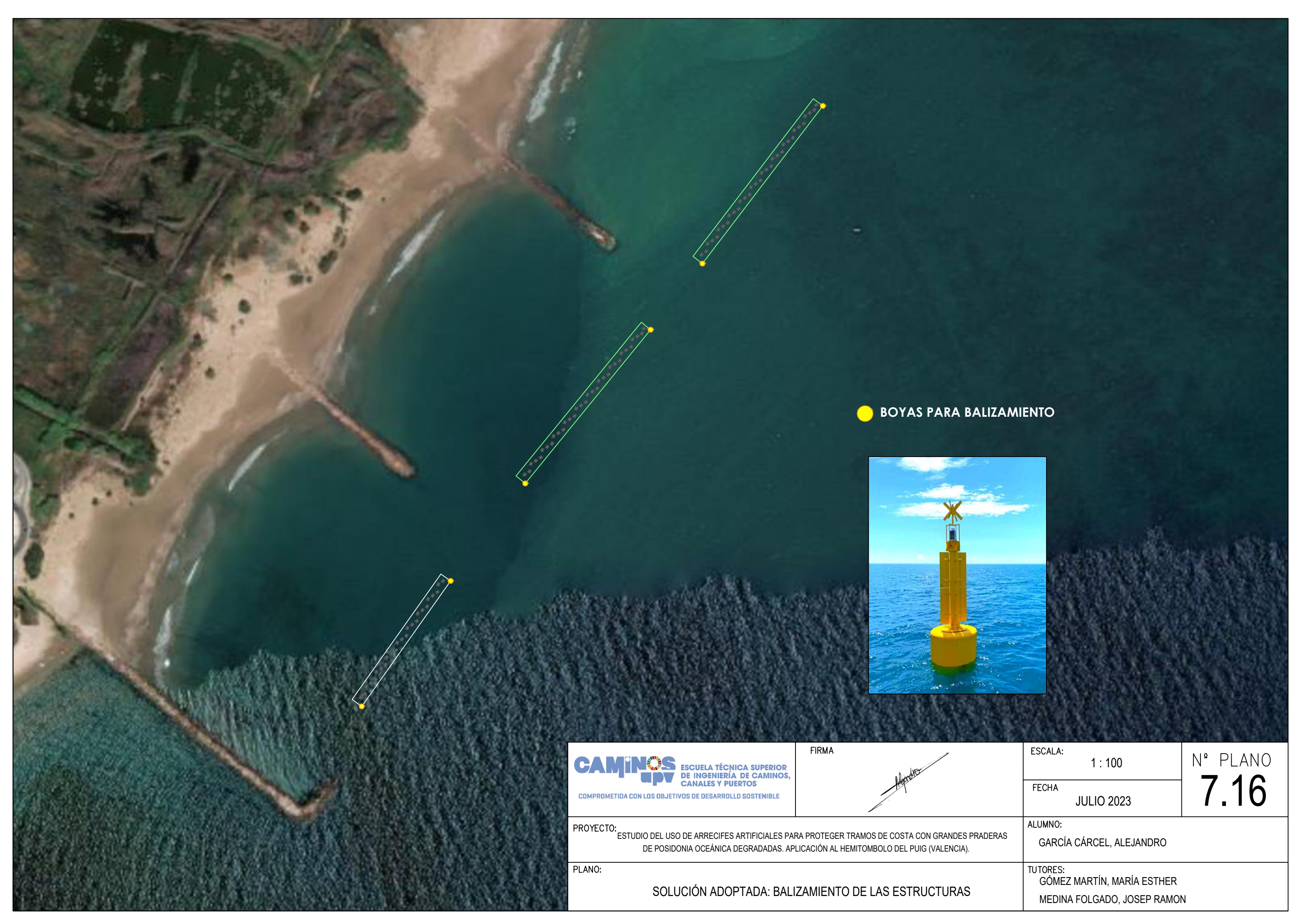
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO: SOLUCIÓN ADOPTADA: VISTA 3D DE LOS BLOQUES COLOCADOS

TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON





● BOYAS PARA BALIZAMIENTO



**CAMINOS** upv  
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA

ESCALA: 1 : 100  
FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**7.16**

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

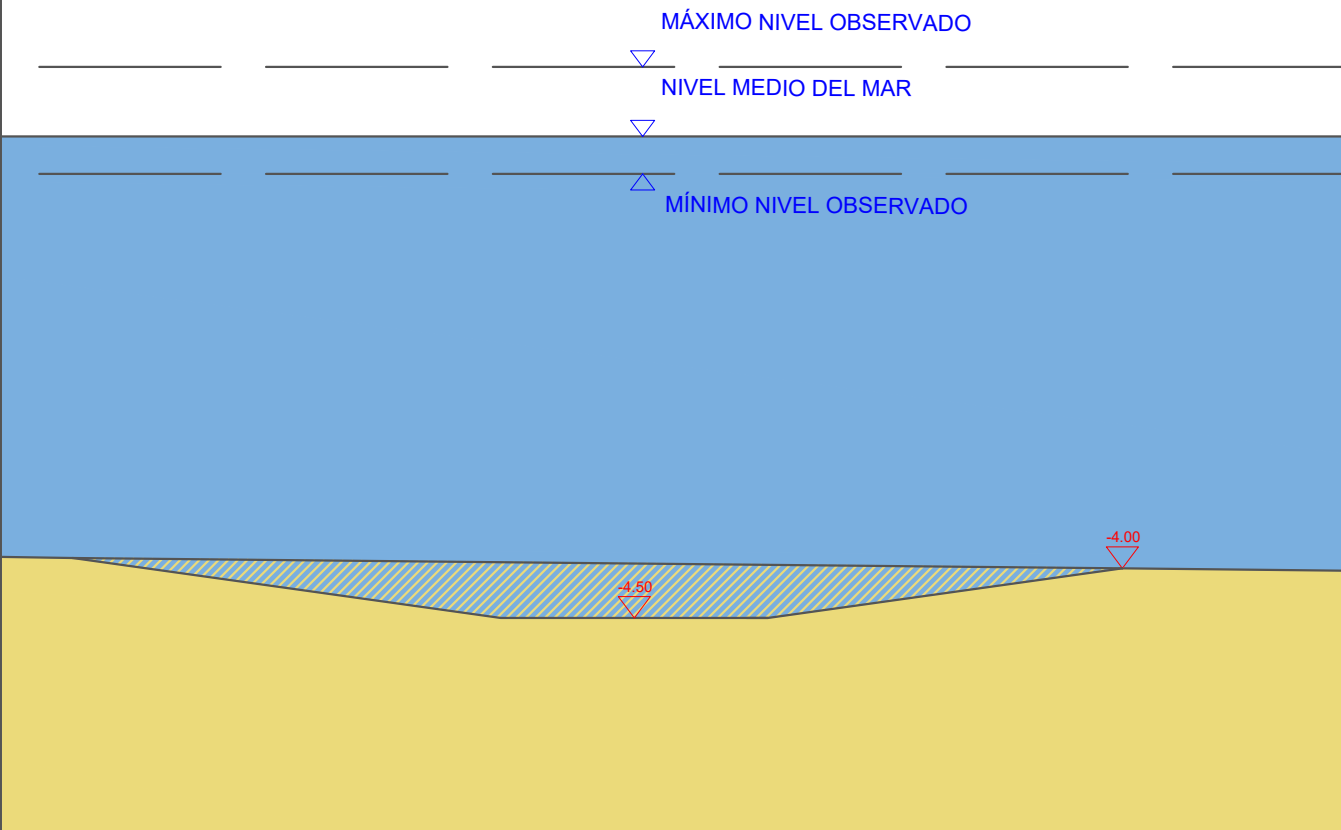
ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
SOLUCIÓN ADOPTADA: BALIZAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

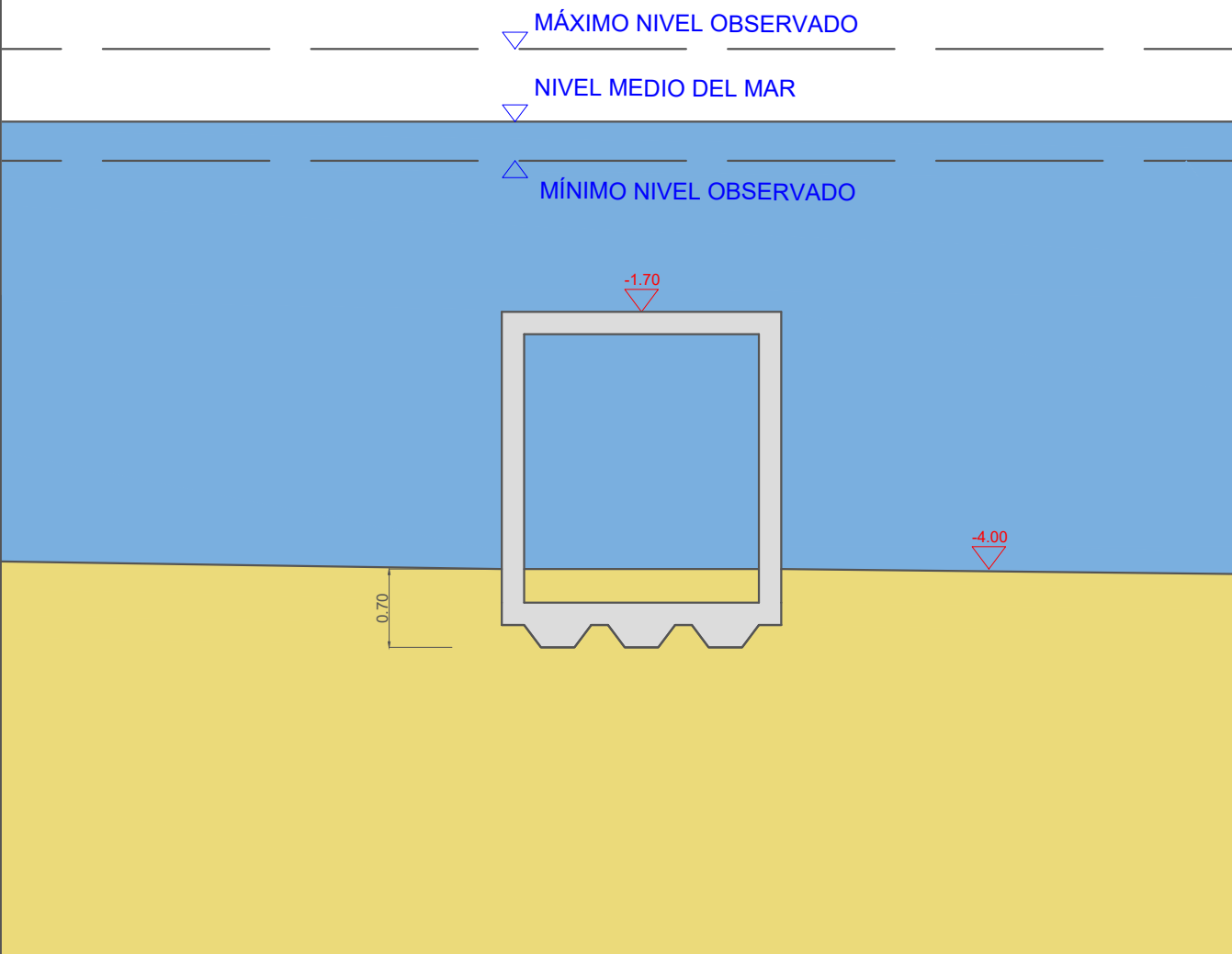
TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



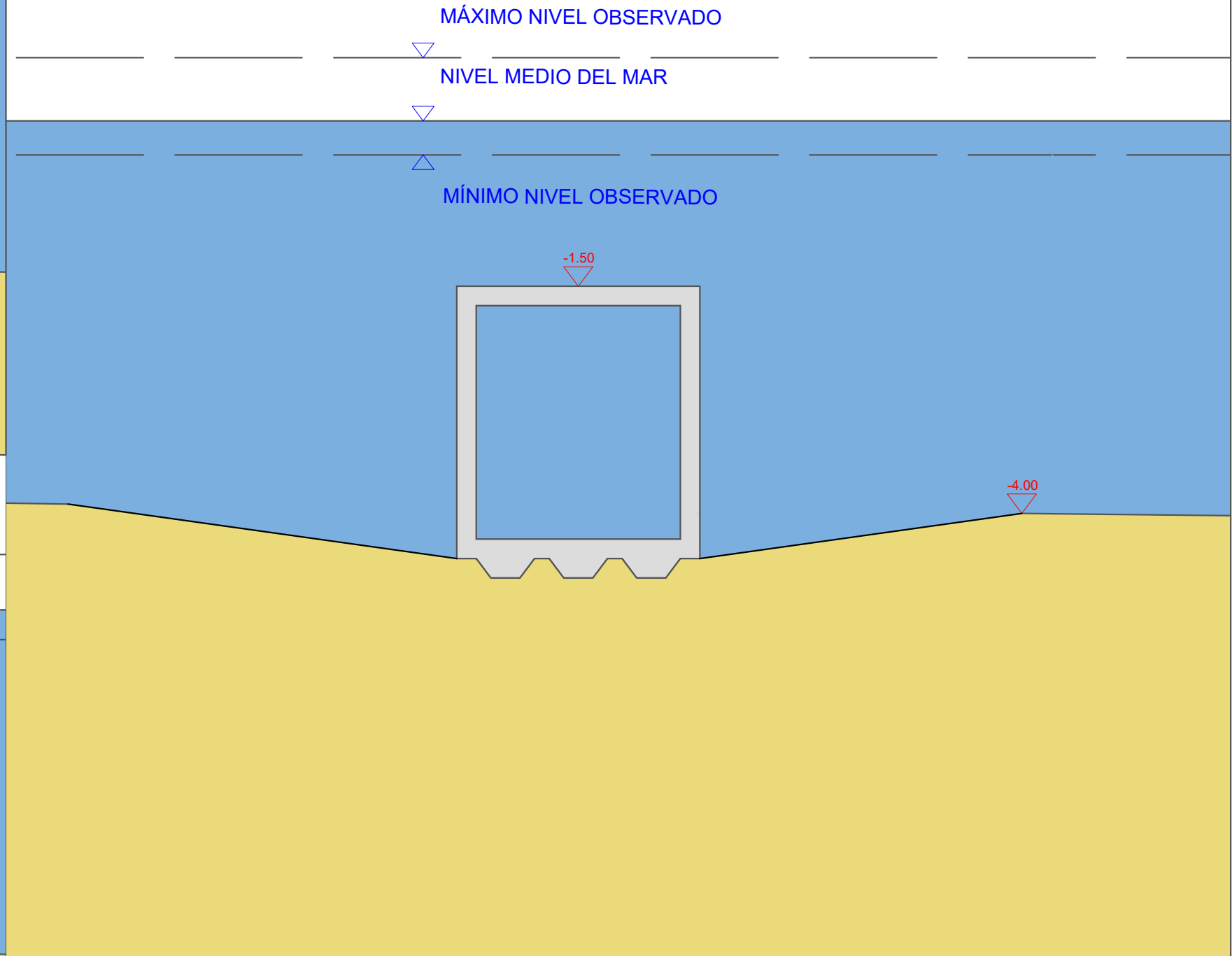
1) PREPARACIÓN DEL LECHO MARINO PARA EVITAR VUELCOS POR SOCAVACIÓN



3) ASENTAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOBRE EL TERRENO



2) FONDEO DE LOS MÓDULOS MEDIANTE USO DE FLOTADORES



**CAMINOS UPV** ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
 COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA

ESCALA: VARIAS  
 FECHA: JULIO 2023

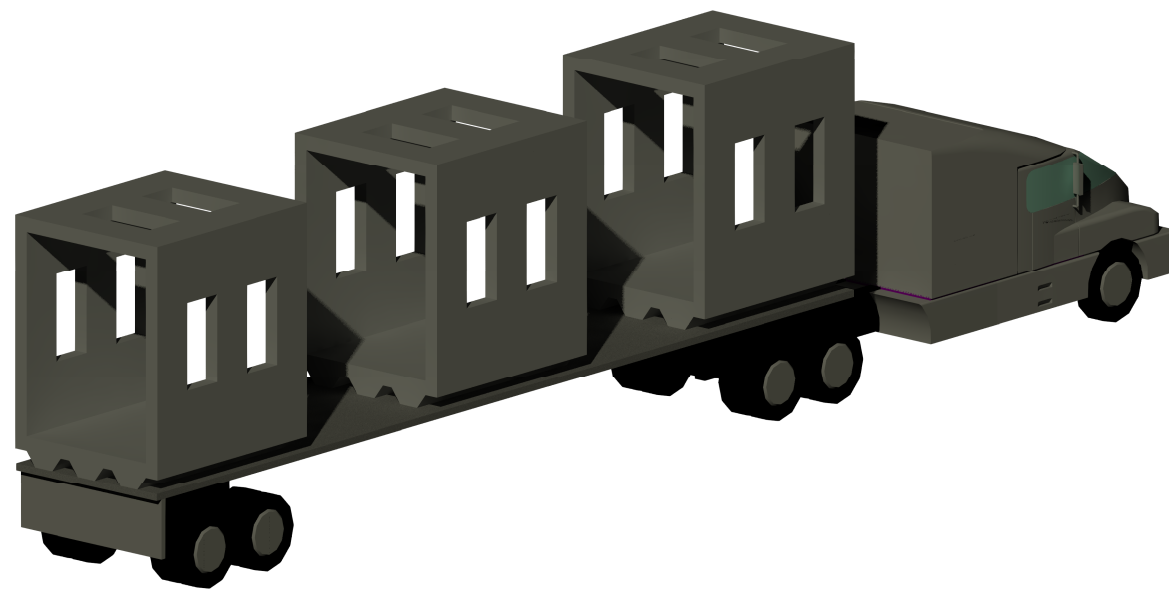
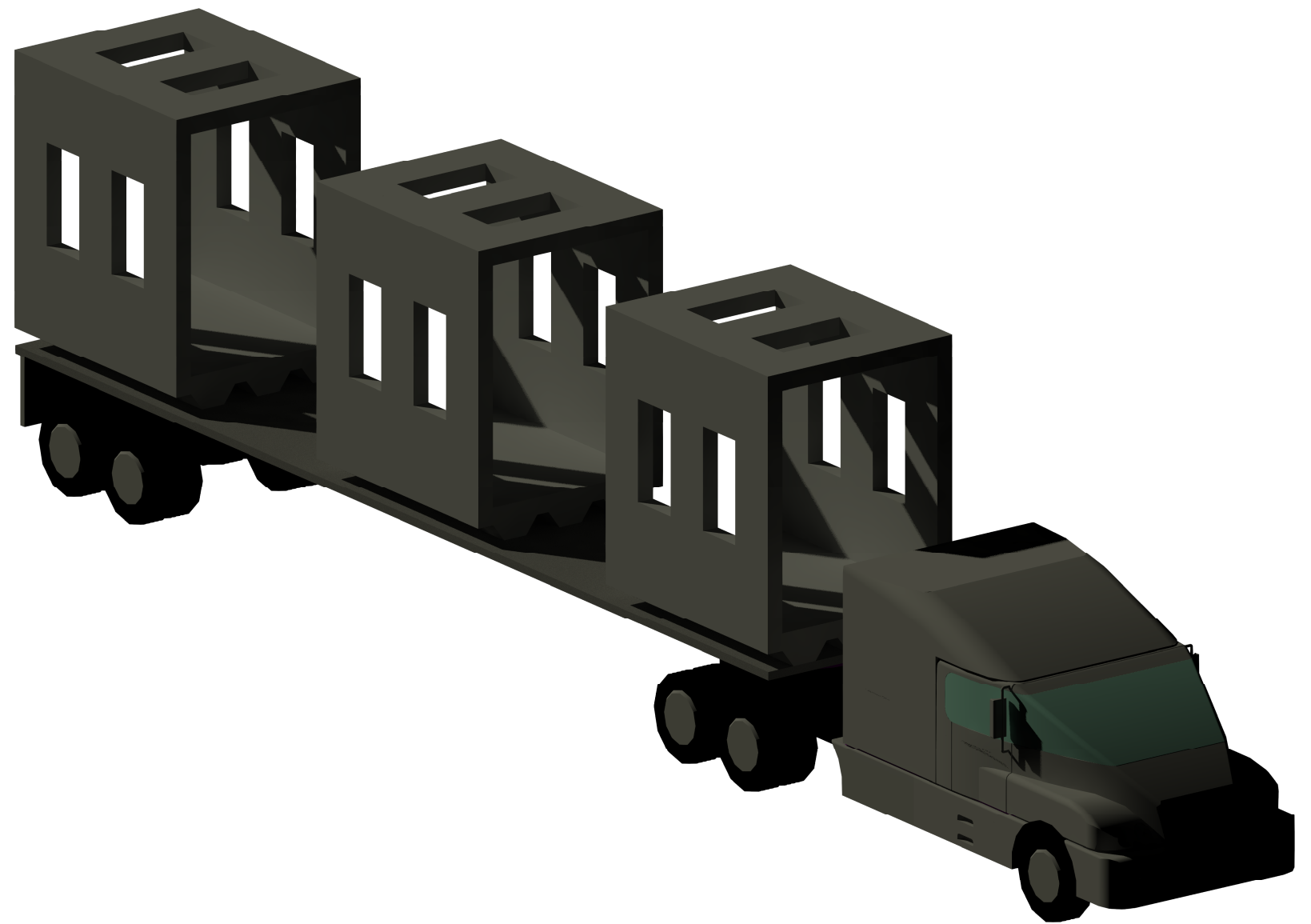
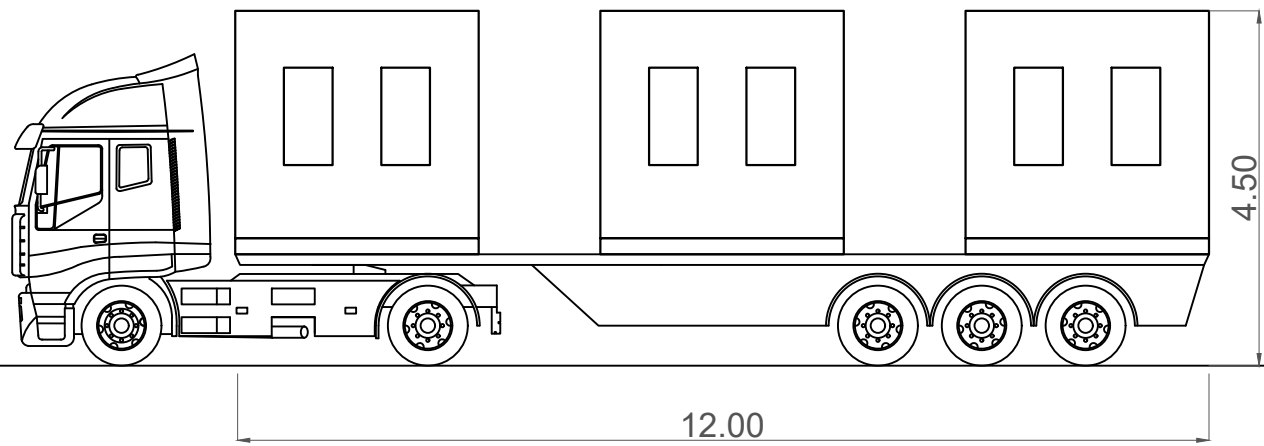
Nº PLANO  
**8**

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

ALUMNO: GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

TUTORES: GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
 MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



**CAMINOS**  
UPV  
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS  
COMPROMETIDA CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

FIRMA

ESCALA: VARIAS  
FECHA: JULIO 2023

Nº PLANO  
**8.1**

PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).

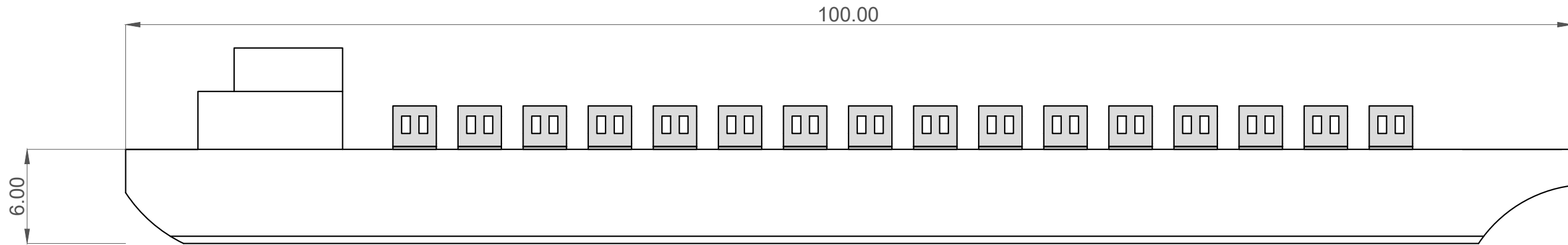
ALUMNO:  
GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO

PLANO:  
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO: DIMENSIONES DEL CAMIÓN

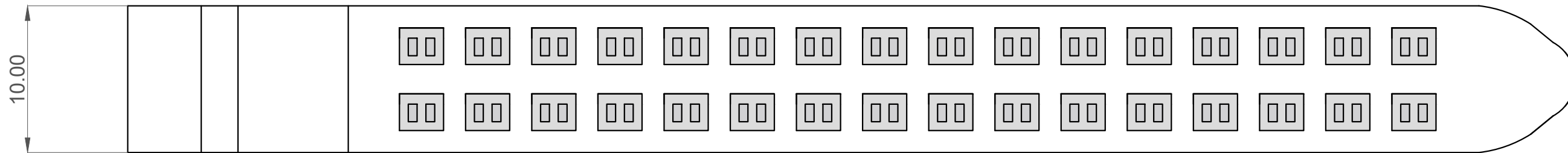
TUTORES:  
GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER  
MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON



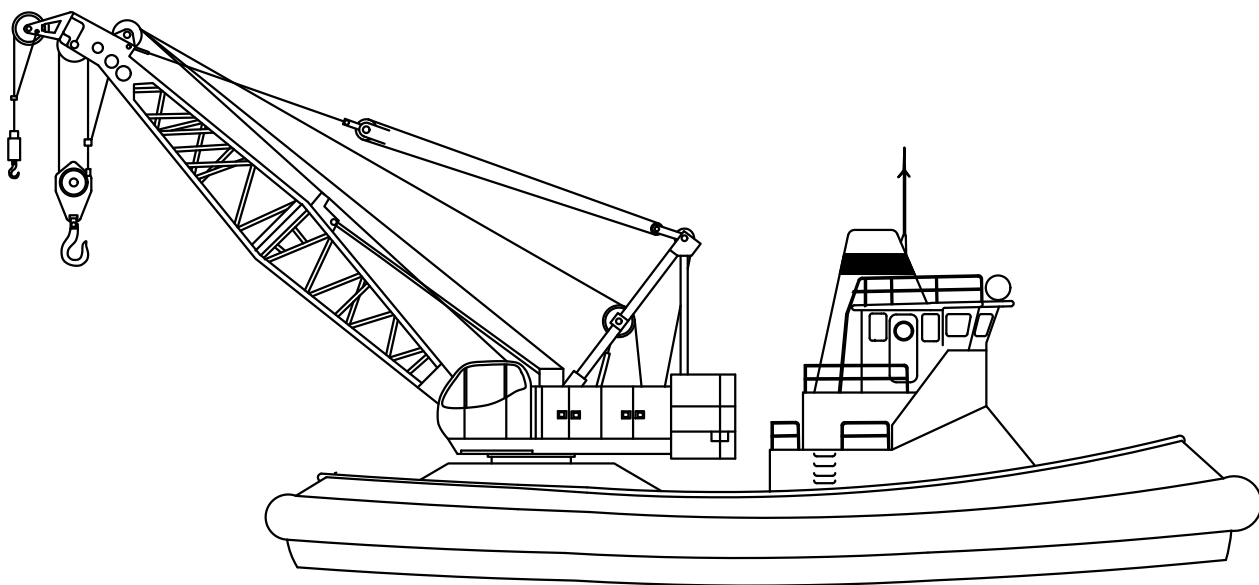
**SECCIÓN DE LA EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE**



**TRANSPORTE EN CUBIERTA**



**EMBARCACIÓN PARA TRANSPORTE CON FLOTADORES HASTA LOCALIZACIÓN FINAL**



	FIRMA	ESCALA:	VARIAS	N° PLANO <b>8.2</b>
		FECHA	JULIO 2023	
PROYECTO: ESTUDIO DEL USO DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA PROTEGER TRAMOS DE COSTA CON GRANDES PRADERAS DE POSIDONIA OCEÁNICA DEGRADADAS. APLICACIÓN AL HEMITOMBOLO DEL PUIG (VALENCIA).	ALUMNO:		GARCÍA CÁRCEL, ALEJANDRO	
PLANO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO: DIMENSIONES DE LA EMBARCACIONES	TUTORES:		GÓMEZ MARTÍN, MARÍA ESTHER MEDINA FOLGADO, JOSEP RAMON	